

JSR C

E-ISSN: 2717-8633
Sayı(Number): 10
Ağustos(August) 2025

JOURNAL OF SCIENTIFIC REPORTS.C

Journal of Scientific Reports-C Sayı(Number) 10 Ağustos(August) 2025



Kutahya Dumlupınar University Scientific Reports C
Evliya Celebi Campus Tavşanlı Road 10 KM. 43270 Kutahya
Phone : (0274) 443 19 29 - 30
E-mail : journals@gmail.com
www.gsjrcc.com

Dumlupınar University Press

gate of
science



Sahibi

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi adına
Prof. Dr. Süleyman KIZILTOPRAK (Rektör)
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına
Doç. Dr. Eray ACAR (Enstitü Müdürü)

Owner

On Behalf of Kütahya Dumlupınar University
Prof. Dr. Süleyman KIZILTOPRAK (Rector),
On Behalf of Institute of Graduate Studies
Assoc. Prof. Dr. Eray ACAR (Director)

Yayın Kurulu / Editorial Board

Önder UYSAL	Kütahya Dumlupınar University
Fatih ŞEN	Kütahya Dumlupınar University
Oktay ŞAHBAZ	Kütahya Dumlupınar University
Nevzat BEYAZIT	Ondokuz Mayıs University
Onur KARAMAN	Akdeniz University
Cafer ÖZKUL	Kütahya Dumlupınar University
Levent URTEKİN	Ahi Evran University
Ümran ERÇETİN	Kütahya Dumlupınar University
Ceren KARAMAN	Akdeniz University
Durmuş ÖZDEMİR	Kütahya Dumlupınar University
Fatih Yavuz ILGIN	Erzincan Binali Yıldırım University
Güray KAYA	Kütahya Dumlupınar University
Pelin Çağım TOKAT BİRGİN	Kütahya Dumlupınar University
Özlem KAYA	Sivas Cumhuriyet University
Tayfun ŞENGÜL	Kütahya Dumlupınar University
Saadet ÇELİKÖZÜ	Kütahya Dumlupınar University
Mehmet Selçuk ERDOĞAN	Kütahya Dumlupınar University
Nataliia BALYTSKA	Zhytomyr State Technological University
Natalia ZUIEVSKA	National Technical University of Ukraine 'Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute'
Oksana VOVK	National Technical University of Ukraine 'Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute'
Nodor SULASHVILI	The University of Georgia
Csoknyai TAMAS	Budapest University of Technology and Economics
Tibor POOS	Budapest University of Technology and Economics
Saadet ÇELİKÖZÜ	Kütahya Dumlupınar University
Mehmet Selçuk ERDOĞAN	Kütahya Dumlupınar University

Sait ALTUN	Kütahya Dumlupınar University
Sevgi KARACA	Kütahya Dumlupınar University
Ramazan BAYAT	Kütahya Dumlupınar University
Muhammed BEKMEZCİ	Kütahya Dumlupınar University
Ayşenur AYGÜN	Kütahya Dumlupınar University
Safa DÖRTERLER	Kütahya Dumlupınar University
Seyfullah ARSLAN	Kütahya Dumlupınar University
Büşra TUTUMLU	Kütahya Dumlupınar University
Merve ARSLAN	Kütahya Dumlupınar University
Bahadır YÖRÜR	Kütahya Dumlupınar University
Sinem MAVİLER	Kütahya Dumlupınar University
Cemile Nur HEPGÜNEŞ	Kütahya Dumlupınar University
Anıl Orhan GÜRSOY	Kütahya Dumlupınar University
Nihal Yiğit ERTAŞ	Kütahya Dumlupınar University
Merve PAKSOY	Kütahya Dumlupınar University
Merve AKIN	Kütahya Dumlupınar University
Alper ÖZENGÜL	Kütahya Dumlupınar University
Ebru HALVACI	Kütahya Dumlupınar University
Damla İKBALLI	Kütahya Dumlupınar University

Journal of Scientific Reports-C dergisi, yayın hayatına 2000 yılında başlayan Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisinden ayrılmış olup, Nisan, Ağustos ve Aralık aylarında olmak üzere yılda düzenli olarak 3 kez yayımlanan uluslararası hakemli bir dergidir. Derginin yazım dili Türkçe ve İngilizce'dir. Dergiye gönderilen makaleler, editör kurulu tarafından seçilen ve konusunda uzman en az iki hakem tarafından değerlendirilmektedir. Dergiye sunulan bütün makaleler çift-körleme yöntemiyle değerlendirilmektedir. Değerlendirilmek üzere dergimize gönderilen makalelerin, daha önce yayınlanmamış, yayınlanmak üzere kabul edilmemiş ve yayınlanmak için başka bir dergide değerlendirilme sürecinde olmaması gerekmektedir. Dergide yayınlanan yazıların her türlü sorumluluğu yazar(lar)ına aittir.

Dergi, fen ve mühendislik bilimlerinde ulusal ve uluslararası düzeyde yapılan bilimsel çalışmaları bilim insanları ve kamuoyu ile paylaşmayı amaçlar. Dergiye, fen ve mühendislik bilim dallarında yapılan, özgün araştırma makaleleri, derleme makaleleri ve kısa notlar kabul edilir. Özgün araştırma makalelerinin başka dergilerde yayınlanmamış olması, teorik ve deneysel sonuçlar içermesi beklenir. Derleme makalelerinde ise belirli bir konu üzerinde bilimsel, teknolojik ve güncel gelişmelerin geniş bir kaynakça kullanılarak yansıtılması ve bunların doyurucu bir değerlendirilmesinin yapılması aranır. Kısa notlar, özgün bir çalışmanın ilk bulgularının duyurulması amacıyla yönelik hazırlanan kısa yazılar olmalıdır.

İçerik Politikası

Dergimiz açık erişim dergisi olup, makale değerlendirme süresi 1-2 aydır

Yazışma Adresi: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü 43270 KÜTAHYA

Telefon: 0 274 443 19 42

E-posta: joursrc@gmail.com

Faks: 0 274 265 20 60

Web Sayfası: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jsrsc>

Journal of Scientific Reports-C was separated from Journal of Science and Technology of Dumlupınar University which started its publication life in 2000 and is a international peer-reviewed journal published regularly third times a year in April, August and December. The language of the journal is Turkish and English. Articles submitted to the journal are evaluated by at least two referees who are experts in the subject and selected by the editorial board. All articles submitted to the journal are evaluated by the double-blind method. Articles submitted to our journal for review should not be previously published, accepted for publication and in the process of being evaluated for publication in another journal. All responsibility for the articles published in the journal belongs to the author(s).

The journal aims to share scientific studies carried out in the fields of science and engineering at national and international level with scientists and the public. Original research articles, review articles and short notes in science and engineering disciplines are accepted for the journal. Original research articles are expected to contain theoretical and experimental results and should not be published in other journals. In the review articles, it is expected that scientific, technological and current developments on a specific subject are reflected by using an extensive bibliography and made a satisfying evaluation of these. Short notes should be brief writings prepared to announce the first findings of an original study.

Editorial Policy

The journal is open access and the article evaluation period is between 1-2 months.

Correspondence Address: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesi Fen Bilimleri Enstitüsü
43270 KÜTAHYA

Phone: 0 274 443 19 42

E-mail: joursrc@gmail.com

Fax: 0 274 265 20 60

Webpage: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jsrc>

Bölüm Editörleri / Section Editors

Civil Engineering/ İnşaat Mühendisliği Prof. Dr. M. Çağatay KARABÖRK	Kütahya Dumlupınar University
Mechanical Engineering/ Makine Mühendisliği Prof. Dr. Ramazan KÖSE	Kütahya Dumlupınar University
Electrical-Electronics Engineering/ Elektrik Elektronik Mühendisliği Assist. Prof. Kadir VARDAR	Kütahya Dumlupınar University
Computer Engineering/ Bilgisayar Mühendisliği Assoc. Prof. Doğan AYDIN	Kütahya Dumlupınar University
Industrial Engineering/ Endüstri Mühendisliği Assist. Prof. Üyesi Kerem CİDDİ	Kütahya Dumlupınar University
Mining Engineering/ Maden Mühendisliği Assist. Prof. Uğur DEMİR	Kütahya Dumlupınar University
Geology Engineering/ Jeoloji Mühendisliği Assist. Prof. Muzaffer ÖZBURAN	Kütahya Dumlupınar University
Metallurgical and Materials Engineering/ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Prof. Dr. İskender IŞIK	Kütahya Dumlupınar University
Food Engineering/ Gıda Mühendisliği Prof. Dr. Muhammet DÖNMEZ	Kütahya Dumlupınar University
Environmental Engineering/ Çevre Mühendisliği Doç. Dr. Nevzat BEYAZIT	Ondokuz Mayıs University
Mathematics/ Matematik Assist. Prof. Cansu KESKİN	Kütahya Dumlupınar University
Physics/ Fizik Assoc. Prof. Huriye Sanem AYDOĞU	Kütahya Dumlupınar University
Chemistry/ Kimya Assoc. Prof. Bülent ZEYBEK	Kütahya Dumlupınar University
Biology/ Biyoloji Assist. Prof. Nüket Akalın BİNGÖL	Kütahya Dumlupınar University
Biochemistry/ Biyokimya Assoc. Prof. Derya KOYUNCU ZEYBEK	Kütahya Dumlupınar University
Occupational Health and Safety/ İş Sağlığı ve Güvenliği Prof. Dr. Cem ŞENSÖĞÜT	Kütahya Dumlupınar University
Software Engineering/ Yazılım Mühendisliği Assist. Prof. Şerif Ali SADIK	Kütahya Dumlupınar University

Danışma Kurulu / Advisory Board

Şükrü ASLAN	Sivas Cumhuriyet University/ Turkey
Erdal ÇELİK	Ankara Yıldırım Beyazıt University/ Turkey
Cemal PARLAK	Ege University/ Turkey
Muhammet DÖNMEZ	Kütahya Dumlupınar University/ Turkey
İhsan ÖZKAN	Konya Technical University/ Turkey
Ercan ARPAZ	Kocaeli University/ Turkey
Yavuz GÜL	Sivas Cumhuriyet University/ Turkey
Ataç BAŞÇETİN	İstanbul Technical University/ Turkey
Taner ERDOĞAN	Kocaeli University/ Turkey
Derek ABBOTT	University of Adelaide/ Australia
Kristian ALMSTRUP	Copenhagen University Hospital/ Denmark
Josette Camilleri	University of Birmingham/ UK
Yan-Ru LOU	Fudan University/ China
Ken HAENEN	Hasselt University/ Belgium
Fanming JIN	Shanghai Jiao Tong University/ China
Suneel KODAMBAKA	Florida International University/ USA
Hyoyoung LEE	Sungkyunkwan University/ Republic of Korea
Vinod TIWARI	Banaras Hindu University/ India
Sabine WURMEHL	Leibniz Institute/ Germany
Kai XIAO	Oak Ridge National Laboratory/ USA
Shahid ADEEL	Government College University/ Pakistan
J. Marty ANDERIES	Arizona State University/ USA
Ayaga BAWAH	University of Ghana/ Ghana
Lilong CHAI	University of Georgia/ USA
Idiano D'ADAMO	Sapienza University of Rome/ Italy
Sanjit DEB	Texas Tech University/ USA
Caroline HACHEM-VERMETTE	University of Calgary/ Canada
Marlia Mohd HANAFIAH	The National University of Malaysia/ Malaysia
Nick HOLDEN	University College Dublin/ Ireland
Chang-Wei HU	Sichuan University/ China
Masashi KATO	Nagoya University/ Japan
Tafadzwanashe MABHAUDHI	University of KwaZulu-Natal/ South Africa
Mubarak MUJAWAR	Universiti Teknologi Brunei/ Brunei
Nidhi NAGABHATLA	United Nations University CRIS/ Belgium
Gunnar SEIDE	Maastricht University/ Netherlands
Jonathan Wong	Hong Kong Baptist University/ Hong Kong
Yenchun Jim WU	National Waiwan Normal University/ Taiwan
Jie ZHUANG	University of Tennessee/ USA

JOURNAL OF SCIENTIFIC REPORTS-C

E-ISSN: 2717-8633

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- Kütahya Yöresinde Yayılış Gösteren Sivrisinek Türlerinin Belirlenmesi*** 1-26
Determinanion of Mosquito Species Distributed in the Kütahya
Makbule YILDIZ*, Anıl İÇA
- Farklı Kömür Yıkanabilirlik Eğrilerinin Değerlendirilmesi: Erzurum-Oltu Kömürü Örneği*** 27-38
Evaluation of Different Coal Washability Curves: Erzurum-Oltu Coal Sample
Uğur DEMİR*

DERLEME MAKALESİ / REVIEW ARTICLE

- Kalın Kömür Damarlarında Kendiliğinden Yanma ile Mücadele Yöntemi*** 39-48
Management of Combating Spontaneous Combustion in Thick Coal Seams
Muhammet ÇAM*, Önder UYSAL



E-ISSN: 2717-8633

Sayı(Number) 10, Ağustos(August) 2025

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

Geliş Tarihi (Receive Date): 10.06.2025

Kabul Tarihi (Accepted Date): 29.08.2025

Kütahya Yöresinde Yayılış Gösteren Sivrisinek Türlerinin Belirlenmesi

Makbule Yıldız^{a,*}, Anıl İça^b

^{a,*}Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı, Kütahya, Türkiye.

ORCID: 0009-0007-4922-8507

^bKütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Türkiye

^bKütahya Dumlupınar Üniversitesi, Zoonozlar Uygulama ve Araştırma Merkezi, Kütahya, Türkiye.

ORCID: 0009-0007-3645-250X

Öz.

Kütahya yöresinde yapılan bu çalışma, sivrisinek türlerinin tespitine yönelik ilk çalışmadır. Kütahya yöresinin sivrisinek yayılışı, sivrisinek tür çeşitliliği ve tür yoğunluğu hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Kütahya yöresinde Merkez ilçe sınırları içerisinde seçilen on bir lokasyondan (Bölcek Mahallesi, Çamlıca mesire alanı, Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüsü, Enne mesire alanı, Hacıazizler mevkii, Regülatör mesire alanı, Sporkent mahallesi, Toki-Akkent mahallesi, Yedigöller mevkii, Yoncalı mahallesi, Zafertepe mahallesi) CDC ışık tuzağı ile yakalanan (n=247) ve larvaların yetiştirilmesiyle elde edilen (n=35) toplamda 282 dişi yetişkin sivrisineğin morfolojik özelliklerine göre stereo mikroskop aracılığıyla tür tanımlamaları yapılmıştır. Araştırma sonucunda, dört cinse ait sekiz tür tespit edilmiştir. Bu türler ve popülasyondaki oranları şu şekildedir; *Anopheles maculipennis* kompleks (%2,13), *Anopheles sacharovi* (%0,35), *Culex pipiens* (%87,59), *Culex theileri* (%1,42), *Culex hortensis* (%0,71), *Culiseta annulata* (%0,35), *Culiseta longiareolata* (%7,09), *Coquillettidia richiardii* (%0,35).

*Corresponding author.

E-mail address: makbuletascii@gmail.com

Anahtar Kelimeler: Sivrisinek, Diptera, Kütahya

Determination of Mosquito Species Distributed in the Kütahya

Abstract

This is the first study to determine the mosquito species in Kütahya. The mosquito distribution of Kütahya region provides important information about mosquito species diversity and species density. From eleven locations (Bölcek neighborhood, Çamlıca recreation area, Dumlupınar University Central Campus, Enne recreation area, Hacıazizler locality, Regülatör recreation area, Sporkent neighborhood, Toki-Akkent neighborhood, Yedigöller locality, Yoncalı neighborhood, Zafertepe neighborhood) selected within the borders of the central district of Kütahya. A total of 282 female adult mosquitoes captured with CDC light traps (n=247) and larvae reared (n=35) were identified by stereo microscopy according to their morphological characteristics. As a result of the research, eight species belonging to four genera were identified. These species and their proportions in the population are as follows; *Anopheles maculipennis* complex (2.13%), *Anopheles sacharovi* (0.35%), *Culex pipiens* (87.59%), *Culex theileri* (1.42%), *Culex hortensis* (0.71%), *Culiseta annulata* (0.35%), *Culiseta longiareolata* (7.09%), *Coquillettia richiardi* (0.35%).

Keywords: Mosquito, Diptera, Kütahya

1. Giriş

Hayvanlar alemi içerisinde , bazı şubeler hem içerisinde çok sayıda tür ve birey bulundururken hem de farklı canlılar arasında en fazla hastalık etmenini taşıyan şube olma özelliğine sahiptir [1]. Artropodlar bu şubelerin en bilinenlerindendir. Çeşitli hastalıkların taşınması yönüyle tarımsal alanda verim kaybına neden olurken bir taraftan da hayvanlar ve insanlarda hastalık etmenlerinin yayılmasına vektörlük ederler. Hayvanlar açısından baktığımızda hastalıkların nakliyle hayvansal verimi azaltabildiği gibi bir çok hayvanın kaybına da neden olmaktadır. İnsan sağlığını da ciddi şekilde etkileyerek zaman zaman salgınlara yol açmaktadır. Artropodların içerisinde bulundurduğu *Insecta* sınıfının mensubu olan diptera takımı altında yer alan culicidae ailesi üyeleri, insanlar ve hayvanlar arasında mekanik ve vektörel açıdan hastalıkların yayılması bağlamında çok önemlidir. Bu ailede çok sayıda tür bulunması ve çok sayıda tehlikeli hastalığın taşınması ona yakından incelenmesi gereken bir aile olma özelliği katmaktadır. Ayrıca vektör sinekler arasında yüksek uyumluluk ve bazı biyolojik özellikleri onu daha dikkat çekici kılmaktadır [2]. Sivrisinekler dünyada ve ülkemizde çok geniş yayılım gösterirler. Dünya üzerinde 3357 tür ile alt tür bulunduğu bildirilmiştir [3]. Ülkemizde ise yapılan çalışmalarda 8 cinse ait 50 adet tür tespiti yapılmıştır [4]. Günümüzde hala bu çalışmalar devam etmektedir.

İnsan sağlığının, içinde bulunduğu fiziksel, biyolojik ve sosyal çevre ile bu çevredeki çeşitli faktörlerden etkilendiği bilimsel bir gerçekliktir. Bu bağlamda bireylerin yalnızca bireysel sağlık durumlarıyla değil, yaşadıkları çevre koşullarıyla birlikte ele alınmaları, toplum sağlığı açısından daha bütüncül ve etkili sonuçlar sağlayacaktır. Bu çevrede yer alan diğer canlılar da, insan sağlığını dolaylı ya da doğrudan etkileyebilmeleri bakımından klinik açıdan önem arz etmektedir. Özellikle sivrisinekler; sıtma, sarı humma, dang humması, ensefalit ve filaryazis gibi önemli enfeksiyon hastalıklarının etkenlerini taşıyabilen biyolojik vektörlerdir [5]. Bu organizmalar, söz konusu patojenleri hayvandan insana, hayvandan hayvana, insandan hayvana ve insandan insana aktarabilme kapasitesine sahiptir. Bu yönüyle, sivrisinekler başta olmak üzere çeşitli vektörlerin, zoonotik hastalıkların bulaş zincirindeki kritik rolleri

açıkça ortaya konulmaktadır.

Sivrisinekler tropikal ve subtropikal iklim kuşağında yaşamaya uyum sağlamış canlılardır [6]. Türkiye subtropikal iklim kuşağında olması sebebiyle sivrisineklerin bulunuşu ve yayılışı açısından önemli bir konumdadır. Gelişen teknoloji ve transfer ağlarındaki ilerlemeler, sivrisineklerin uygun çevresel koşullar altında bir bölgeden başka bir bölgeye taşınmasına olanak tanımaktadır. Türkiye, sahip olduğu dağlık alanlar, zengin bitki örtüsü, sulak habitatlar ve coğrafi konumu nedeniyle sivrisineklerin yaşamı için oldukça elverişli bir ortam sunmaktadır. Bu çalışma, ülkemizde yürütülen araştırmalara katkı sağlamak, Türkiye faunasına Kütahya bölgesi özelinde veri kazandırmak, bölgede bulunan sivrisinek türlerini belirlemek ve bu doğrultuda mevcut ya da potansiyel halk sağlığı problemlerinin önüne geçmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, hastalıkların bulaştırılmasında etkin rol oynayabilecek türlerin varlığını tespit etmek ve elde edilen bulguları ilgili kamu kurumları ve kamuoyu ile paylaşmak da çalışmanın temel hedefleri arasındadır.

2.Deneysel Çalışma

2.1. Çalışmada Kullanılan Araçlar

Larva toplama aşamasında su numunelerini toplamak için kova, kepçe, dripper, örneklerin taşınması sırasında plastik ve cam şişeler, larvaların yetiştirilmesi aşamasında 250 ml sıvı alabilen cam ağız kısmı geniş (yaklaşık 10 cm) cam kavanozlar, larvalar pupa hale geçtikten sonra ergin sivrisineğin çıkıp yakalanabilmesi için file ile kaplı yetiştirme kafesi, ergin sivrisineklerin dondurucuda öldürülmesi amacıyla plastik ağız vidalı kaplar kullanılmıştır.

Ergin sivrisineklerin yakalanması amacıyla CDC ışık tuzakları, sivrisineğin tuzağa çekimlenmesini arttırmak amacıyla CO₂ kaynağı olarak kuru buz, makroskobik özelliklerin incelenmesi amacıyla stereo mikroskop kullanılmıştır.

Sivrisineklerin tür teşhisinde teşhis anahtarları [5,7,8,9,10,11,12,13] ve sanal ortamda kullanılan Avrupa sivrisinekleri tür teşhis anahtarı [14] kullanılmıştır. Tür teşhisi için, türe özgü ayırt edici fenotipik özellikler çalışmamızın bulgular kısmında detaylı olarak gösterilmiştir. Çalışma süresince cins tayininde kullanılan anahtarlardan biri şu şekildedir [5] ;

Sivrisineklerin Cins Bazında Teşhis Anahtarı

1.Palpler hortum kadar uzun, scutellum eşit şekilde yuvarlak ve tek düze kıllı	<i>Anopheles</i>
Palpler hortumdan bariz olarak kısa, scutellum trilobal (üç loblu) , kıllar her lobda paketlenmiş şekildedir	
Karın tergite ve sternitleri pullarla yoğun kaplanmış halde.....	2
2(1) Anal damar (A) apikal olarak keskin olarak bükülmüş, kubitusun çatallanmasından (Cu) biraz önce veya aynı seviyede sonlanmış	<i>Uranotarnia unguiculata</i>
Anal damar eşit şekilde bükülmüş, kubitusun çatallanmasının belirgin bir şekilde ötesinde sonlanır.....	3
3(2) Prespiraküler seta mevcut.....	<i>Culiseta</i>
Prespiraküler seta yok.....	4
4(3) Ön bacakların I tarsomeri, II ve V. tarsomerinin toplamından daha uzundur. Ön bacakların IV. tarsomeri küçülmüştür, V. tarsomerden daha uzun değildir.....	<i>Orthopodomyia pulcricarpis</i>
Ön bacakların I. tarsomeri genellikle II ile V. tarsomerinin toplamından daha kısadır. Ön bacakların IV. tarsomeri küçülmemiştir, sonraki tarsomerden belirgin uzundur	5
5(4) Postspiraküler kıllar bulunur. Pençeler genellikle subbazaldışıdır. Karın apikal olarak incilir, cerci kolaylıkla seçilir	<i>Aedes</i> ve <i>Ochlerotatus</i>
Postspiracular kıllar yoktur. Pençeler basit, subbazal dişsizdir. Karın apikal olarak yuvarlaktır, cerci kısadır ve neredeyse görülmez.....	6

6(5) Pulvilli mevcuttur. Kanat pulları dardır.....*Culex*
 Pulvilli yoktur. Kanat pulları genellikle geniş ve belirgindir*Coquillettidia*

2.2. Metod

Çalışma Mayıs -Ekim 2024 tarihleri arasında kapsamaktadır. Nisan 2024 ayında rastgele tuzak kurulumu yapılmış olup sivrisineklerin kışlamadan uyanıp uyanmadıkları kontrol edilmiştir. Mayıs 2024 tarihinden itibaren her bölgeyi temsilen ayrı ayrı tuzak kurulmuştur.

Kütahya İli Merkez sınırları içerisinde Bölcek Mahallesi, Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüsü, Çamlıca Mesire Alanı, Enne Mesire Alanı, Hacıazizler mevki, Regülatör Mesire Alanı, Sporkent Mahallesi, Toki Akkent Mahallesi, Yedigöller mevki, Yoncalı Mahallesi, Zafertepe Mahallesi sivrisinek toplanacak alanlar olarak belirlenmiştir. Sivrisinek toplanan alanların konumları uydu görüntüsünde işaretlenmiş olup Şekil 2.2.1.' de gösterilmiştir.



Şekil 2.2.1. Sivrisinek toplanan alanların işaretlenmiş uydu görüntüsü.

Tablo 1. Sivrisineklerin Toplandığı Bölgelerin Koordinat ve Rakım Bilgileri

Çalışma Merkezi	Rakım	Koordinat (D)	Koordinat (K)
Bölcek	935m	754126.06	4370341.83
Çamlıca	1047m	750883.28	4369047.75
Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüsü	1014m	749653.56	4373643.26

Enne Barajı Mesire Alanı	1001m	746333.32	4372906.58
Hacı azizler	1017m	245493.12	4362595.30
Regülatör Mesire Alanı	947m	247608.24	4361248.22
Sporkent	940m	245350.62	4365568.27
Toki	948m	756191.00	4371002.00
Yedigöller	948m	755696.94	4369873.01
Yoncalı	1013m	745375.22	4376222.67
Zafertepe	942m	247278.53	4363794.88

Ergin sivrisineklerin yakalanması için çok çeşitli yöntemler vardır. Doğrudan yemleme ile yakalanması, ağ ve aspiratörlerle direkt yakalamalar, çekici tuzaklar bunlardan bazılarıdır. Her yöntemin kendine göre avantaj ve dezavantajı bulunmaktadır. Hava koşulları, sivrisineğin aktivitesi, konak arama davranışı ve dinlenme davranışı, sivrisineğin fizyolojik aşaması gibi faktörler yakalamayı etkilemektedir [5]. Bu çalışmada CDC CO2 çekicili ışık tuzakları kullanılmıştır. Ergin dişi sivrisineklerin toplanması için kullanılan tuzak, üzerinde bulunan delikler ile içerdeki karbondioksitin dışarıya salınımına izin veren, içi süblimleşmeyi hızlandıran polietilen materyal ile kaplı plastik kuru buz kabı bulundurulur. Tuzağın orta bölümünde fan ve minyatür 1.5 V ve 70 mA lamba ile bunların güç kaynağı olan piller bulunur. Bu parçalar öncelikli olarak dişi sivrisineğin ışık ve karbondioksit çekimlenmesine olanak sağlamaktadır. Daha sonra tuzağın pervane sistemi ile hava akımına kapılıp pervanenin alt kısmındaki fileye girmektedirler. Pervane çalıştığı sürece sivrisinek pervanenin oluşturduğu hava akımına karşı uçuş yapamayıp filede kalmaktadır [5]. Tuzak kurulumu gün batımından önce yapılmıştır ve ertesi sabah güneş doğduktan hemen sonra toplanmıştır. Yaz periyodu göz önüne alınacak olursa akşam 19.00 ile sabah 07.00 arası boyunca tuzak aktif halde çalışmıştır. Bu süre sonunda sivrisineklerin toplandığı fileler alınarak laboratuvara getirilmiştir.

Tuzaklar, alt ucu yerden yaklaşık 1.5 metre yükseklikte olacak şekilde konumlandırılmıştır [16]. Her bir tuzağın ampul ve pervane sistemi çalıştırılmadan önce kontrol edilmiştir. Tuzakların kuru buz haznesine, yaklaşık 1 kilogram kuru buz yerleştirilmiştir. Ertesi sabah, saat 07.00 civarında, sivrisineklerin toplandığı file zarar görmeyecek şekilde dikkatlice kapatılmış ve örnekler, köpük kutular içerisinde laboratuvara taşınmıştır. Kuru buz haznesi kontrol edilerek, bir miktar kuru buzun kalmış olması göz önünde bulundurulmuş ve bu doğrultuda ilerleyen örneklemelerde kuru buz miktarı artırılmıştır.

Su örneği toplamak için seçilen bölgeler ışık tuzağı kurulan bölgelerin civarında aynı bölgeyi temsil edebilecek nitelikte su birikintileri, kanal, dere vb. sucul alanlar seçilmiştir. Bu alanlardan su miktarına bağlı olarak gerekli büyüklükte kepçe ve benzeri toplama araçları kullanılmıştır. Yine su miktarına bağlı olarak alanı temsil etmesi amacıyla yeterli daldırma işlemi yapılmıştır. Laboratuvara getirilen sivrisinek örnekleri, tarih ve koordinat bilgileri ile birlikte uygun şekilde etiketlenmiştir. Laboratuvara taşınan örnekler, sivrisinekleri öldürmek amacıyla, -20°C sıcaklıktaki derin dondurucuda, içinde bulundukları file ile birlikte 1–2 saat süreyle bekletilmiştir. Mikroskopik incelemelerde doğru tür tayini yapılabilmesi için, her bireye ait yer, tarih ve birey numarası gibi kimlik bilgilerini içeren üçgen şekilli etiketler hazırlanmış olup, bu etiketlerin sivri uçları, sivrisinek dorso-ventral pozisyondayken, thoraks ile abdomen arasına gelecek şekilde tırnak cilası yardımıyla sabitlenmiştir [7].

3. Bulgular

3.1. Çalışmada tespit edilen türlerin fenotipik ayırt edici bulguları

3.1.1. *Anopheles maculipennis* kompleks (*Anopheles sacharovi* hariç) (Meigen, 1818)

Başta, oksiput üzerinde düz ve koyu kahverengi renkte pullar mevcuttur. Vertekste öne doğru yönelmiş demet şeklinde görünen uzun beyazımsı pul ve kıllar vardır. Bu demete kakül denilmektedir [15,1]. Antenler kahverengi renklidir ayrıca dişilerde antenler palplerle aynı boyuttadır [5].



Şekil 3.1. *Anopheles maculipennis* kompleks (*Anopheles sacharovi* hariç) türlerinde görülen başın verteksinde öne doğru yönelmiş demet şeklinde görünen uzun beyazımsı pul ve kıllar.

Scutellum thoraksa göre daha açık renkli ve çıplaktır. Sadece serbest kenarlarda uzun kıllar bulunmaktadır [1]. Kanatlar kahverengi pullarla kaplıdır. Koyu renkli pullar enine damarlar yakınında, Rs tabanında, R2+3 ve M çatallarında koyu renkli benekler meydana getirirler. Kanatlarda görülen bu lekelenmeler sebebiyle Avrupa'da bulunan *Anopheles* türlerinden ayrılmaktadır. R2+3 ve M ayırım yerleri kanat basalına neredeyse eşit uzaklıkta bulunmaktadır. Kanadın apeksinde soluk renkli benek görülmektedir [5]. Kanadın kenarlarında bulunan saçak yapıları da uzun, ince, koyu renkli kıllarla çevrilidir [1]. Radiusun şubelerinin costa ile birleştiği kanadın apeksine denk gelen kıllar beyazımsı renkte görünürler. Kirli beyaz olarak da nitelenen kılların oluşturduğu bu leke *Anopheles maculipennis* türünü *Anopheles sacharovi* türünden ayıran önemli bir kriterdir [1].



Şekil 3.2. *Anopheles maculipennis* kompleks (*Anopheles sacharovi* hariç) türlerinde görölen kanadın radius şubelerinin costa ile birleştiğı yerde görölen kirli beyaz renkli kıllar.

3.1.2. *Anopheles sacharovi* (Favre, 1903)

Anopheles sacharovi türlerinde diğeri *Anopheles maculipennis* kompleks üyelerinde görölen scutumda bulunan soluk renkli grimtrak median şerit bulunmaz. Scutum tamamen sarımsı kahverengi renkli ve scutumun yan kısımları neredeyse orta bölgesinde olduğı üzere sarımsı kahverengi renklidir [8,15,14,1].



Şekil 3.3. *Anopheles sacharovi* türlerinde scutumun kahverengi- sarımsı kahverengi renkli görünümlü (orta kısımda soluk uzunlamasına şerit bulunmuyor)



Şekil 3.4. Kanatlarda görülen koyu renkli renkli lekeler *Anopheles maculipennis* kompleks türlerinde görülen lekelenmelere göre göze çarpıcı değildir.

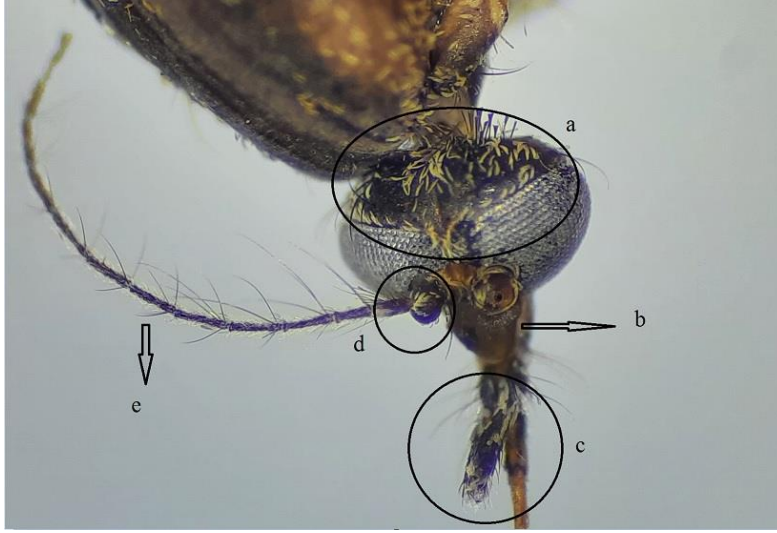


Şekil 3.5. Kanadın saçaklarının uç kısmı hemen hemen aynı renkte pullarla kaplı, açık renkli uç kısım bulunmuyor

3.1.3. *Culiseta (Culiseta) annulata* (Schrank, 1776)

Culiseta annulata 'nın hortumu, apikal kısmı daha koyu renkli olmak üzere soluk ve koyu renkli pullarla çevrilidir. Labellum koyu kahverengidir. Klipus koyu kahverengi olup palpler koyu renkli ancak üzerinde dağınık soluk renkli pullar bulunur. Bu açık renkli pullar palplerin uç kısmında sayıca çok miktarda bulunurken palpomer II ve III 'ün birleştiği noktada belirgin soluk benek vardır. Antenler koyu kahverengi olup pedicelin iç yüzeyinde

beyaz renkli pullar bulunur. Başta soluk dar pullar ve oksiputta koyu dik çatallı pullar bulunur. Gözler sarımsı-beyaz renkli pullarla ve koyu renkli kıllarla çevrilmiştir [5].



Şekil 3.6. *Culiseta annulata*'nın baş bölgesi (a:vertexte bulunan koyu renkli dik kıllar ile soluk renkli setalar. b: klypeus c: palplerde bulunan koyu renkli pullar ve aralarda serpilmiş soluk renkli pullar d: pedicelin iç kısmında görünen açık renkli pullar e: anten)

Skutum ince, koyu kahverengi ve soluk pullar bulundurur. Posterior submedian alanda iki soluk nokta vardır ve prescutellar bölgesinde beyazımsı pullar mevcuttur. Scutellum beyazımsı pullar ve siyah kıllara sahip olup kahverengidir. Postnotum kahverengi veya koyu kahverengi görünümündedir.



Şekil 3.7. Posterior submedian alanda açık renkli pullanmalarla görülen benek (Örnek zarar gördüğü için tek taraftaki pullanmalar dökülmüştür)

Plöritler geniş, beyazımsı pullardan oluşan yamalara sahiptir. Mezepimeral pul yaması hemen hemen mezepimeronun alt sınırına kadar uzanır. Prespiraküler kıllar ve alt mezepimeral kıllara sahiptir [5,7].



Şekil 3.8. *Culiseta annulata* 'nın prespiraküler kılları ve postspiraküler alanda pullar

Bacaklar koyu kahverengi renkli pullarla kaplı olup belirgin beyaz disk benzeri yapılara sahiptir. *Culiseta annulata* bu yapı itibariye ve tarsomer 1' in orta kısmında görülen beyaz halka bulunması ile *Culiseta alaskaensis* 'ten farklılık göstermektedir. Femur büyük çoğunluğu koyu renkli pullara ve dağınık açık renkli pullara sahiptir. Femurun subapikal kısmında beyaz halka bulunur [5].



Şekil 3.9. *Culiseta annulata* 'nın femur subapicalinde görülen beyaz halkasal yapı

3.1.1.4. *Culiseta (Allotheobaldia) longiareolata* (Macquart, 1838)

Scutum üzerinde grlen uzunlamasına bariz soluk pulların oluşturduğu çizgiler görüntüsü itibariyle ismini lir algısından alır. Scutum açık kahverengi, ince pullar ihtiva eder. Soluk pullardan oluşan çizgi scutellum hizasına kadar uzanır [5,7].

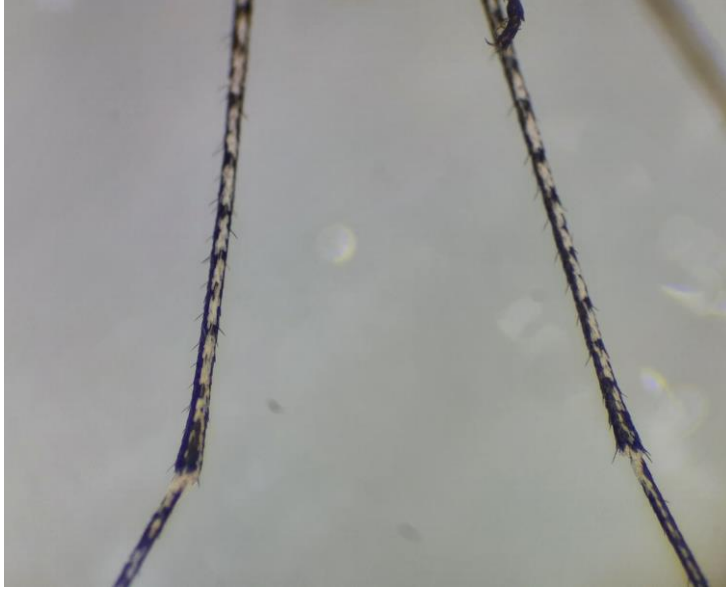


şekil 3.10. *Culiseta longiareolata* 'nın scutumu üzerindeki lir çizgileri



şekil 3.11. *Culiseta longiareolata* 'nın prespirakler setaları gösterilmiştir

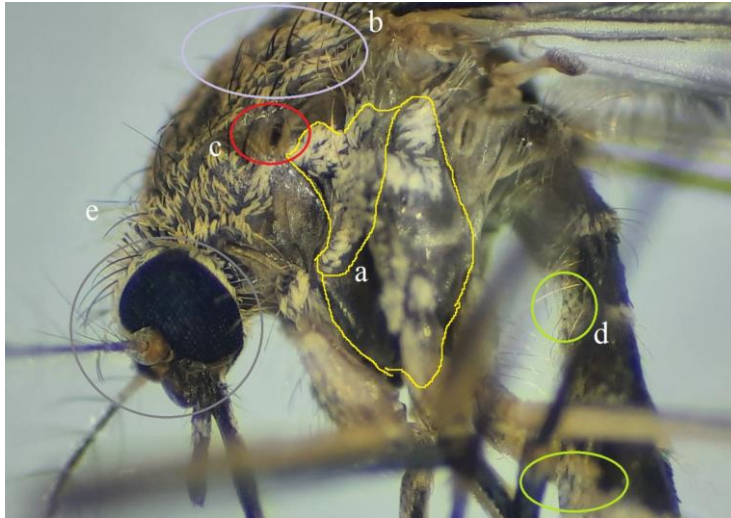
Bacağın femur ve tibiasında grlen beneklenmeler yine soluk pulların dağılımı neticesinde oluşmuştur. Tarsomer I dahil olmak üzere soluk beneklere ek olarak uzunlamasına çizgiler de görülmektedir [5,7].



Şekil 3.12. *Culiseta longiareolata* 'nın bacaklarında (tibia) görülen açık renkli pullanmalar ile oluşan benekler ve çizgiler

3.1.1.5. *Culex (Maillotia) hortensis* (Ficalbi, 1889)

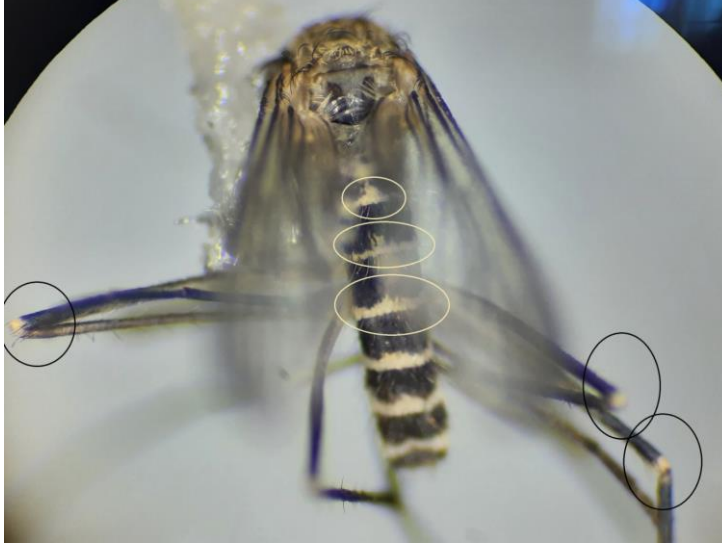
Dişi birey scutum ve thoraksta pullanmalara sahiptir. Skutumda koyu renkli kıllar ve çoğunluğu kahverengi ve beyazımsı ince pullar bulunur. Bu pullar yanıl çizgileri oluştururken scutellum daima beyazımsı ince pullara sahiptir. Mesepisternum ve mesepimeronda soluk pulların oluşturduğu yamalar bulunur [5].



Şekil 3.13. *Culex hortensis* (dişi) bireyin pullanma ve kılları gösterilmektedir (Orjinal) a.Mesepisternum ve mesepimeronda görünen pul

yamaları, b: scutumun kenarından görünen koyu renkli kıllar ve açık renkli pullar, c: Prespiraküler alanda kılların bulunmaması, d: Abdominal sternitlerin açık renkli pullanması, e: Oksiputta görünen açık renkli pullar ve göz sınırlandıran açık renkli pul sırası

Koksa' nın ventralinde beyaz pullar bulunur. Femur açık renkli pullar bulundurur ve arka femurun dorsalinde koyu renkli pullar bulunmaktadır. Tibia ve tarsomerler koyu renklidir. Beyaz renkli diz lekeleri vardır. Arka tibiaanın tepesinde zorlukla seçilebilen beyazımsı nokta bulunur [5].

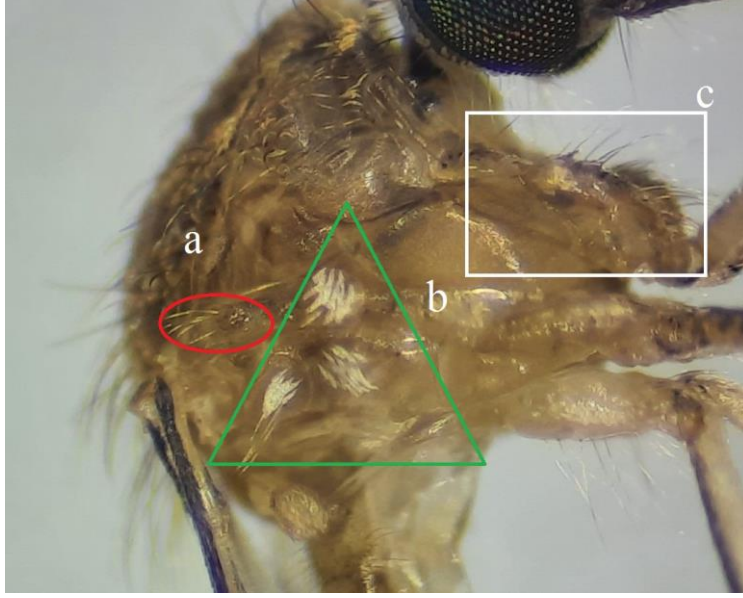


Şekil 3.14. *Culex hortensis* ' in abdomen ve bacak yapısı

Siyah halkalar eklemelerindeki açık renkli alanları gösterir, Beyaz halka abdominal tergitlerin yaptığı üçgenimsi pullanmayı göstermektedir

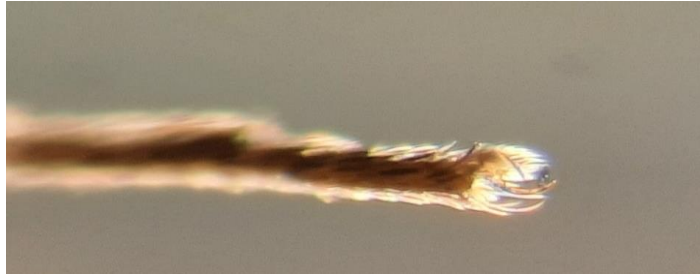
3.1.1.6. *Culex pipiens* (Linnaeus, 1758)

Scutum, zayıf yapıda ve altın kahverengi görünümünde pullara sahip olup bu pullar yan kısımlarda daha açıktır. Scutellum ince, açık renkli sarımsı pullar ile kahverengi kıllara sahiptir [5]. Plöritlerde mesepisternumda sarımsı - açık renkli pul yamaları vardır. Postspiraküler ve prealar alanda pul bulunmaz ancak nadiren görülebilir [5,7].



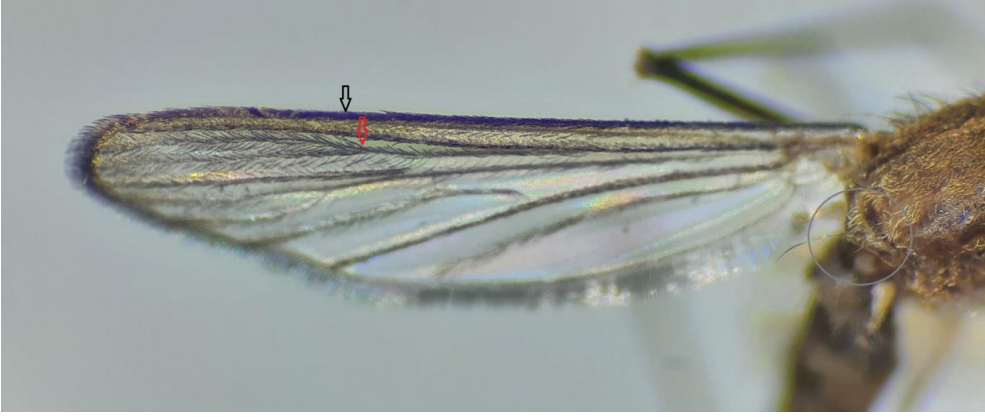
Şekil 3.15. *Culex pipiens*' in thoraksı : a.Postspiraküler ve Prealar alanda pullar mevcut değil ,b.Mesepisternumdaki pul yamaları ,c.Koksa'nın açık ve koyu renkli pulları.

Femur sarımtırak apical sınır haricinde koyu pullu olup arka femurda beyaza yakın renkte açık renkli pullar bulunmaktadır. Arka bacakların I. tarsomeri tibia kadar uzundur. Tibia ve tarsus koyu pullanmıştır, arka tibia da soluk şerit bulunmaz . Pulvilli bulunur [5].



Şekil 3.16. *Culex pipiens* ' in ayak uç kısmında görülen pulvilli

Kanatlarda pullanma koyu renklidir. Subkosta (Sc) R2+3 'ün çatallanmasının ilerisinde kostayı (C) bölmektedir [5].



Şekil 3.17. *Culex pipiens* kanadı üzerinde Sc 'nin Costayı (C) kestiği yer (siyah ok ile gösterilmiştir) , R2+3 çatallanmasından (kırmızı ok ile gösterilmiştir) ileridedir.

3.1.1.7. *Culex theileri* (Theobald ,1903)

Kahverengi görünümde, iri bir sivrisinek türü olan *Culex theileri* 'nin en önemli ayırt edici özelliği başlıca ön ve orta bacaklarda yer alan hatta tüm femur ve tibiaların ön yüzeyinde bulunan uzunlamasına soluk çizgilerdir [5]. Scutum orta kısımda sarımsı-kahverengimsi pullarla, yanlarda sarımsı-beyazımsı pullarla örtülüdür. Prescutellar alan yine açık renklidir. Postspiraküler alanda açık renkli pullardan oluşan büyük bir yama bulunur. Üst ve alt mesepisternal pul yamaları, mesepisternumun arka sınırında birleşmiştir. 1. tergitte soluk pullar bulunur hatta tergit II ve tergit III 'te orta kısımda pullardan oluşan yama görüntüsüne sahiptir. IV.-VII tergitler geniş bazal açık renkli bantlanma gösterir ve arka kısma doğru üçgen oluşturur. VIII. tergit sadece koyu pullarla kaplıdır [5].



Şekil 3.18. *Culex theileri* 'nin lateral görünümü : a. Postspiraculer pullar b.Mesepisternumdaki pul yamaları c.Orta femur uzunluğu boyunca görülen şerit



Şekil 3.19. *Culex theileri*' nin abdominal tergitlerinde görülen açık renkli pullanmalar

3.1.1.8. *Coquilettidia (Coquilettidia) richiardi* (Ficalbi , 1889)

Coquilettidia richiardi türü dişileri kanat pullanmaları bakımından diğer Avrupa türlerinden farklı olarak çok daha geniştir. Mesepisternal ve mesepimeral yamalarda geniş ve beyaz renkli pullar bulunur. Tergitler kahverengi pulla kaplı olup, aralarda dağınık halde sarımsı soluk pullar bulunur. Abdomen genişlemiştir [5].



Şekil 3.20. Mesepisternal ve mesepimeral yamalar



Şekil 3.21. Tergitlerin görünümü

Bacakların hepsinin I. tarsomerinin ortasında *Culiseta annulata* ve *Culiseta subochrea* 'da da bulunan halkasal yapıya benzer bir alan bulunur. Femur ve tibialarda pullar, bazalde sarımsak-kahverengi pullar aralara dağılmış halde bulunurken tepede soluk renklidir. Ön bacaklarda tarsomer I ile III arasında geniş soluk halkalar bulunur. Orta ve arka bacaklarda tüm tarsomerlerde görülür [5].



Şekil 3.22. Tarsomerler arasında görülen bantlanmalar

Kanat damarlarındaki pullanmalar kahverengi ve sarımsaktrak renkli pulların karışık halde dağılmasıyla oluşmuştur ve pul yapısı geniştir [5].



Şekil 3.23. Kanat pulları gösterilmiştir.

3.2. Çalışmada Elde Edilen Veriler ve Sayısal Analizleri

Bölgeler tuzak kurulan aylar ve periyotlar dikkate alınarak incelendiğinde, Mayıs ayında hiçbir bölgede sivrisinek yakalanmamıştır. Haziran ayı ilk periyotta toplamda 24 sivrisinek olmak üzere en yüksek birey sayısı Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüsü'nde bulunmaktadır ve 11 adettir. Bu periyotta Hacıazizler, Regülatör, Zafertepe, Toki, Çamlıca bölgelerinde birey yakalanamamıştır. Haziran ayının ikinci periyodunda birey sayısı artarak 17'ye ulaşmıştır. En yüksek birey sayısı yine Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüsü'ne aittir. Bu periyotta birey bulunmayan bölgeler, Regülatör, Zafertepe, Toki, Çamlıca bölgeleridir. Temmuz ayının ilk periyodunda birey sayısı 76'ya ulaşmıştır. En yüksek birey sayısına sahip bölge Sporkent bölgesidir. Hacıazizler, Regülatör, Çamlıca bölgelerinde birey bulunamamıştır. Temmuz ayının ikinci periyodunda birey sayısı düşerek 46 adettir. Ağustos ayının ikinci periyodunda sayı daha da düşerek 28 kadardır. Eylül ayını temsil eden tek periyotta ise 12 birey sayısına gerilemiştir. Temmuz ayının ilk periyodu itibarıyla birey sayısı Sporkent bölgesinde en yüksek sayıda devam etmiştir. Enne bölgesi Eylül ayında en yüksek sayıda yakalanmıştır. Yine aynı şekilde Çamlıca bölgesinde Eylül ayında popülasyonun tek temsili birey elde edilmiştir.

Tablo 3.2.1. Tuzak kurulan bölgelerden periyodik olarak toplanan sivrisinek sayısını göstermektedir.

Tuzak kurulan bölge	Mayıs (tek)	Haziran 1.veri	Haziran 2.veri	Temmuz 1.veri	Temmuz 2.veri	Ağustos 1.veri	Ağustos 2.veri	Eylül (tek)	Toplam Sivrisinek Sayısı
Bölcek	0	3	4	14	8	2	1	1	33
Yedigöller	0	5	12	7	4	4	6	0	38
Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüsü	0	11	17	5	2	3	1	0	39
Yoncalı	0	1	1	4	4	8	4	0	22
Enne Barajı Mesire Alanı	0	3	1	1	0	2	0	4	11
Sporkent	0	1	1	35	13	12	8	4	74
Hacı azizler	0	0	2	0	8	3	6	1	20
Regülatör Mesire Alanı	0	0	0	0	0	2	1	1	4
Zafertepe	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Toki	0	0	4	9	6	3	1	0	23
Çamlıca Mesire Alanı	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Aylara Göre Genel Toplam	0	24	42	76	46	39	28	12	267

Tablo 3.2.2. Sivrisineklerin toplandıkları bölgelere göre tür dağılımları

Sivrisinek Türü	<i>Anopheles maculipennis</i>	<i>Anopheles sacharovi</i>	<i>Culex pipiens</i>	<i>Culex theileri</i>	<i>Culex hortensis</i>	<i>Culiseta annulata</i>	<i>Culiseta longiareolata</i>	<i>Coquillettidia richiardii</i>	Toplam Sivrisinek Sayısı

Larva Toplanan Bölge	SAYI	%	SAYI	%	SAYI	%	SAYI	%	SAYI	%	SAYI	%	SAYI	%	SAYI	%	TOPLAM
Bölcek	1	3,13	0	0	29	90,6	1	3,13	0	0	0	0	1	3,13	0	0	32
Yedigöller	0	0	1	2,7	33	89,2	2	5,41	0	0	1	2,7	0	0	0	0	37
Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüsü	1	2,7	0	0	34	91,9	0	0	0	0	0	0	1	2,7	1	2,7	37
Yoncalı	0	0	0	0	18	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
Enne Barajı Mesire Alanı	0	0	0	0	8	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Sporkent	0	0	0	0	73	98,6	0	0	0	0	0	0	1	1,35	0	0	74
Hacı azizler	0	0	0	0	17	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
Regülatör Mesire Alanı	0	0	0	0	3	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Zafertepe	0	0	0	0	2	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Toki	1	5,56	0	0	16	88,9	1	5,56	0	0	0	0	0	0	0	0	18
Çamlıca	0	0	0	0	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Dört cinse ait dört türü barındıran Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüsü' ü *Coquillettidia richiardii*' nin tespit edildiği tek bölgedir. Yoncalı bölgesinden toplanan ergin dişi sivrisineklerin tamamı *Culex pipiens* türüne ait olup oranı %100 olarak bulunmuştur. Bu sayı bölgede başka türlerin bulunmadığını göstermemekle birlikte 1 tane *Anopheles* cinsine ait erkek birey elde edilmiş ancak dişi bireyler üzerinden tür teşhisi yapılması nedeniyle verilere dahil edilmemiştir. Enne bölgesinden toplanan tek tür *Culex pipiens* olup bölge popülasyonunda oranı %100 olarak bulunmuştur. Sporkent bölgesinde *Culex pipiens* türü (%98,65) ve *Culiseta longiareolata* (%1,35) olmak üzere iki cinse ait iki tür elde edilmiştir. Hacı azizler bölgesinde dişi sivrisinekler %100 oranında *Culex pipiens* türüne aittir. Ancak bölgede yakalanan 1 adet erkek *Culiseta* soyuna ait birey elde edilmiş olsa da çalışma dışı bırakılmıştır. Regülatör bölgesinden toplanan dişi sivrisineklerin tamamı *Culex pipiens* (%100) türüne ait olup bölgedeki tek türdür. Zafertepe bölgesinden elde edilen dişi sivrisineklerin tamamı *Culex pipiens* (%100) türü olup bölgede görülen tek türdür. Toki Akkent Mahallesi bölgesi *Anopheles maculipennis kompleks* (%5,56), *Culex pipiens* (%88,9), *Culex theileri* (%5,56) oranında bulunmuştur. Bölgede iki cinse ait üç türe rastlanmıştır. Çamlıca bölgesi en az örnek sayısına sahip olma özelliğinde olan bölge olarak 1 temsili örnek sayısı ile *Culex pipiens* türünün oranı %100 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.2.3. Larva örneklerinin toplandığı bölgeler ve habitatlar

Su Numnesi Alınan Bölge	Habitat Tipi, Suyun Özellikleri	<i>Anopheles maculipennis</i>	<i>Anopheles sacharovi</i>	<i>Culex pipiens</i>	<i>Culex theileri</i>	<i>Culex hortensis</i>	<i>Culiseta annulata</i>	<i>Culiseta longiareolata</i>	<i>Coquillettidia richiardii</i>
		Dişi	Dişi	Dişi	Dişi	Dişi	Dişi	Dişi	Dişi
Bölcek	Sulama kabı birikinti suyu, temiz su	2	0	2	0	0	0	6	0
Yedigöller	Süs havuzu, temiz su ,yosunlu	0	0	0	0	0	0	0	0
Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüsü	Birikinti yağmur suyu, temiz su	0	0	2	0	0	0	11	0
Yoncalı	Sulama alanı birikinti suyu, çamurlu su	1	0	9	0	2	0	0	0
Enne Barajı Mesire Alanı	Baraj suyu, kirli, yosunlu	0	0	0	0	0	0	0	0
Sporkent	Kanal suyu, akıntı mevcut	0	0	0	0	0	0	0	0
Hacı azizler	Sulak alan mevcut değil	-	-	-	-	-	-	-	-
Regülatör Mesire Alanı	Kanal birikinti suyu, sazlık ve yosunlu, kirli su	0	0	0	0	0	0	0	0
Zafertepe	Kanal suyu, akıntı mevcut	0	0	0	0	0	0	0	0
Toki	Sulak alan mevcut değil	-	-	-	-	-	-	-	-
Çamlıca Mesire Alanı	Akan su birikinti alanı	0	0	0	0	0	0	0	0

Çalışmada toplanan larvalardan yetiştirilen 35 dişi sivrisineğin türlerine bakıldığında , *Anopheles maculipennis* kompleks (3), *Culex pipiens* (13), *Culex hortensis* (2), *Culiseta longiareolata* (17) 'dir.

Elde edilen larvaların populasyon içinde tür bazlı oranları; *Anopheles maculipennis* kompleks (%8,57), *Culex pipiens* (%37,1), *Culex hortensis* (%5,71), *Culiseta longiareolata* (%48,6) 'dır. *Anopheles maculipennis* kompleks türünün Bölcek bölgesindeki sivrisinek populasyonuna oranı %20, *Culex pipiens* türünün oranı %20, *Culiseta*

longiareolata türünün bölgedeki oranı %60' ır. Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs' ünde türlerinde populasyon oranları ; *Culex pipiens* %15,4 , *Culiseta longiareolata* % 84,6 olarak bulunmuştur. Yoncalı bölgesinden toplanan türlerin bölge populasyonuna oranı *Anopheles maculipennis* kompleks %8,33 , *Culex pipiens* %75, *Culex hortensis* %16,7 'dir.

4.Tartışma

Ülkemizde sivrisinekleri hakkında yazılmış en geniş ölçekli yayın olma özelliğinde olan "Türkiye Sivrisinekleri" isimli kitapta elli beş türün varlığından bahsedilmiştir [7]. Yapılan çalışmaların bir grup araştırmacı tarafından gözden geçirilmesi ile 2001 yılında düzenleme yapılmış, daha önce varlığı bildirilen on üç türün bulunmadığı raporlanmıştır [4]. Bu türler ; *Aedes aegypti*, *Anopheles melanoon*, *Anopheles messeae*, *Anopheles multicolor*, *Anopheles sergentii*, *Culex fatigans*, *Culex univittatus*, *Culex vagans*, *Culiseta setivalva*, *Ochlerotatus albionensis*, *Ochlerotatus annulipes*, *Ochlerotatus mariae*, *Ochlerotatus quartus* ' tur [7]. Daha önce varlığı bildirilmemiş ancak güncelleme ile eklenmiş türler ise; *Anophles subalpinus*, *Ochlerotatus dorsalis*, *Ochlerotatus nigrocanus*, *Ochlerotatus phoeniciae* , *Ochlerotatus zammitii* , *Culex perexiguus* ' tur [4].

Ankara Gölbaşı' nda yapılan bir çalışmada *Culex pipiens* örneklerin *Culex theileri* 'den fazla olduğu görülmüştür [17]. Kütahya yöresinde yürüttüğümüz çalışmada su numunesinin toplandığı dokuz noktadan sadece üç noktada larva bulunmuş ve *Culex pipiens* larvalarına bu üç noktada rastlanılmıştır. *Culex theileri* ' nin larvaları örneklenemediği için kıyaslama yapılamamıştır. *Culex pipiens* 'in hem kirli hem de temiz sularda dominant olarak bulunması tolerans yeteneği, üreme ve yayılış alanına yakınlığı ile açıklanabilmektedir.

Çankırı-Kızılırmak, Şanlıurfa-Birecik ve Konya-Beyşehir lokasyonlarında, yapılan 2006-2008 yılları arasında yapılan çalışmada Birecik bölgesinde yalnızca *Anopheles sacharovi* türünün bulunduğu, Beyşehir lokasyonunda *Anopheles maculipennis*, *Anopheles melanoon*, *Anopheles sacharovi* türlerinin bulunduğu, Kızılırmak lokasyonu ise *Anopheles maculipennis* , *Anopheles melanoon* ve az sayıda *Anopheles hyrcanus* ile birlikte *Culex pipiens* türlerinin varlığı gösterilmiştir [18]. Kütahya yöresinde yürütmüş olduğumuz çalışmada, *Anopheles* cinsine ait iki tür tespit edilmiş olup bu türler; *Anopheles maculipennis* kompleks ve *Anopheles sacharovi* türleridir.

Ege bölgesinde Manisa ili ve ilçelerini temsil eden Mart-Eylül 2009 zaman aralığında sivrisinek larvalarının tayini ile yapılan çalışma sonucunda *Culex pipiens* (%26,71) , *Culex martinii* (%23,98), *Culiseta annulata* (%15,25), *Culiseta longiareolata* (%13,99), *Culex deserticola* (%12,17), *Anopheles superpictus* (%7,89) türleri tespit edilmiştir [19]. Çalışmamızın yapıldığı alan, Ege bölgesinde olmasına rağmen bazı kesimlerde Akdeniz ikliminden daha çok Karasal iklimin hakim olduğu bilinmektedir. Ege bölgesinde bulunan Kütahya ili mevsimsellik açısından Manisa ilinin iç kesimlerine benzetilebilir. Kışları sert ve soğuk geçen yörede, yaz mevsimi kısa sürerken, sivrisinekler için elverişli olmayan hava koşulları üremeyi sınırlandırmaktadır. Akdeniz ikliminde Nisan aylarından itibaren larva örneklerine rastlanırken karasallığın hakim olduğu bölgelerde ilerleyen aylarda havaların ısınmasıyla ancak mümkün olmaktadır. Çalışmamızda Mayıs ayında yapılan arazi çalışmalarında örnek toplanamamıştır. Çalışmada Aralık -Mart ayları boyunca bir yıl içerisinde dört ayda örnek toplanamadığı belirtilmiştir , en yüksek örneklerin Haziran - Temmuz aylarında gerçekleştiği raporlanmıştır [19]. Çalışmamızda bu durum Haziran aylarında başlayan kademeli artışla birlikte Temmuz ayında pik yapmış, Eylül ayına kadar azalarak devam etmiştir. Aynı çalışmada *Culex pipiens* ve *Culiseta longiareolata* türlerinin tercih ettiği habitat tipinin organik madde

bakımından zengin, kirli sular olduğu tespit edilmiştir. *Culex pipiens* ve *Culiseta longiareolata* türleri bu şekilde olan sucul habitatlarda diğer türlere göre baskındır ancak temiz ve organik madde miktarının az olduğu sucul alanlarda da görünmesi, bu iki türün bireylerinin toleransının geniş ve seçiciliğinin düşük olduğunu göstermektedir [19]. Çalışmamızda seçilen dokuz sulak alan noktasından üç noktada larva toplanabilmiş, bu noktalardan Yoncalı sulama alanı birikinti suyu, çamurlu su özelliğinde ve (n=27) toplanan larvaların total sayısının %33,8 'i bu bölgeden toplanmıştır. *Culex pipiens*, *Culex hortensis*, *Anopheles maculipennis* kompleks larvaları örneklenmiş ancak *Culiseta longiareolata* larvaları görülmemiştir. Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüsü noktasından birikinti yağmur suyu, temiz su olma özelliğindeki sucul alandan toplanan larvalar (n=37) total larva sayısının %46,3 'ünü oluşturmakta olup bölgede *Culiseta longiareolata* ve *Culex pipiens* larvaları görülmüştür. *Culiseta longiareolata* larvaları bu habitatta dominant türdür. Yine temiz su olma özelliğindeki Bölcek noktasından sulama kabı birikinti suyundan toplanılan larvalar *Culex pipiens* , *Culiseta longiareolata* ve *Anopheles maculipennis* türlerine aittir. *Culiseta longiareolata* türü larvalarının temiz su özelliğindeki sucul habitatları seçtiği görülmektedir.

Ege bölgesinde yapılan başka bir çalışmada elde edilen üç *Culex* türünün arasında *Culex quinquefasciatus* türünün *Culex pipiens* ve *Culex perexigus* 'dan daha yaygın olduğu tespit edilmiştir. Bu tür Balıkesir başta olmak üzere Denizli, Çanakkale, Muğla, Aydın, İzmir 'de görülmüştür. Aynı çalışmada *Culex pipiens* 'in İzmir, Aydın, Denizli , Çanakkale illerinde görüldüğü, *Culex perexigus* 'un Muğla ve Balıkesir'de uydu tür olarak görüldüğü bildirilmiştir [20]. Aydın ili ortak olmak üzere bölgede yapılan ortak çalışmalarda daha önce *Culex quinquefasciatus* türüne popülasyon oranı düşük olmak üzere rastlanıldığı bildirilmiştir [21,22]. Ege bölgesinin popülasyon dinamiklerinin yıllar içerisinde değiştiği açıkça görülmektedir. Ayrıca bazı istilacı türlerin yayılış alanlarını genişlettiği zaman içinde farklı coğrafyalarda görülmeye başlandığı bilinmektedir. Bu durum, istilacı türlerin mevsimsel ve çevresel faktörlere uyum yeteneğinin yüksek olması ile gerçekleşmektedir. Yapmış olduğumuz çalışma ile Kütahya yöresinde bu istilacı türe henüz rastlanmamış olsa bile komşu illerde yaygın olarak bulunması ileri dönemlerde görülebilme potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Akdeniz ve Ege Bölgesinde, *Culex pipiens* türüne Adana (Karataş), Hatay (Dörtöy), Mersin (Tarsus), Antalya (Manavgat), Isparta (Merkez), Burdur (Merkez), Afyon (Dinar), Uşak (Eşme), Denizli (Honaz), Muğla (Dalaman), Aydın (Söke), Manisa (Saruhanlı) bölgelerinde rastlanılmıştır. *Anopheles sacharovi* türüne Osmaniye (Kadirli), Kahramanmaraş (Türkoğlu), Adana (Karataş), Hatay (Kırıkhan), Mersin (Tarsus), Antalya (Manavgat), Isparta (Gelendost), Burdur (Bucak), Afyon (Sandıklı), Uşak (Eşme), Denizli (Sarayköy), Muğla (Dalaman), Aydın (Buharkent), Manisa (Akhisar), İzmir (Selçuk) bölgelerinde rastlanmıştır [23]. Sıtmanın ülkemizde başlıca naklini sağlayan vektör sivrisinek *Anopheles sacharovi* 'nin yayıldığı alanın genişliği dikkat çekmektedir. Ege bölgesi İç Ege Bölümünde yer alan Kütahya ilinde *Anopheles sacharovi* 'nin görülmesi türün daha geniş alanlara yayılmış olabileceğini düşündürmekte ve sıtma enfeksiyonlarının yayılmasına etkisi düşünülecek olursa, vektör kontrolü önemli bir durum olmaktadır.

İstilacı türler olarak bilinen *Aedes albopictus*, *Aedes aegypti*, *Aedes japonicus* ve *Aedes atropalpus* türleri Avrupa' da varlığı bilinen ve her geçen gün daha geniş alanlara yayılan türlerdir [24]. Türkiye ' de 2013 yılında Edirne ilimizde yapılan bir çalışmada *Aedes albopictus* ' un varlığı tespit edilmiş, daha sonra 2016 yılında Doğu Karadeniz Bölgesinde yapılan çalışma ile *Aedes albopictus* ile birlikte *Aedes aegypti* 'nin varlığı bildirilmiştir [25,26]. İstanbul merkezli yapılan başka bir çalışmada ise istilacı türlerden *Aedes albopictus* ile birlikte *Aedes cretinus* tespit edilmiştir [27]. İstilacı türler olarak bilinen *Aedes albopictus* ve *Aedes aegypti* ' ye Kütahya yöresinde rastlanılmamıştır.

5.Sonuçlar

Kütahya yöresini temsilen ışık tuzakları ile toplanan ergin dişi sivrisinekler ve larvaların yetiştirilmesi suretiyle elde edilen dişi sivrisineklerin toplamı dikkate alınarak sayısal veriler alınmıştır. *Anopheles maculipennis* kompleks türünün ergin dişi sivrisinek oranı % 1,21 , *Anopheles sacharovi*' nin % 0,40 , *Culex pipiens*' in %94,74 , *Culex theileri*' nin %1,62 , *Culiseta annulata*' nın %0,40 , *Culiseta longiareolata*' nın %1,21, *Coquillettidia richiardii* %0,40 olarak hesaplanmıştır. Toplanan larvaların oranları ; *Anopheles maculipennis* kompleks %8,57 , *Culex pipiens* %37,14, *Culex hortensis* % 5,71, *Culiseta longiareolata* % 48,57 olarak saptanmıştır. Bu iki veri harmanlanmış ve bölge popülasyonunu temsili amacıyla tek veriye indirilmiştir. 247 ergin dişi sivrisineği ve 35 larvadan yetiştirilen dişi sivrisinekleri hesaba katarak oluşturulan 282 adet dişi sivrisinek popülasyon oranları şu şekildedir; *Anopheles maculipennis* kompleks (%2,13), *Anopheles sacharovi* (%0,35), *Culex pipiens* (%87,59), *Culex theileri* (%1,42), *Culex hortensis* (%0,71), *Culiseta annulata* (%0,35), *Culiseta longiareolata* (%7,09), *Coquillettidia richiardii* (%0,35) .

Sadece larva oranlarına bakılarak yapılan popülasyon oranı *Anopheles sacharovi*, *Culiseta annulata*, *Culex theileri*, *Coquillettidia richiardii* türlerini kapsamayacak, tür tespiti yetersiz kalacaktır.Larva toplamadan oluşturulacak temsili popülasyonda ise *Culex hortensis* türü yer alamayacak ve eksik veri elde edilmesine neden olacaktır.

Larvaların yetiştirilmesi ile elde edilen dişi sivrisinek popülasyonu ihmal edilerek yapılacak popülasyon çalışması ise yine *Culex hortensis* türünün tespit edilememesi ile sonuçlanacaktır. Ayrıca türlerin oransal kompozisyonunda belirgin farklılıklar ortaya çıkacaktır. *Anopheles maculipennis* kompleks türünün tuzak ile yakalanan bireylerinin oranı ihmal edilerek yapılacak popülasyonda %8,57 ile baskın tür iken tuzakla elde edilen ergin bireylerin dahil edilmesi ile oran %2,13 oranına ulaşmıştır ve az baskın türler kategorisinde yer almıştır. *Culiseta longiareolata* türünün tuzak ile yakalanan bireylerinin oranı %1,21 oran ile az baskın türler sınıfında iken larva sayısının dahil edilmesi ile birlikte %7,09 'a ulaşmış ve baskın türler sınıfına katılmıştır. Oransal farklılık türün popülasyon içerisindeki değerini değiştirmiş ve tür az baskın tür sınıflandırmasına girmiştir. Yine aynı şekilde *Culex hortensis* larvaları dikkate alınarak yapılacak popülasyon yoğunluk çalışmasında %5,71 oranı ile baskın tür kategorisinde iken tuzak ile yakalanan sivrisinek sayısının dahil edilmesi ile birlikte oran %0,71 uydu türler kategorisine gerilemiştir.

Kütahya bölgesinde Haziran-Eylül ayı verileri dikkate alındığında ışık tuzağı kurulan tarihlerde en düşük Rüzgar hızı 5 km/sa, en yüksek rüzgar hızı 23 km/sa 'dır. Bu tarihlerde hava sıcaklığı en düşük 8 °C' dir ve bu sıcaklık sivrisineğin aktif olması beklenen gece saatlerine denk gelmektedir. En yüksek sıcaklık 36 °C ile gündüz saatleri yani sivrisineğin aktif olarak beslenmediği, uçmadığı saatleri temsil etmektedir. Ortalama nem Haziran ile Eylül ayları arasında değişken olup %28 ile %66 arasında değişmektedir. Tüm bu veriler ile birlikte sivrisineğin beslenme, çiftleşme, dinlenme ihtiyaçları ile birlikte bölgenin habitatı ve temsil ettiği popülasyon oranları ile birlikte çekici güçler ve itici güçler de sayısal verileri etkilemektedir.

Çekici güçler ;çalışma yapılan bölgenin doğal habitat alanına yakınlığı, bölgeye yakın sulak alan varlığı, bölgedeki hayvan veya insan kan emme kaynağı, ışık miktarı, CO₂ kaynağının yoğunluğu, nemli yüzey , aromatik kokular sayılabilir. İtici güçler ise , tuzağın kurulduğu bölgede daha güçlü ışık kaynağının bulunması, daha güçlü CO₂ kaynağının bulunması, rüzgar hızının sivrisineğin uçuşmasını engelleyecek yükseklikte olması,sıcaklığın çok düşük ya da çok yüksek olması, belediyenin yaptığı insektisit ilaçlamalar sayılabilmektedir.

Yazar katkı beyanları

Makbule Yıldız: Araştırma, Yazma – inceleme ve düzenleme, Anıl İça : İnceleme ve düzenleme

Referanslar

- [1] D. Erel, "Anadolu Vektörleri ve Mücadele Metodları". Ankara, Turkey: T.C. Sağlık ve Sosyal Yardım Bakanlığı Hıfzısıhha Okulu, Yayın No: 47, Akış Basımevi, 1973.
- [2] B. Alten and S. S. Çağlar, "Vektör Ekolojisi ve Mücadelesi. Sıtma Vektörünün Biyo-Ekolojisi Mücadele Organizasyonu ve Yöntemleri". Ankara, Turkey: Bizim Büro Basımevi, 1998.
- [3] K. Snow, "Mosquitoes. Naturalist's Handbooks 14". England: [Publisher not stated], 1990, pp. 1–66.
- [4] C. D. Ramsdale, B. Alten, S. S. Çağlar, and N. Özer, "A revised, annotated checklist of the mosquitoes (Diptera, Culicidae) of Turkey," *Eur. Mosq. Bull.*, vol. 9, pp. 18–28, 2001.
- [5] N. Becker, D. Petric, M. Zgomba, C. Boase, C. Dahl, J. Lane, et al., "Mosquitoes and Their Control". New York, NY, USA: Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2003.
- [6] J. F. Reinert, "Revised list of abbreviations for genera and subgenera of Culicidae (Diptera) and notes on generic and subgeneric changes," *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, vol. 17, no. 1, pp. 51–55, 2001.
- [7] A. Merdivenci, "Türkiye Sivrisinekleri". İstanbul, Turkey: İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fak. Yayınları, Rektörlük No: 3215, Taş Matbaası, 1984.
- [8] M. Postiglione, S. Tabanlı, and C. D. Ramsdale, "The Anopheles of Turkey" ,*Riv. Parassitol.*, vol. 34, no. 2, pp. 127–159, 1973.
- [9] H. Kasap and M. Kasap, "Türkiye Anophelinae türleri," *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, vol. 40, no. 1, pp. 39–52, 1983.
- [10] R. E. Harbach, "Pictorial keys to the genera of mosquitoes, subgenera of Culex and the species of Culex (Culex) occurring in southwestern Asia and Egypt," *Mosq. Syst.*, vol. 17, no. 2, pp. 83–107, 1985.
- [11] J. I. Glick, "Illustrated key to the female Anopheles of southwestern Asia and Egypt (Diptera: Culicidae)," *Mosq. Syst.*, vol. 24, pp. 125–153, 1992.
- [12] R. E. Darsie and A. Samanidou–Voyadjoglou, "Keys for the mosquitoes of Greece," *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, vol. 13, no. 3, pp. 247–254, 1997.
- [13] A. Samanidou–Voyadjoglou and R. E. Harbach, "Keys to the adult female mosquitoes (Culicidae) of Greece," *Eur. Mosq. Bull.*, vol. 10, pp. 13–20, 2001.
- [14] E. Schaffner, G. Angel, B. Geoffroy, J.-P. Hervy, A. Rhaïem, and J. Brunhes, *The Mosquitoes of Europe (CD-Rom)*. Montpellier, France: Inst. de Recherche Pour le Développement, 2001.
- [15] A. V. Gutsevich, A. S. Monchadskii, and A. A. Shtakel'berg, *Fauna of the U.S.S.R. Diptera. Volume 3, No. 4 Mosquitoes Family Culicidae*. Jerusalem, Israel: Keter Publ. House, 1974.
- [16] B. Alten, R. Bellini, S. S. Çağlar, F. M. Şimşek, and S. Kaynaş, "Species composition and seasonal dynamics of mosquitoes in the Belek region of Turkey," *J. Vector Ecol.*, vol. 25, no. 2, pp. 146–154, 2000.
- [17] A. Aldemir and A. Boşgelmez, "Population dynamics of adults and immature stages of mosquitoes (Diptera: Culicidae) in Gölbaşı district, Ankara," *Turk. J. Zool.*, vol. 30, pp. 9–17, 2006.
- [18] M. M. Akıner, "Sivrisineklerde direnç tesiti ve direnç gelişimini sağlayan enzimatik mekanizmaların araştırılması," Ph.D. dissertation, Inst. Sci., Hacettepe Univ., Ankara, Türkiye, 2009.
- [19] H. Muslu, "Manisa bölgesinde saptanan sivrisinek türleri (Diptera: Culicidae) ve bunların vektörel önemleri," M.S. thesis, Inst. Sci., Manisa Celal Bayar Univ., Manisa, Türkiye, 2009.
- [20] B. Morçişek, "Ege Bölgesi'nden örneklenen Culex pipiens kompleksine ait sivrisinek populasyonlarında sitokrom oksidaz I geninin kısmi baz dizi analizinin yapılması," M.S. thesis, Inst. Sci., Sıtkı Koçman Univ., Muğla, Türkiye, 2019.
- [21] K. Ergunay, F. Gunay, O. E. Kasap, K. Oter, S. Gargari, T. Karaoglu, S. Tezcan, M. Cabalar, Y. Yıldırım, G. Emekdas, B. Alten, and A. Ozkul, "Serological, molecular and entomological surveillance demonstrates widespread circulation of West Nile virus in Turkey," *PLoS Negl. Trop. Dis.*, vol. 8, no. 7, p. e3028, Jul. 2014, doi: 10.1371/journal.pntd.0003028.
- [22] F. Günay, B. Alten, A. Simsek, A. Aldemir, and Y. M. Linton, "Barcoding Turkish Culex mosquitoes to facilitate arbovirus vector incrimination studies reveals hidden diversity and new potential vectors," *Acta Trop.*, vol. 143, pp. 112–120, 2015.

- [23] S. İ. Yavaşoğlu, “Akdeniz ve Ege Bölgesi’nin vektör sivrisinek türlerinde insektisit direncinin moleküler ve biyokimyasal tekniklerle belirlenmesi,” M.S. thesis, Inst. Sci., Adnan Menderes Univ., Aydın, Türkiye, 2019.
- [24] J. M. Medlock, K. M. Hansford, V. Versteirt, B. Cull, H. Kampen, and D. Fontenille, “An entomological review of invasive mosquitoes in Europe,” *Bull. Entomol. Res.*, vol. 105, no. 6, pp. 637–663, 2015, doi: 10.1017/S0007485315000103.
- [25] K. Öter, F. Günay, E. Tuzer, Y. M. Linton, R. Bellini, and B. Alten, “First record of *Stegomyia albopicta* in Turkey determined by active ovitrap surveillance and DNA barcoding,” *Vector Borne Zoonotic Dis.*, vol. 13, no. 10, pp. 753–761, 2013.
- [26] M. M. Akiner, B. Demirci, G. Babuadze, V. Robert, and F. Schaffner, “Spread of the invasive mosquitoes *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in the Black Sea region increases risk of Chikungunya, Dengue and Zika outbreaks in Europe,” *PLoS Negl. Trop. Dis.*, vol. 10, no. 4, pp. 1–5, 2016.
- [27] A. R. Ede and S. Öztemiz, “İstanbul’da sivrisinek türleri ile invaziv *Aedes* türlerinin tespiti ve bulunma oranları,” *Düzce Univ. Sci. Technol. J.*, vol. 9, pp. 321–327, 2022.



Contents lists available at Dergipark

Journal of Scientific Reports-C

journal homepage: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jsrc>



E-ISSN: 2717-8633

Sayı(Number) 10, Ağustos(August) 2025

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

Geliş Tarihi (Receive Date): 12.06.2025

Kabul Tarihi (Accepted Date): 29.08.2025

Farklı Kömür Yıkanabilirlik Eğrilerinin Değerlendirilmesi: Erzurum-Oltu Kömürü Örneği

Uğur Demir*

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, 43100, Türkiye

Öz

Dünyada ve ülkemizde enerjiye olan talep her geçen gün katlanarak artmakta olup bu talebi karşılamak için geleneksel ve alternative enerji kaynakları kullanılmaktadır. Geleneksel enerji kaynaklarından biri olan kömür, çevresel sorunlara neden olmasına rağmen dünya elektrik enerjisi üretiminin dörtte birini karşılamaktadır. Enerji üretiminde önemli bir yere sahip olan kömürün önemi bugün olduğu gibi gelecekte de devam edecektir. Ülkemizde önemli kömür rezervleri bulunmakta olup, bu rezervler düşük kaliteli linyitlerden oluşmaktadır. Bu nedenden dolayı ülkemizde üretilen kömürün büyük bir bölümü elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Kömürlerin zenginleştirilerek/yıkılarak kullanılması, olası çevresel etkileri en aza indirmektedir. Kömürler oluşumlarından kaynaklanan nedenlerden dolayı farklı yıkanabilirlik özelliklerine sahiptir. Bu çalışmada, Erzurum-Oltu kömürlerinin yıkanabilme özellikleri çeşitli kömür yıkanabilirlik eğrileri (Yüzdürme-batırma testleri, + 0,1 yoğunlukta yüzen malzeme miktarı, Yıkanabilirlik derecesi (N), yıkanabilirlik sayısı (W), yıkanabilirlik indeksi (WI), Yakın yoğunlukta malzeme indeksi (NGMI)) kullanılarak belirlenmeye çalışılmış, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu amaçla temsili olarak alınan kömür numuneleri (-18, -18+1 ve -1 mm) üzerinde laboratuvar ortamında $ZnCl_2$ kullanılarak 1,3-2,0 gr/cm^3 yoğunluklu ortamlarda yüzdürme-batırma testleri yapılmış, elde edilen veriler (miktar ve kül oranı) farklı yıkanabilirlik eğrilerinin çizilmesinde ve hesaplanmasında kullanılmıştır. Neredeyse yıkanabilirlik eğrilerinin tümü, Erzurum-Oltu kömürlerinin zor yıkanabilen kömür özelliği taşıdığını göstermektedir.

© 2023 DPU All rights reserved.

Anahtar Kelimeler: Kömür Yıkama Yöntemleri, Karşılaştırma, Oltu Kömürü

* Corresponding author.

E-mail address: ugur.demir@dpu.edu.tr

Evaluation of different coal washability curves: Erzurum-Oltu coal sample

Abstract

The demand for energy in the world and in our country is increasing exponentially every day, and traditional and alternative energy sources are used to meet this demand. Coal used to meet this demand. Coal, one of the traditional energy sources, provides one-quarter of the world's electrical energy production, despite causing environmental problems. The importance of coal, which has an important place in energy production, will continue in the future as it is today. Our country has significant coal reserves, and these reserves consist of low-quality lignite. For this reason, a large part of the coal production in our country is used in the production of electrical energy. The use of coals after washing minimizes possible environmental impacts. Coals have different washability properties due to the reasons arising from their formation. In this study, the washability properties of Erzurum-Oltu coals were examined using various coal washability curves (Float-sink tests, amount of floating material at +0.1 density, Washability degree (N), washability number (W), washability index (WI), near gravity material index (NGMI)) and obtained results were compared. For this purpose, float-sink tests were carried out on representative coal samples (-18, -18+1 and -1 mm) in heavy medium with a density of 1.3-2.0 g/cm³ using ZnCl₂ in the laboratory, and the obtained data (amount and ash ratio) was used in drawing and calculating different washability curves. Almost all washability curves show that Erzurum-Oltu coals have the characteristics of being difficult to washability coals.

© 2023 DPU All rights reserved.

Key Words: Coal Washability Methods, Comparison, Oltu coal

1. Giriş

Günümüzde enerjiye olan talep, nüfus ve endüstriyel gelişmeye paralel olarak, sürekli artmaktadır [1]. Bu talebi karşılamak için fosil (petrol, doğalgaz ve kömür) ve alternatif enerji kaynakları (hidrolik, güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle vs.) kullanılmaktadır. Kömür, fosil kökenli bir enerji kaynağıdır ve enerji sektöründe hayati bir öneme sahiptir [2]. Diğer fosil yakıtlara göre ulaşılabilirliğinin kolay olması, stabil bir fiyata sahip olması, taşınması ve depolanmasının kolay olması ve son kullanıcı için düşük maliyetli olması nedeniyle kömür büyük bir öneme sahiptir [3]. Kömür, geçmişte olduğu gibi günümüzde ve hatta gelecekte de önemli olmaya devam edecektir [4]. Mevcut rezervler ve tüketim hızı dikkate alındığında kömürün önümüzdeki 200 yıl daha kullanılacağı ön görülmektedir [1].

Kömür, sedimanter organik bir kayaç olarak tanımlanır ve içeriğinde, kömür kalitesinin bozulmasına neden olan, çeşitli inorganik bileşikler bulunmaktadır. Kömürün tipi, rankı ve kül oranı, kömürün kalitesini belirler. Kömürün tipi ve rankı kömürün organik madde içeriği ile ilgili iken, kömürün kül oranı kömürde bulunan inorganik madde içeriği ile ilgilidir [2]. Kömürde bulunan kül ve kükürdün oranı, kömürün kullanım alanını belirleyen en önemli faktörlerdir. Yüksek kül ve kükürt oranı, kömür kullanımının her aşamasında ciddi operasyonel ve çevresel sorunlara neden olmaktadır [5]. Operasyonel ve çevresel sorun oluşturan kül ve kükürdün kömürden uzaklaştırılması, kömür zenginleştirme/yıkama olarak tanımlanmaktadır. Kömürün içerdiği organik ve inorganik maddeler arasındaki fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal özellik farklılıklarından yararlanılarak zenginleştirme/yıkama işlemi gerçekleştirilmektedir [6]. Özellikle yoğunluk farkının ön plana çıktığı ve yerçekiminden de yararlanılan kömür zenginleştirme/yıkama teknikleri, çok yönlü ve düşük maliyetli olması nedeniyle yaygın olarak uygulanmaktadır. Kömürdeki organik ve inorganik içeriklerin birbirinden ayrılması (zenginleştirme/yıkama) ile elde edilen düşük kül ve/veya kükürt içerikli ürün, temiz kömür olarak tanımlanmaktadır [7].

Kömürlerin fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal özellik farklılıklarından yararlanılarak geliştirilen çeşitli kömür yıkama teknikleri bulunmaktadır. Kömürde bulunan iri boyuttaki inorganik maddelerin etkili bir şekilde uzaklaştırılması, fiziksel kömür yıkama teknikleri ile mümkündür. Fiziksel kömür yıkama tekniklerinden jigler,

sallantılı masalar, spiraller ve ağır ortam ayırması gibi yoğunluk farkının ön plana çıktığı yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır [2,8].

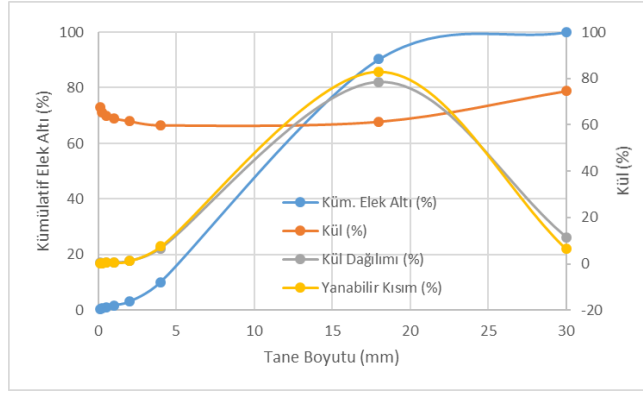
Kömürler oluşumlarından kaynaklanan nedenlerden dolayı farklı yıkanabilme özelliklerine sahiptirler. Kömürleri yıkanabilme özellikleri, kömürün tane boyutu, kül oranı, yüzen ve batan ürünlerin miktarı ve yakın yoğunluktaki malzeme miktarı gibi birçok parametreye bağlıdır [2,9]. En çok tercih edilen kömür yıkanabilme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntem yüzdürme-batırma testleridir [5]. Bu yöntemde $1,3-2,2 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu ağır ortamlarda yüzdürme-batırma testleri uygulanarak, yüzen ve batan ürünlerin miktar ve kül oranları belirlenmekte, bu verilerden yararlanarak yıkanabilirlik eğrileri çizilmektedir [6]. Henry Rheinhard (HR) ve Mayer (M) kömür yıkama eğrileri en çok bilinen ve kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemlere ilave olarak Sarkar vd. (1962) [10] tarafından geliştirilen Yıkanabilirlik Derecesi (N), yine Sarkar vd. (1977) [11] tarafından geliştirilen Yıkanabilirlik Sayısı (W), Govindarajan ve Rao (1994) [12] tarafından geliştirilen Yıkanabilirlik İndeksi (WI ve GWI) ve Majumder ve Barnwal (2004) [13] tarafından geliştirilen Yakın Yoğunluklu Malzeme İndeksi (NGMI) gibi yeni yaklaşımlar kullanılarak, kömür yıkanabilirliğinin daha iyi anlaşılması sağlanmıştır, geliştirilen bu yöntemlere ilişkin ayrıntılı bilgilere [2,9,13- 16] nolu kaynaklardan ulaşabilmek mümkündür. Korkmaz vd. (2015), Korkmaz ve Bentli (2017), (2018a), (2018b) [9,13,14,15] Malatya-Erguvan, Kahramanmaraş-Elbistan ve Sivas-Kangal kömürlerinin yıkanabilirlik özelliklerini farklı yıkama eğrilerin kullanarak değerlendirmişler, yıkanabilirlik eğrileri arasında farklı sonuçların elde edildiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, Erzurum-Oltu kömürleri $1,3-2,0 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu ağır ortamlarda yüzdürme-batırma testlerine tabi tutulmuş, elde edilen deneysel veriler kullanılarak Henry Rheinhard (HR), Mayer (M), Yıkanabilirlik Derecesi (N), Yıkabilirlik Sayısı (W), Yıkanabilirlik İndeksi (WI) ve Yakın Yoğunluklu Malzeme İndeksi (NGMI) hesaplanmış ve yıkanabilirlik eğrileri çizilmiştir. Bu hesaplamalar sonucu elde edilen verilerden yararlanarak kömürün yıkanabilirlik özellikleri belirlenmiş, farklı yöntemlerden elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıklar ve benzerlikler ortaya konulmuştur.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Malzeme

Bu çalışmada kullanılan kömür numuneleri Erzurum-Oltu ilçesinde faaliyet gösteren özel bir firmadan temin edilmiştir. Yaklaşık 250 kg olarak alınan ince boyutlu temsili kömür numunesi (-18 mm) üzerinde kömürün özelliklerinin belirlenmesi amacıyla önce azaltılmış daha sonra elek analizi yapılmıştır. Akabinde kül, nem, kükürt ve ısı değer analizleri standartlarda (ASTM D1412, D3173, D3174, D3175) belirtildiği şekilde kuru bazda gerçekleştirilmiştir. Elek analiz sonuçları Şekil 1’de verilirken kısa analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Yapılan elek analizi sonuçları incelendiğinde tüvenan kömürün %90,28’inin 18 mm altında olduğu tespit edilmiştir. %62,67 oranında kül içeriğine sahip olan kömür, tane boyutu ile kül içeriği arasındaki ilişki incelendiğinde, boyut grupları arasında belirgin kül oranı farklılığının bulunmadığı tespit edilmiştir (Şekil 1). Bu durum hem kömür içinde serbest killi yapıların olduğunu hem de kömür içinde killi yapıların nispeten homojen bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir. Tüvenan kömür kül dağılım oranı ve yanabilir kısım oranları tane boyutuna göre incelendiğinde nispeten iri boyutlarda daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Erzurum-Oltu Kömürleri Elek Altı Oranı ve Kül Oranı eğrileri

Tablo 1: Oltu Kömürünün Kısa Analizi

İçerik	%
Kül	62,67
Nem	22,65
Kükürt	1,84
Isıl Değer (Kcal/kg)	1450

Jeolojik olarak bölge incelendiğinde Erzurum-Oltu-Narman havzası Permo-Karbonifer, üst Kratese, Tersiyer ve Kuvarterner yaşlı kaya birimleri yüzeylenmektedir. Permo-karbonifer yaşlı kayalar asidik magmatiklerden oluşmakta iken üst Kratese ise volkano-tortul bir fasiyeste gelişmiştir, bu iki birim tersiyer havzasının temelini oluşturmaktadır. Havza içinde ise tabanda alt-orta Eosen yaşlı iri ve ince kırıntılar ile üst Eosen yaşlı volkano-tortul sığ denizel istifler yüzeylenmektedir. Bunlar üzerine Oligosen, Oligo-miyosen yaşlı değişik boyutlu ve volkanit ara katkılı karasal ve gölsel istifler uyumsuzluklarla gelmektedir. En üstte ise Tersiyer sonu-Kuvarterner başı aralığında gelişmiş volkanitler havza dolgu kayalarını uyumsuzlukla örtmektedir [17]. Tuncalı ve arkadaşları [18] Erzurum-Oltu kömürleri ile yapmış oldukları çalışmada, Oltu kömürlerinin yüksek oranda inorganic madde içerdiği, yaptıkları minerolojik analiz sonucu önemli oranda Kuvars, Pirit, Kalsit az miktarda da Kaolinit, Simektit grubu kil ve jips içerdiğini ifade etmişlerdir. Yaptıkları yüzdürme-batırma test sonuçlarından zor yıkanabilir kömür özelliği taşıdığını ifade etmişlerdir [18].

2.2. Yöntem

Elek analiz verileri incelendiğinden temsili kömür numunesinin büyük bir bölümü (%90,28'i) 18 mm boyutun altındadır, az miktarda da olsa -1 mm altıda üründe söz konusudur. Bu nedenle deneysel çalışmalarda kullanılan temsili kömür numunesi -18+1 ve -1 mm olarak sınıflandırılmıştır. -18, -18+1 ve -1 mm boyut grupları ayrı ayrı yüzdürme batırma testine tabi tutulmuştur. 1,3-2,0 gr/cm³ yoğunluklu ağır ortamlar ZnCl₂ kullanılarak oluşturulmuştur. Boyut gruplarına yüzdürme-batırma testleri standartlarda belirtildiği şekilde uygulanmıştır. 1,3-2,0 gr/cm³ ağır ortam yoğunluklarında yüzen ve batan ürünler ayrı ayrı alınmış, yüzeylerindeki ağır ortam yıkanarak uzaklaştırılmış, laboratuvar ortamında kurutulmuştur. Kurutulan kömür numunelerinin ağırlıkları tartılmış ve kül oranları tespit edilmiştir. Tüm hesaplamalar literatürde belirtilen şekilde yapılmıştır [18]. Elde edilen veriler tüm kömür yıkanabilirlik eğrileri ve indekslerinin hesaplanmasında (Henry Rheinhard (HR), Mayer (M), Yıkanabilirlik Derecesi (N), Yıkabilirlik Sayısı (W), Yıkanabilirlik İndeksi (WI), Yakın Yoğunluklu Malzeme İndeksi (NGMI))

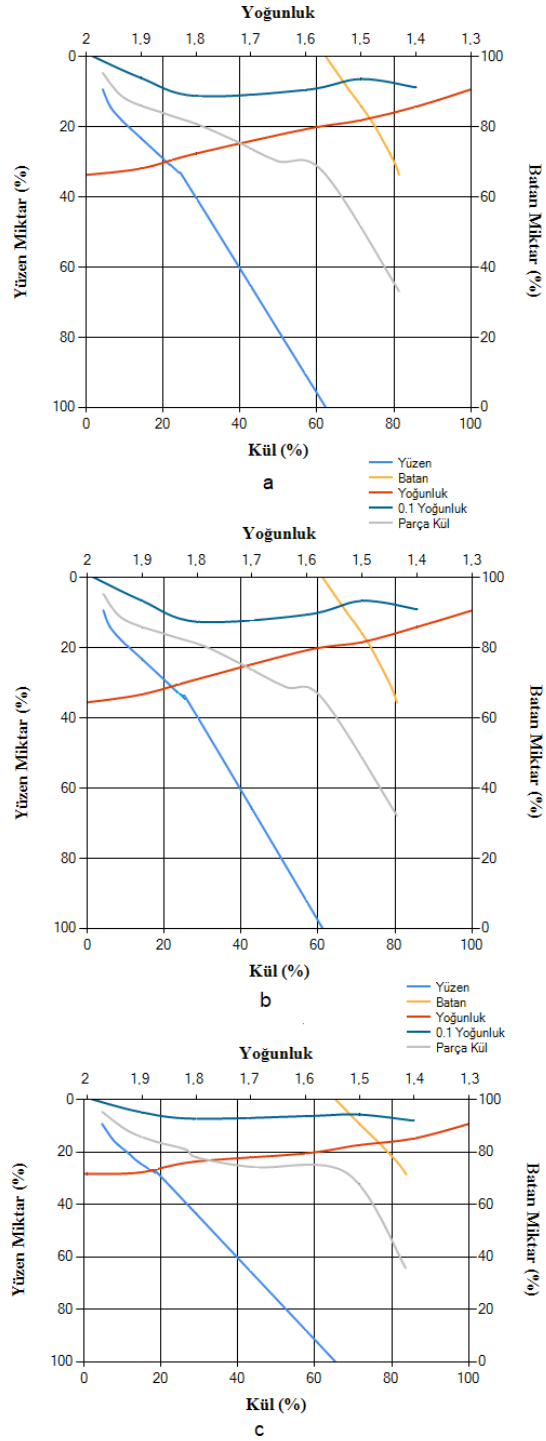
kullanılmıştır. Kömür yıkanabilirlik eğrileri ve indeksleri hakkında kısa bilgiler sonuçlar bölümünde verilmiş, ayrıntılı bilgilere [2,5,9,13,15] nolu kaynaklardan ulaşılabilmektedir.

3. Sonuçlar

3.1. Henry Rheinhard (HR) Kömür Yıkama Eğrileri:

Kömür yıkanabilirlik özelliklerinin belirlenmesinde en sık kullanılan yöntem olan Henry Rheinhard yıkanabilirlik eğrileri, hem eğrilerin diklik ve eğiklik durumu dikkate alınarak hem de $\pm 0,1$ yoğunluklu malzeme (yakın yoğunluktaki malzeme) miktarları dikkate alınarak kömürün kolay veya zor yıkanabilirliği hakkında bilgi vermektedir. Yüzen ve batan eğrileri y eksenini boyunca ne kadar dik bir şekil alırsa ve yataya ne kadar keskin bir dönüş yaparsa, kömür yıkanabilirliğinin o denli kolay olduğu belirtilirken, eğri yataya ne kadar geniş bir şekilde dönerse kömürün yıkanabilirliğinin o denli zor olduğu belirtilmektedir. $\pm 0,1$ yoğunluklu malzeme miktarı (yakın yoğunluklu)

% 0-7 arasında ise kömürün yıkanabilirliği oldukça kolay, %7-10 arasında kolay-zor, %10-15 arasında zor, %15-20 arasında oldukça zor, %20-25 arası çok zor ve %25'den daha fazla olması durumunda kömür yıkamanın ağır ortamla mümkün olamayacağı ifade edilmektedir [19]. Tüvenan (-18), -18+1 ve -1 mm boyutların yüzdürme-batırma (HR) eğrileri sırasıyla Şekil 2a, 2b ve 2c'de verilmiştir.



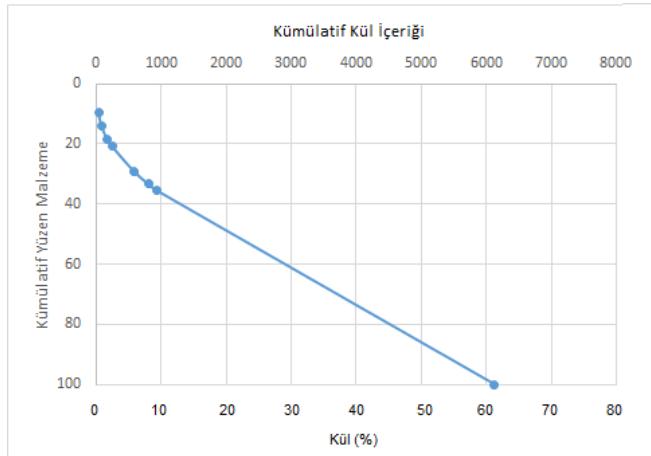
Şekil 2. -18 mm (a), -18+1 mm (b) ve -1 mm (c) boyutlarındaki kömür yıkama eğrileri.

Şekil 2a, 2b ve 2c incelendiğinde, Erzurum-Oltu kömürlerinden tüvenan ve -18+1 mm boyutta $\pm 0,1$ yoğunluklu malzeme miktarının %10-15 arasında olduğu, -1 mm boyutta ise %5-10 arasında değişen değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler -18+1 mm boyuttaki kömürlerin oldukça zor-zor yıkanabilir nitelikte olduğunu, -1 mm kömürlerin ise kolay-zor (orta) yıkanabilir nitelikte olduğunu göstermektedir. Bu çalışma ile elde edilen bu sonuçların diğer yıkanabilirlik indeksleri ile uyumlu olup olmadıkları değerlendirilmiştir. Tüvenan ve -18+1 mm boyut gruplarından elde edilen sonuçlar birbirlerine çok yakın olduğu için çalışmanın ilerleyen bölümlerinde sadece -18+1 mm ve -1 mm boyut gruplarının sonuçları kullanılmıştır.

1,6 gr/cm³ yoğunlukta -18+1 mm boyutlu kömürde yapılacak olan bir yıkama işleminde %20,7 oranında temiz kömür %11,75 kül oranı ile elde edilebildiği, yanabilir verimin ise %47,13 seviyelerinde kaldığı tespit edilmiştir. -1 mm boyutlu kömür 1,6 gr/cm³ yoğunluklu ortamda yıkama işlemine tabi tutulduğunda ise %20,5 oranında temiz kömür %11,72 kül oranı ile elde edilmekte, buna karşılık yanabilir verimin ise %52,51 seviyelerinde olduğu belirlenmiştir. Her iki boyutta oldukça düşük kül içerikli kömürler elde edilebilmekte fakat yanabilir verimler oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır. Bu sonuçlar Erzurum-Oltu kömürlerinin hem yanabilir verim hem de $\pm 0,1$ yoğunluklu malzeme miktarları incelendiğinde düşük yoğunluklarda (1,4 ve 1,5 gr/cm³) zor yıkanabilir olduğunu, yüksek yoğunluklarda (>1,6 gr/cm³) daha kolay yıkanabileceğini göstermektedir. 1,6 gr/cm³ yoğunluk yöre kömürlerinin yıkanması için en uygun yoğunluk olarak belirlenmiştir. Tuncalı ve arkadaşlarının [18] Erzurum-Oltu kömürleri ile yapmış oldukları çalışmadan elde ettikleri sonuçlara uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

3.2. Mayer Eğrileri (M):

Üç ürünlü yıkama sonuçlarının tek bir eğri üzerinden değerlendirilebilmesi bakımından Mayer Eğrileri, Henry Rheinhard eğrilerine kıyasla daha pratik sonuçlar vermektedir. Kömürlerin harmanlanarak yıkanması durumunda oluşabilecek sonuçların tahmin edilmesinde Mayer Eğrileri avantaj sağlamaktadır. Mayer eğrileri ile ilgili ayrıntılı bilgilere [16] ve [19] nolu kaynaklardan ulaşılabilir. Erzurum-Oltu kömürlerinin yüzdürme-batırma test sonuçları dikkate alınarak çizilen Mayer eğrisi Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Oltu kömürlerinin Mayer eğrisi.

Mayer eğrisinin dik olması kül içeriğinin düşük olduğunu belirtirken, Şekil 3’de görüldüğü gibi eğrinin yatık olması kömürün kül oranının yüksek olduğunu (%62,67) göstermektedir. Bu durum tane boyutuna bağlı olarak kömürün kül içeriğinde önemli bir değişimin olmadığını bir kanıtı şeklindedir. Ayrıca eğrinin sağa doğru ötelenmesi serbest kayaç olduğunu gösterirken, eğrinin geniş bir yay çizmesi kömürün heterojen bir yapıya sahip olduğunu belirtmektedir [19]. Şekil 1’de tane boyutuna bağlı olarak kül oranında belirgin bir değişimin gözlenmemesi, kül oluşturan mineral

maddelerin kömür içerisinde nisbeten eşit olarak dağılması, kömürün yıkanabilirliğinin zor olduğunu göstermektedir. Henry Rheinhard eğrisinde elde edilen sonuçlara benzer şekilde 1,6 gr/cm³ yoğunlukta yapılan yıkama işlemi sonucunda %21 oranında elde edilen temiz kömür %11,5 oranında kül içermektedir. 1,8 gr/cm³ yoğunlukta ikinci kademe yıkama işlemi yapılırsa %12,58 oranında %50,28 kül içeriğine sahip ara ürün ve %66,72 oranında %78,08 küllü atık elde edilebileceği Mayer eğrisinden (Şekil 3) belirlenebilmektedir. Elde edilen bu sonuçlar ve eğrinin durumu HR eğrilerinde olduğu gibi Erzurum-Oltu kömürlerinin zor yıkanabilir karakterde olduğunu göstermektedir.

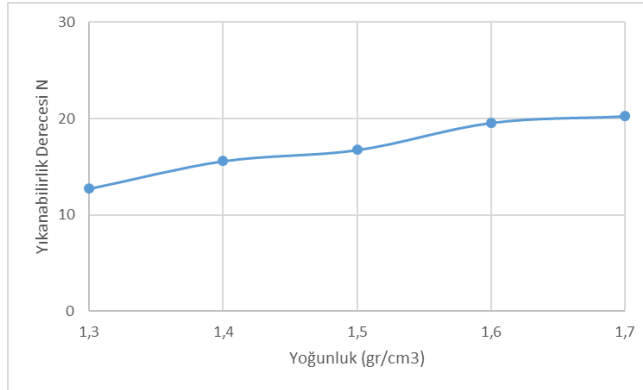
3.3. Yıkanabilirlik Derecesi (N):

Sarkar vd. (1962) [10] tarafından geliştirilen yıkanabilirlik derecesi (N) denklem 1'e göre hesaplanmaktadır.

$$N = w(a - b)/b \quad (1)$$

Burada a: tüvenan kömür kül oranı (%), b: belirtilen yoğunlukta temiz kömür kül oranı (%), w: belirtilen yoğunlukta temiz kömürün miktarı (%)'dır.

Hesaplanan N değeri ne kadar yüksek ise kömürün yıkanabilme kabiliyeti de artmaktadır. N değeri ile kömür ile birlikte bulunan mineral maddelerin jeolojik oluşum şartları hakkında da bilgiye sahip olmak mümkündür, saikin jeolojik ortamda oluşan kömür damarları daha az mineral madde içerirken, hareketli jeolojik ortamlarda oluşan kömür damarlarının daha yüksek oranda mineral madde içerdiği belirtilmektedir [2,14,15]. Oltu kömürleri için hesaplanan N değerleri ile yoğunluk arasındaki ilişki Şekil 4'de verilmektedir. Oltu kömürlerinde 1,6 ve 1,7 gr/cm³ yoğunluklarında hesaplanan N değeri 20'nin biraz üzerindedir ve yöre kömürlerinin zor yıkanabilir özellikte olduğuna işaret etmektedir. Bu değer Korkmaz ve Bentli (2018) [14]'nin çalışmalarındaki veriler ile kıyaslandığında düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Bu sonuç çalışmanın önceki kömür yıkama eğrilerinde elde edilen sonuçlar ile uyumlu olduğunu yani Erzurum-Oltu kömürlerinin zor yıkanabilir kömür sınıfına dahil olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Yıkanabilirlik Derecesi (N) ve yoğunluk arasındaki ilişki.

3.4. Yıkanabilme Sayısı (W):

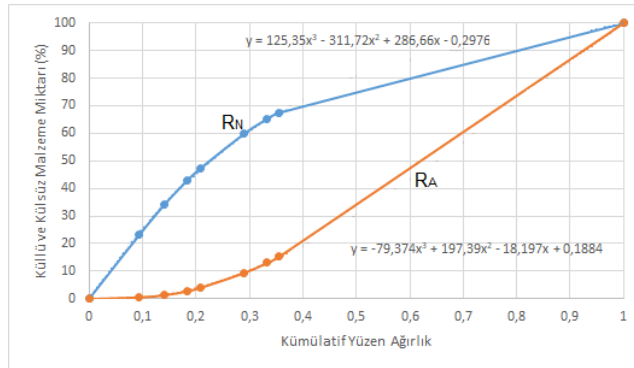
Sarkar vd. (1977) [11] tarafından geliştirilen Yıkanabilme Sayısı (W) en uygun seviyede yıkanabilirlik derecesinin (N_{opt}) temiz kömür külüne (b_{opt}) oranı ile hesaplanmaktadır (Denklemler 2). Bu sayı (W) 0 ile 100 arasında olan bir değerdir ve değer 100'e yaklaştıkça kömürün yıkanabilirliğinin arttığı/kolaylaştığı belirtilmektedir.

$$W = \frac{10(N_{opt})}{b_{opt}} \quad (2)$$

Yapılan hesaplama sonucunda $1,6 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluktaki W değeri Erzurum-Oltu tüvenan kömürü için 14,24 olarak belirlenmiştir, bu değer 0-100 arasında ve 0 değerine daha yakın olması nedeniyle oldukça zor yıkanabilir kömür özelliği taşıdığını göstermektedir. Hesaplanan W değeri Henry Rheinland ve Mayer eğrilerinden elde edilen sonuçlar ile kıyaslandığında, benzer şekilde zor yıkanabilir özellikte bir kömür olduğu görülmektedir.

3.5. Yıkanabilme İndeksi (WI):

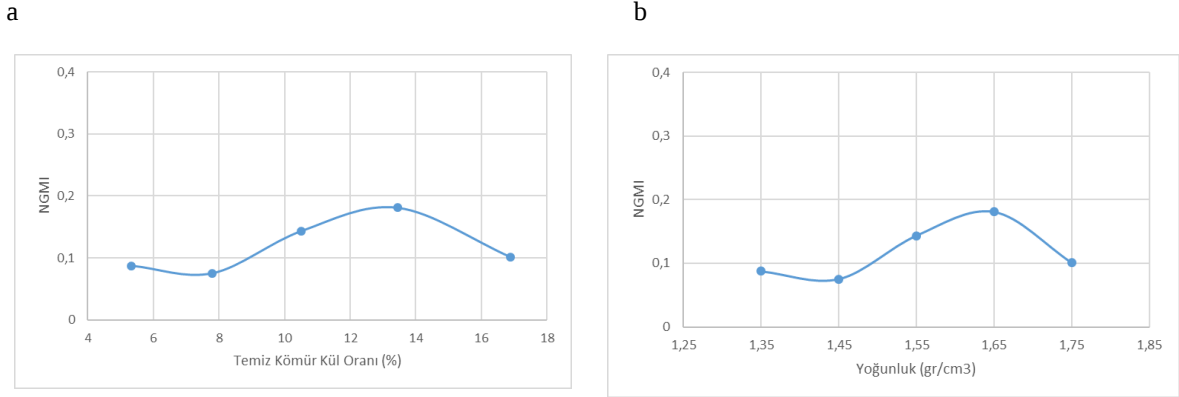
Yıkanabilirlik İndeksi (WI), Govindarajan Yıkanabilirlik Endeksi (GWI) olarak da bilinmektedir. WI değerinin 0 ile 100 arasında bir değer olması gerektiği ve bu değer 0'dan 100'e doğru arttıkça zor yıkanabilen kömürden kolay yıkanabilen kömüre doğru değiştiği belirtilmektedir [12]. Yıkanabilirlik İndeksi (WI) [2,9,13,15] nolu kaynaklarda bulunan denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Erzurum-Oltu kömürleri için yapılan hesaplamalar sonucu Şekil 5'de görülen Küllü (R_N) ve Külsüz (R_A) malzeme miktarı eğrileri çizilmiş, bu eğrilerin denklemlerinden yararlanarak WI değeri 45,98 olarak hesaplanmıştır. Bu değer belirtilen değerlerin hemen hemen ortalarına yakın olması Erzurum-Oltu kömürlerinin, diğer eğrilerde olduğu gibi kolay yıkanabilir özellikte olmadığını teyit etmektedir.



Şekil 5. Erzurum-Oltu kömürlerinin küllü ve külsüz malzeme verimleri eğrisi

3.6. Yakın Yoğunlukla Malzeme İndeksi (NGMI):

Yakın yoğunluktaki malzeme miktarı dikkate alınarak geliştirilen bu yöntemde hesaplanan değer 0 ile 1 arasında olması gerekmektedir. Değer sıfıra yakın ise kolay yıkanabilir, 1'e yakın ise zor yıkanabilir kömür olarak tanımlanmaktadır [5,13]. [2,5,9,13,15] nolu kaynaklarda bu değer nasıl hesaplandığına dair ayrıntılı bilgi yer almaktadır. Erzurum-Oltu kömürleri için NGMI değeri 0,18 olarak hesaplanmış, 0'a daha yakın olması nedeni ile kömürün diğer indekslerden farklı olarak nisbeten kolay-orta yıkanabilme özelliği olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. Erzurum-Oltu kömürlerinin NGMI-temiz kömür kül oranı (a) ve NGMI-yoğunluk (b) arasındaki

ilişki NGMI-yoğunluk ve NGMI-temiz kömür kül oranı değerlerinden yararlanılarak Şekil 6a ve 6b'deki

tüvenan kömür

(-18 mm) için eğriler çizilmiştir. Şekil 6b'de görüldüğü gibi 1,65 gr/cm³ de en yüksek NGMI değeri elde edilmiştir. Bu yoğunlukta elde edilen temiz kömürün kül oranı %12 seviyelerinde iken yapılan hesaplamalarda yaklaşık %52 yanabilir verim ile elde edilebilmektedir (Şekil 6a). Şekil 6b'de en düşük NGMI değeri en düşük yoğunluk olan 1,35- 1,45 gr/cm³ değerlerinde elde edilmiş, bu durum Erzurum-Oltu kömürlerinin belirtilen yoğunluklarda yıkanması gerektiğini göstermektedir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Kömürlerin yıkanabilirlik özelliklerinin belirlenmesi, hem kömür yıkama tesislerinin tasarımında hem de kömür kullanım şartlarının belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada Erzurum-Oltu kömürlerinin yıkanabilirlik özellikleri farklı yıkanabilirlik eğriler (Henry Rheinhard, Mayer, Yıkanabilirlik Derecesi, Yıkanabilme Sayısı, Yıkanabilme İndeksi, Yakın Yoğunluklu Malzeme İndeksi) kullanılarak belirlenmeye çalışılmış, yöntemler arasındaki farklılıklar ve benzerlikler ortaya konulmuştur.

İlk olarak Erzurum-Oltu kömürü kısa analiz ile %62,67 kül, %22,65 nem, %1,84 kükürt içerdiği ve 1450 kcal/kg ısı değere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu analiz sonuçları yöre kömürlerinin oldukça düşük kaliteli olduğunu göstermektedir. Kömür numunesi boyut gruplarına ayrılmış (-18+1 ve -1 mm) ve 1,3-2,0 gr/cm³ yoğunluk arasındaki ortamlarda yüzdürme-batırma testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda yüzen ve batan ürünlerin miktar ve kül oranları belirlenmiştir. Tüm yıkanabilirlik eğrilerinde bu yüzdürme-batırma testleri sonucu elde edilen veriler kullanılmış, kömürlerin yıkanabilirlik özellikleri (kolay veya zor) tespit edilmiştir.

Çizilen Henry Reinhard eğrileri incelendiğinde, yöre kömürleri için en uygun ayırma yoğunluğunun 1,6 gr/cm³ olduğu tespit edilmiştir. 1,6 gr/cm³ yoğunlukta $\pm$ 0,1 yoğunluklu malzeme miktarı -18, -18+1 ve -1 mm boyut grupları için değerlendirildiğinde, sırasıyla %12-18 arasında oldukça zor yıkanabilen, %10-15 arasında zor yıkanabilen ve %8- 12 kolay-zor (orta) yıkanabilen kömürler olduğu olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca benzer sonuçlar yüzen ve batan eğrilerinin konumları dikkate alınarak da söylenebilir. -18 ve -18+1 mm boyut

gruplarından elde edilen sonuçlar birbirlerine çok yakın olduğu için ilerleyen bölümlerinde sadece -18+1 mm ve -1 mm boyut gruplarının sonuçları değerlendirilmiştir.

Mayer eğrisi üzerinde yapılan değerlendirmeler, eğrinin dikliği ve yatıklığı dikkate alındığında, Erzurum-Oltu kömürünün (-18 mm) kül oranının yüksek olması ve mineral maddelerin kömür bünyesinde homojen bir şekilde dağılmış olması sebebiyle, yöre kömürlerinin oldukça zor yıkanabilir özelliğe sahip olduğu belirlenmiştir.

Erzurum-Oltu kömürlerinin Yıkanabilirlik derecesi (N) hesaplanmış ve 20,6 olarak belirlenmiştir. N değerinin, 100'e yaklaştıkça yıkanabilirlik özelliğinin arttığı dikkate alındığında, N değerinin 100'den oldukça küçük olmasından dolayı Oltu kömürlerinin oldukça zor yıkanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan hesaplama sonucunda Yıkanabilirlik sayısı (W), 1,6 gr/cm³ yoğunluk için 14,24 olarak belirlenmiştir. Erzurum-Oltu tüvenan kömürü için W değerinin 0-100 arasında olması gerektiği ve 100'e yaklaştıkça yıkanabilme özelliğinin arttığı dikkate alındığında, Oltu kömürlerinin zor yıkanabilir özellikte olduğu söylenebilir.

Yıkanabilirlik indeksi (WI) çizilen eğriler ve yapılan hesaplamalar sonucu 45,98 olduğu belirlenmiştir. 0-100 arasında olması beklenen WI değerinin 100 yakın olması yıkanabilirliğin kolay olduğunu ifade etmektedir. Elde edilen yıkanabilirlik indeksinin ortalama bir değere sahip olması, yöre kömürlerinin yine kolay yıkanabilir özellikte olmadığı sonucunu ortaya koymaktadır.

Erzurum-Oltu kömürleri için Yakın Yoğunluklu Malzeme İndeksi (NGMI), yapılan hesaplamalar sonucu 0,18 olarak tespit edilmiştir. 0-1 arasında olması gereken değer 0'a daha yakın olması, bu kömürün diğer yöntemlerden farklı olarak kolay-orta yıkanabilme özelliğine sahip olduğunu göstermektedir.

Tüm yıkanabilme eğrilerinin sonuçları toplu olarak değerlendirildiğinde, hemen hemen tüm yöntemlerde (NGMI dışında) Erzurum-Oltu kömürlerinin oldukça zor ve zor yıkanabilir bir özellik taşıdığı görülmektedir. Bu durum yapılan elek analizi ve boyuta bağlı kül analiz sonuçlarında da görüldüğü gibi, kül oluşturan mineral maddelerin tüm boyutlarda benzer oranlarda ve kül yapıcı mineral maddelerin kömür içerisinde neredeyse homojen olarak bulunmasından kaynaklanmaktadır. Kömür içerisinde mineral madde miktarının bu şekilde bulunması, kömürün yataklanması sırasında havzanın oldukça sarsıntılı bir jeolojik süreçten geçtiği konusunda bilgi vermektedir.

Teşekkür

Deneyisel çalışmalarda kullanılan numunenin temininde yardımcı olan Maden Mühendisi Onur Umar'a teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] G. Ateşok, "Kömür Hazırlama ve Teknolojisi", *Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları*, İstanbul, 376 s. 2009
- [2] G.G. Sarkar, R.N. Bose, S.K. Mitra, A. Lahiri, "An index for the comparison and correlation of washability characteristics of coal". *IVth Coal Preparation Congress*, Harrogate, paper E 4. 1962
- [3] G.G. Sarkar, H.P. Das, A. Ghose, "Sedimentation patterns: do they offer clues to coal quality?" *World Coal*, 10-13. 1977
- [4] B. Govindarajan, T.C. Rao, "Indexing the washability characteristics of coal" *International Journal of Mineral Processing* 42, 285-293. 1994
- [5] A.K. Majumder, J.P. Barnwal "Development of a new washability index" *Minerals Engineering* 17, 93-96, 2004
- [6] M. O. Kangal, M. Özer, F. Burat, S. Akın "Evaluation of thrace ragion fine coal tailings" *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 157, 207-215 2018
- [7] J. Sokolovic, I. Ilic, M. Trumic, G. Bogdanovic, Z. Stirbanovic, "Determination of washability characteristics of anthracite coal by index of washability and near gravity material index – a case study" *International Journal of Coal Preparation And Utilization*, DOI: 10.1080/19392699.2023.2210501, 2023
- [8] U. Demir, "Kömürden inorganik kükürt ve kül uzaklaştırmada Knelson konsantratör çalışma parametrelerinin etkisi" *DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı: 14, 35-47, 2018
- [9] A., A. Korkmaz, İ. Bentli, H. Sis, "Malatya-Arguvan Linyitlerinin Gravite Yöntemleriyle Zenginleştirilmesi" *Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Bildiriler Kitabı*, 676-681, 14-17 Nisan 2015
- [10] S. Bothoko, Q. P. Campbell, M. Roux, F. Nakhaei, "Washability Analysis of Coal Using RhoVol: A Novel 3D Image-based Method" *Mineral Processing And Extractive Metallurgy Review*, vol: 44, No: 2, 125-137, 2023

- [11] W. Adinugraha, N. Sulaksana, Herdarnawan, B. Santoso, D., F. Umar, F. Amalia, "Washing test of Kendilo coal using a sink-float method to improve its quality" *Indonesian Mining Journal*, Vol: 21, No:1, 35-44, 2018
- [12] E. Hosseini, "Fine coal washability determination using image analysis" *The University of New South Wales*, Thesis of pHD, Australia, 1996
- [13] A. A. Korkmaz, İ. Bentli, "Determination of washability characteristics of Arguvan- Malatya lignite by different washability index methods" *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, Vol: 39, No:14, 1572-1580, 2017
- [14] A. A. Korkmaz, İ. Bentli "Elbistan linyitlerinin ağır ortam yöntemi ile yıkanabilirlik indekslerinin belirlenmesi" *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol:21, No: 4, 295-304, 2018a
- [15] A. Korkmaz, İ. Bentli, "Assessment of washability features of Kangal lignite by using different indexes" *International Conference on Innovative Engineering Applications*, CIEA 2018, Proceeding Book, 126-133, 2018b
- [16] A. I. A. Salama, "Coal washability characteristics index utilizing the M-curve and the CM-curve" *International Journal of Mineral Processing*, Vol: 55, 139-152, 1998
- [17] C. Bozkuş, "Oltu-Narman tersiyer havzası kuzeydoğusunun (Kömürlü) stratigrafisi" *Türkiye Jeoloji Bülteni*, vol: 33, 47-56, 1990
- [18] E. Tuncalı, B. Çiftci, N. Yavuz, S. Toprak, A. Köker, Z. Gencer, H. Ayçık, N. Şahin, "Türkiye Tersiyer Kömürlerinin Kimyasal ve Teknolojik Özellikleri" *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) yayınları*, 2002
- [19] M. Kemal, V. Arslan, "Kömür Teknolojisi (Genişletilmiş 3. Baskı)", *DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları* No: 33, 97-105, 1999



Contents lists available at *Dergipark*

Journal of Scientific Reports-C

journal homepage: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jsrc>



E-ISSN: 2717-8633

Sayı(Number) 10, Ağustos(August) 2025

DERLEME MAKALESİ/ REVIEW ARTICLE

Geliş Tarihi (Receive Date): 31.05.2025

Kabul Tarihi (Accepted Date): 29.08.2025

Kalın kömür damarlarında kendiliğinden yanma ile mücadele yönetimi

Muhammet ÇAM^{a*}, Önder UYSAL^b

^aKütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, 43100, Türkiye,
ORCID 0009-0000-7097-188X.

^bKütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, 43100, Türkiye,
ORCID 0000-0002-3640-3341

Öz

Kalın kömür damarları madencilik açısından yüksek rezerv ve ekonomik avantajlar sağlamakla birlikte, kendiliğinden yanma riski nedeniyle ciddi güvenlik ve üretim sorunları barındırmaktadır. Kömürün düşük sıcaklıklarda oksidasyonu, oksijen teması ve ısıнын uzaklaştırılmaması sonucu birikerek yangın riskini artırmaktadır. Bu süreç; kömürün gözenek yapısı, nem oranı, pirit içeriği, jeolojik özellikler, havalandırma koşulları ve atmosferik faktörlerden etkilenmektedir. Riskin azaltılması için havalandırma sistemleri, gaz izleme merkezleri, kül enjeksiyonu, fenolik köpük ve beton kaplama, azot gazı uygulamaları gibi önleyici yöntemler kullanılmaktadır. Kendiliğinden yanma meydana geldiğinde ise erken tespit kritik olup, oksijenin kesilmesi, soğutma uygulamaları, azot gaz enjeksiyonu ve izolasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Bu stratejilerin bütüncül şekilde entegrasyonu, iş güvenliğini artırmakta, ekonomik kayıpları azaltmakta ve madencilik faaliyetlerinin sürdürülebilirliğine katkı sunmaktadır.

© 2025 DPU All rights reserved.

Anahtar Kelimeler: Kalın kömür damarları, kendiliğinden yanma, oksidasyon, havalandırma, gaz izleme, azot enjeksiyonu, kül uygulaması, fenolik köpük, yangın müdahalesi, madencilik güvenliği.

* Corresponding author. Tel.: +90 539 899 14 76
E-mail address: muhammedcam098@gmail.com

Management of combating spontaneous combustion in thick coal seams

Abstract

Thick coal seams provide high reserves and economic advantages in mining; however, they also pose significant safety and production challenges due to the risk of spontaneous combustion. The oxidation of coal at low temperatures, its contact with oxygen, and the inability to dissipate heat lead to accumulation, thereby increasing the risk of fire. This process is influenced by factors such as coal's porosity, moisture content, pyrite content, geological characteristics, ventilation conditions, and atmospheric factors. To reduce the risk, preventive methods such as ventilation systems, gas monitoring centers, ash injection, phenolic foam and concrete coating, and nitrogen gas applications are employed. When spontaneous combustion occurs, early detection is critical, and methods such as oxygen isolation, cooling applications, nitrogen gas injection, and insulation techniques are implemented. The holistic integration of these strategies enhances occupational safety, reduces economic losses, and contributes to the sustainability of mining operations.

© 2025 DPU All rights reserved.

Keywords: Thick coal seams, spontaneous combustion, oxidation, ventilation, gas monitoring, nitrogen injection, ash application, phenolic foam, fire intervention, mining safety.

1. Giriş

Yeraltı kömür damarları, kalın ve ince olmak üzere farklı özelliklerde formasyonlardan oluşmaktadır. İnce damarlar genellikle düşük rezerv kapasitesine sahip olup madencilik faaliyetlerinde daha dikkatli bir kazı süreci gerektirir. Kalın damarlar ise daha büyük kömür rezervleri sunarak madencilik açısından ekonomik yönden verimli alanlar oluşturur. Ancak kalın ve ince kömür damarları jeolojik yapılarına bağlı olarak oksidasyona uğrama eğilimleri farklılık gösterebilmektedir. Özellikle ince damarlar, havayla daha fazla temas ettiğinde kendiliğinden yanma riskini artırabilirken, kalın damarlar iç kısımlarında oksijen sirkülasyonunun kısıtlanması nedeniyle farklı termal tepkimelere yol açabilmektedir. Bu nedenle her kömür damarına uygun önleyici ve müdahale edici yöntemlerin belirlenmesi madencilikte kritik bir öneme sahiptir.

Kömür damarlarının kalın olması, madencilik operasyonları açısından hem avantaj hem de dezavantajlar içermektedir. Kalın kömür damarları ekonomik olarak büyük avantaj sağlasa da üretim sürecine bakıldığında birçok zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorluklardan biri de kalın kömür damarlarının hazırlık ve üretimi sürecinde kendiliğinden yanma riskinin olmasıdır. Bu durum hem ekonomik kayıplara hem de iş güvenliği açısından ciddi risklere neden olabilmektedir. Ülkemizdeki yeraltı kömür madenciliğinin en büyük problemlerinden bir tanesi olan kendiliğinden yanma sorunu hem iş sağlığı ve güvenliği hem de ekonomik olarak büyük kayıplara neden olabilmektedir. Crossing point temperature deneylerinden elde edilen tutuşma sıcaklıkları, Karadon kömürlerinin nispeten yüksek bir kendiliğinden yanma eğilimine sahip olduğunu göstermiştir [1].

Kömürün kendiliğinden yanma sürecinde iş kazaları yaşanmış ve bunun örnekleri bulunmaktadır. 1992 yılında Kozlu Kömür İşletmesi'nde meydana gelen ocak yangını, yeraltı kömür madenlerinde kömürün kendiliğinden yanması sonucu oluşan ocak yangınlarının ciddi güvenlik riskleri oluşturduğunu bir kez daha açıkça göstermiştir. Göçük alanlarında bırakılan kömür, düşük ısı iletkenliği ve oksidasyon potansiyeli nedeniyle kendiliğinden ısınmış ve ardından tutuşarak büyük bir yangın oluşturmuştur [2].

Bu çalışmada kalın kömür damarlarında kendiliğinden yanma ile mücadele yönetimleri kısaca ele alınmıştır.

2. Kalın Kömür Damarlarında Kendiliğinden Yanma Mekanizması ve Kimyasal Reaksiyonu

Kalın kömürlerin kendiliğinden yanması, esasen düşük sıcaklıklarda başlayan oksidasyon reaksiyonlarının birikmiş ısıyı artırmasıyla gelişir. Oksidasyon sürecinde en önemli faktör oksijenin varlığıdır. Eksenal baskı sonucu oluşan kırıklar ve çatlaklar, faylar, üretim sonrası arka göçük bölgeleri, ezilmiş baca eksenleri gibi lokasyonel bölgelere oksijen girişi ne kadar fazlaysa oksidasyon başlangıç olasılığı daha fazladır. İlk aşamada kömür yüzeyinde yavaş oksidasyon gerçekleşir. Ortaya çıkan ısı yeterince uzaklaştırılmadığında ortam sıcaklığı yükselir ve bu durum reaksiyon hızını artırarak zincirleme bir etkiye yol açar. Kalın kömür damarlarında bu süreç daha karmaşık işlemektedir. Damar kalınlığı, havalandırma koşullarını etkiler ve oksijenin damar boyunca farklı oranlarda dağılmasına neden olur. Bu da farklı bölgelerde farklı sıcaklık artışlarının oluşmasına yol açar. Kömürün düşük sıcaklıklarda oksidasyonu sırasında açığa çıkan ısı ortamdan uzaklaştırılmaması, kritik sıcaklığa ulaşılmasına ve kendiliğinden yanmanın başlamasına neden olur [3]. Kendiliğinden yanma, dışarıdan bir kıvılcım, alev ya da başka bir ısı kaynağı devreye girmeden, bir maddenin kendi içindeki kimyasal süreçler aracılığıyla alev almasıdır. Bu olgu, temelinde egzotermik, oksidatif reaksiyonlar sayesinde içsel sıcaklık artışının, malzemenin otomatik tutuşma sıcaklığına ulaşmasıyla gerçekleşir. Örneğin saman, kömür, yağlı bezler gibi materyallerde oksijenle gerçekleşen oksidasyon reaksiyonları yeterince yavaş başladıktan sonra birikerek ortam ısını artırabilir, bu da zamanla bir termal kaçak sürecini tetikler. Böylece iç ısı dışarı atılamaz ve sıcaklık kritik seviyeye ulaştığında kendiliğinden yanma başlar. Kendiliğinden yanma, yanıcı bir maddenin yavaş bir oksidasyon süreciyle başlaması ve ısıya kolayca uzaklaştırılmadığı koşullar altında gelişmesiyle ortaya çıkar. Oksidasyon, kütle içerisindeki sıcaklığı kademeli olarak yükseltir ve sonunda yangının başlamasına neden olur [4].

3. Kalın Kömür Damarlarında Kendiliğinden Yanma Mekanizmasını Etkileyen Faktörler

Kalın kömür damarlarında kendiliğinden yanmayı etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler genellikle kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri, maden ocağının havalandırma koşulları ve çevresel etmenlerle ilişkilidir. Kendiliğinden yanma mekanizmasını etkileyen faktörler Tablo.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kalın kömür damarlarında kendiliğinden yanmayı etkileyen iç ve dış faktörler [5]

İç (endojen) Faktörler		Dış (ekzojen) Faktörler	
Kömürün Özellikleri	Jeolojik Özellikler	Atmosferik Koşullar	Madencilik Faktörleri
Nem içeriği	Damar eğimi	Sıcaklık	Üretim yöntemi
Mineral madde içeriği	Damar kalınlığı	Oksijen derişimi	Tavan koşulları
Petrografik yapısı	Faylar	Nem	Topuk koşulları
Tane boyutu	Derinlik		İlerleme hızı
Mikroorganizmalar	Jeotermik gradyan		Havalandırma basıncı
Pirit içeriği			Taban yolu koşulları
Fiziksel özellikler			Hava kaçakları

Öncelikle kömürün içeriğindeki uçucu madde oranı ve porozitesi, oksijen ile temasını artırarak oksidasyon sürecini hızlandırabilir. Daha gözenekli bir yapı, oksijenin kömür içine daha kolay nüfuz etmesine neden olur ve bu da ısı birikmesine yol açarak kendiliğinden yanma riskini artırır.

Kömürün kendiliğinden yanması, kömür partiküllerinin oksijenle yavaş reaksiyonu sonucu ısı birikmesi ve belirli bir sıcaklığa ulaştığında yanma sürecinin başlaması ile meydana gelmektedir. Bu süreç oksidasyon süreci denilmektedir. Kömürün kendiliğinden yanma olayı, genellikle yeraltı madenciliğinde kalın kömür damarlarında,

düşük oksijen seviyeleri ve yüksek sıcaklıkların etkisiyle hızlanmaktadır [6]. Partikül boyutu ile spontan yanma eğilimi arasında anlamlı bir ilişki yok; risk daha çok gözenek yapısı ve oksijen adsorpsiyon kapasitesine bağlıdır [7].

Kalın kömür damarlarında oksidasyon süreci daha karmaşık ve risklidir. Çünkü kömür hacminin ve yüzeylerinin artması oksidasyon sürecini hızlandırmaktadır. Bu süreci aynı zamanda atmosferik basınç ve kömürün kendi bünyesindeki nem gibi faktörler de etkilemektedir.

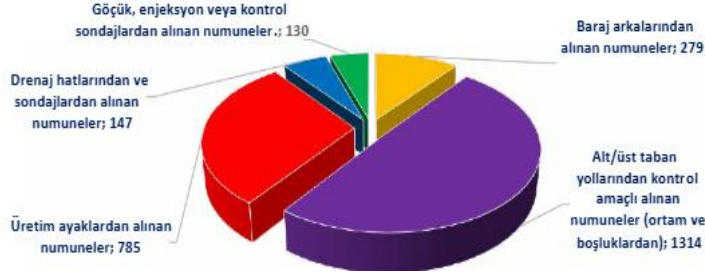
Yeraltı madenlerinde kömür, genellikle nemli ortamlarda bulunur, bu da oksidasyonun daha hızlı gerçekleşmesine neden olur [8]. Kömür bünyesindeki nem oranı, düşük seviyelerde oksidasyonu yavaşlatabilse de belirli bir oranın üzerinde olduğunda ekzotermik reaksiyonlarla ısı açığa çıkarabilir ve kömürün sıcaklığını artırarak kendiliğinden yanmaya zemin hazırlayabilir. Aynı zamanda madende bulunan su drenajının yetersiz olması da oksijenle tepkimeye giren yüzeylerin artmasına ve bu süreçlerin hızlanmasına neden olabilir.

Son olarak, havalandırma koşulları da büyük önem taşır. Yetersiz havalandırma, oksijenin belirli bölgelerde yoğunlaşmasına veya sıcaklığın kontrolsüz bir şekilde artmasına sebep olabilir. Yeterli oksijen sağlayan ancak aşırı hava akışı olmayan bir havalandırma, kömürün oksidasyon sürecini hızlandırabilir. Bunun yanında aşırı hava akımı, kömürün soğumasına neden olarak yanma riskini düşürebilir [9]. Genellikle ezilen galeri yüzeylerinde ve galeri dönüş noktalarındaki kömürler, hava hızına bağlı olarak oksidasyon için oldukça elverişli ortamlar oluşturur. Bu nedenle belirli bölgelerde (örneğin kılçık baca, su ve drenaj cepleri gibi alanlarda) hava hızını düzenlemek ve ortamın hava sirkülasyonu sağlanması amacıyla üfleyici fanlar kullanılarak oksijen akışı kontrollü şekilde sağlanabilmektedir. Böylece, oksidasyonun hızlanması engellenerek yangın riski azaltılmış olur [10].

4. Kalın Kömür Damarlarında Kendiliğinden Yanmaya Karşı Önleyici Yöntemler

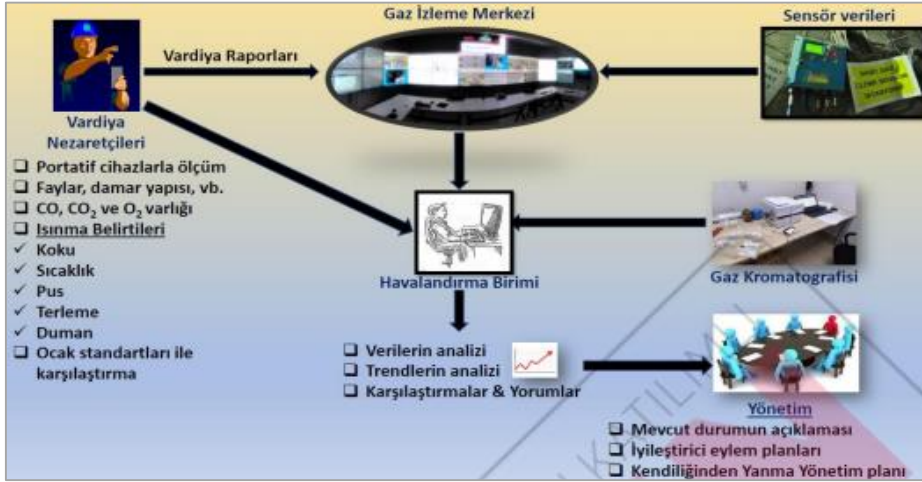
Kömür damarlarında kendiliğinden yanma, özellikle yer altı madenciliğinde ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Bu durum kömürün oksijenle teması sonucu meydana gelen oksidasyon reaksiyonları ve ısınma süreciyle başlamaktadır. Oksijenin kömürle uzun süre temas etmesi, sıcaklık artışına yol açarak kömürün kendiliğinden tutuşmasına neden olabilir. Bu nedenle madencilik faaliyetlerinde kendiliğinden yanmayı önleyici çeşitli yöntemler ve uygulamalar geliştirilmiştir.

Kalın kömür damarlarında kendiliğinden yanmayı önlemek için alınabilecek başlıca önlemlerden birisi etkili bir havalandırma sistemidir. Etkili bir havalandırma sistemi sonucunda oksijen seviyeleri kontrol altında tutularak kendiliğinden yanma riski azaltılabilmektedir. Bir ocak havalandırılmasında özellikle kesit daralmalarının ve havalandırma kapılarının bulunduğu yerler direnç değişimlerine yol açtığı için çok dikkatli olunmalıdır. Bu yüksek basınç farkları; eski imalatlara, göçüklere, çatlaklara giderek hava kaçışını artırır [11]. Yerüstünde gaz izleme merkezleri aracılığıyla termal sensörler ve gaz ölçüm cihazları ayrıca portatif cihazlar kullanılarak kalın kömür damarlarındaki sıcaklık değişimleri izlenerek takip edilmektedir [12]. Yeraltı (Ek ibare:RG-10/3/2015-29291) kömür ocaklarında kullanılacak ekipman ve tesisatlar ile bu tip madenlerin grizu gazı ve/veya yanıcı tozlar tarafından muhtemel tehlike oluşturabilecek yerüstü tesislerinde kullanılan parçalar 30/12/2006 tarihli ve 26392 4 üncü mükerrer sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler ile İlgili Yönetmelik (94/9/AT)’te belirtilen I. Grup (Değişik ibare:RG-10/3/2015-29291) Teçhizatın uygun kategorisinde olmalıdır [12]. Şekil 1’de gösterildiği gibi Polyak Eynez Kırılcık Yeraltı Linyit İşletmelerinde belirli lokallerden gaz kromatografisi için numuneler alınmaktadır. Alınan bu numunelerin sayısal miktarı ve oransal olarak dağılımı gösterilmiştir. Gaz kromatografisi yöntemi ile analiz edilmektedir. Yapılan analizler, ortamdaki gazların bileşim ve yoğunluklarını ortaya koyarak kömürün kendiliğinden yanma sürecinin hangi aşamada bulunduğunu belirlemeye olanak tanımaktadır. Özellikle oksijen, karbonmonoksit, karbondioksit, metan ve hidrojen gibi gazların oranları üzerinden yapılan değerlendirmeler, oksidasyon hızının artışı ve sıcaklık değişimlerinin izlenmesiyle birlikte kendiliğinden yanma riskinin seviyelendirilmesine imkân sağlamaktadır.



Şekil 1. Kalın kömür damarlarında gaz kromatografisi için numune alınan bölgeler ve sayısal dağılımı [13].

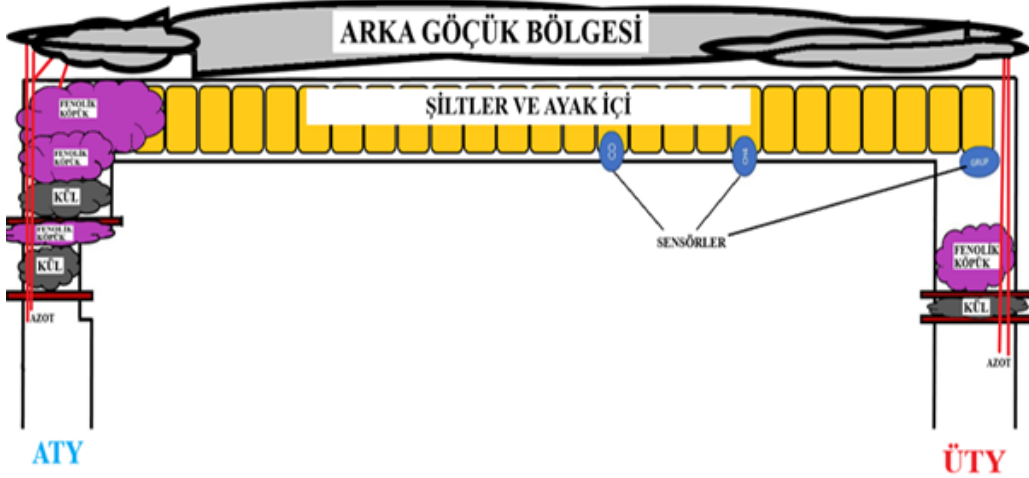
Yapılan bir çalışmada, Zonguldak Sert Kömür Havzası'ndan alınan 26 örnek üzerinde düşük sıcaklık oksidasyon testleri yapıldığı ve bu testlerin oksidasyon sırasında CO konsantrasyon profillerini değerlendirmeyi ve spontan yanma risklerini analiz edilmiş ve 100°C ile 200°C arasındaki sıcaklıklarda CO konsantrasyonunun belirgin şekilde arttığını ve bu sıcaklık aralığında spontan yanma riskinin yüksek olduğunu gösteriyor [14]. Yeraltı kömür işletmelerinin Acil Eylem Planı, Yangından Korunma Planı, Patlamayı Önleme Planı ve Kendiliğinden Yanma Yönetim Prosedürü/planı (Şekil 2.) hazırlanmalı ve süreç bu kapsamda yönetilmelidir [15].



Şekil 2. Örnek bir kendiliğinden yanma yönetim planı [15].

Azot gazı uygulaması, yer altı kömür ocaklarında kendiliğinden yanma riskini azaltan en etkili yöntemlerden biri olarak bilinmektedir. Bu uygulama, özellikle kömür ocaklarında yangın riski taşıyan ortamların kontrol altına alınmasında oldukça etkili olmaktadır. Azot gazı, genellikle yeraltındaki kömür yataklarında oksijenin seviyesini belirli bir oranın altına düşürmek amacıyla kullanılır. Ortamdaki oksijenin azalması, kömürün kendiliğinden tutuşma sıcaklıklarına ulaşmasını zorlaştırır. Böylece sıcaklıkların arttığı ve kömürün tutuşma noktasına yakın olduğu durumlarda, gizli ocak yangınının başlaması engellenmektedir [10]. Özellikle arka göçük bölgelerine azot gazı enjekte edilerek, burada oksijensiz (inert) bir ortam oluşturulur ve kendiliğinden yanma riski büyük ölçüde ortadan kaldırılır. Azot gazı uygulamasının en büyük avantajlarından biri, oksidasyon sürecini tamamen durdurması ve kömür yüzeylerinde yangın oluşumunu engellemesidir. Ancak bu yöntemin dikkat edilmesi gereken bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Azot gazının çalışma ortamına geçiş yapması veya kaçması, ortamdaki oksijen seviyesini düşürerek

iş güvenliği açısından risk oluşturabilir. Bu nedenle, azot gazı uygulaması dikkatli ve kontrollü bir şekilde yürütülmelidir. Şekil 3’ de gösterildiği gibi alınan numunelerde gaz kromatografisi sonuçları ve ortam değerleri göz önünde bulundurularak kendiliğinden yanmanın ileri seviyelerde olması sonucu üretim ayağı, hava giriş ve hava çıkış bölgelerinden barajlarla kapatılır. Özellikle CO konsantrasyonunun sıcaklıkla orantılı artışı kendiliğinden yanmanın saptanmasında en önemli göstergelerindendir [16]. Yeraltı kömür madenlerinde karbon monoksit (CO) seviyesi 25 ppm’i geçtiğinde uyarı verilmesi, 50 ppm’e ulaştığında ise çalışanların tahliye edilmesi ve çalışmanın durdurulması zorunludur. Karbon dioksit (CO₂) gazının ise %0,5 seviyesini aşmaması gerekmektedir [17]. Arka göçük bölgelerinde, ısınma ve CO tespit edilen şilt arkalarına borular bırakılarak baraj önüne kadar bu borular uzatılır. Kapatılan ayak içerisine belirli alanlara sensörler yerleştirilir. Müdahale başladığında arka göçük bölgesinde kendiliğinden yanma riski olan lokal bölgedeki oksijen miktarı minimize edilerek yanmanın devamlılığının önüne geçilebilmektedir. Müdahale sürecinde ise azot gazı ile birlikte yangın inhibitörleri de bir arada kompleks bir uygulama şeklinde uygulanabilmektedir.



Şekil 3. Kendiliğinden yanma sonucu barajlarla kapatılan tam mekanize üretim ayağındaki örnek azot gazı uygulaması [10].

Azot gazı uygulaması müdahalenin yanı sıra önleyici olarak da uygulanabilmektedir. Hava giriş ve hava çıkış noktalarında göçük bölgelerinden önleyici uygulama olarak uygulanabilmektedir. Önleyici azot uygulaması, alt ve üst taban yollarında göçük bölgelerine oksijen geçişini minimize etmek için yapılan fenolik köpük sonra uygulanabilmektedir.

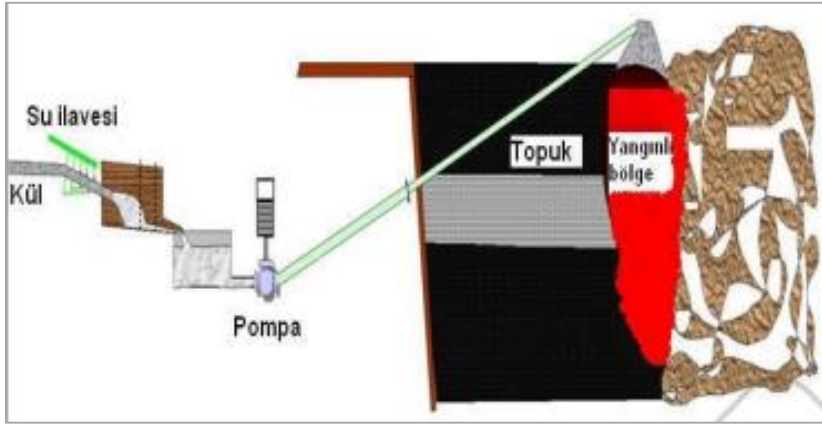
Bununla birlikte azot gazı uygulaması yapılırken kömürün nem içeriği de dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir. Kömürün çok kuru olması, oksidasyon sürecini hızlandırarak kendiliğinden yanma riskini artırabilir. Öte yandan fazla nem içeren kömür de su kaybı sırasında ısı açığa çıkarak olası bir yanma sürecini tetikleyebilir. Bu nedenle, kömürün nem içeriği optimum seviyede tutulmalı ve nem oranı sürekli izlenmelidir. Azot perdesi yöntemi ile oksidasyon bölgesi genişliği %70 oranında azaltılmış; 18 saatlik uygulama sonunda CO konsantrasyonu 21,8 ppm’den 11,2 ppm’e düşmüştür [18].

Yeraltı madencilğinde kullanılan bir diğer önleyici yöntem ise fenolik köpük ve beton püskürtme uygulamalarıdır. Bu yöntemler, kömür damarlarının veya ocak içerisindeki kömür içeren yüzeylerin oksijenle temasını en aza indirmek

için uygulanmaktadır. Özellikle galeri ve rekup yollarında kullanılan bu izolasyon yöntemleri sayesinde, kömür yüzeyleri tamamen kaplanarak oksijenle teması engellenir ve böylece oksidasyon süreci durdurulur. Beton püskürtme ve fenolik köpük uygulamaları, madenlerde uzun süreli bir koruma sağlar ve yangın riskini minimize eder. Fenolik köpük, yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve yanmaz bir malzeme olduğu için madenlerde güvenle kullanılabilir. Ayrıca hafif ve uygulanması kolaydır ve kömür yüzeylerine sıkıca yapışarak izolasyon sağlar. Beton püskürtme yöntemi ise daha kalıcı bir izolasyon sağlar ve yangına karşı güçlü bir bariyer görevi görür. Harç enjeksiyonu, düşük maliyetli ve uygulanması kolay çözümler olmakla birlikte, yangın bölgesine eşit dağılması zordur; zira sıvı akışkandır ve çatlaklardan akar [19].

Önleyici yöntemlerden bir diğeri de kül işlemleridir. Bu yöntemde, özellikle kalın kömür damarlarının üretimi sonrası arka göçük bölgelerine kül enjekte edilerek, burada kalan kömürün oksijenle teması kesilir. Kül uygulaması için belli bir spesifik özelliklere sahip termik santral kazan dibi küllerinin yerüstü kül tesisinde su ile karıştırılarak, kül-su karışımı (pulp) şeklinde daha önceden monte edilmiş boru altyapısı ile ayak üretim bölgesinin bulunduğu kısma, arka konveyör gerisine ve tavana delinmiş deliklerden tavan bölgesine ya da kullanılmayan metan drenaj deliklerinden tavan kısımlarına uygulanmasıdır. Su ve kül karışımı ayak gerisinde üretimden kalmış-okside olabilecek kömür yüzeyini kapattığından oksidasyonu engellemektedir. Yine, tavana delinmiş deliklere kül uygulaması da, tavanda hem oksidasyonu engellemekte hem de olası boşlukları doldurmaktadır. Bu uygulamada külün geleceği ya da kül suyunun geleceği bölgelerde su drenajı, tahkimatın iyileştirilmesi, vb. konularda önceden önlem alınmaktadır [15].

Örneği Şekil.4'de gösterildiği gibi kül uygulaması genellikle arka göçük bölgelerinde ve madencilik faaliyetleri sonrası bırakılan kömür alanlarında tercih edilmektedir. Bu yöntem hem ekonomik hem de çevre dostu bir çözüm sunduğu için madencilik sektöründe yaygın olarak uygulanmaktadır.



Şekil 4. Damar içinde ulaşılabilen kısımdaki yangına kül ile müdahale [20]

Kömür damarlarında kendiliğinden yanmaya karşı alınan bu önleyici tedbirler, madencilik faaliyetlerinde iş güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Azot gazı uygulaması, beton püskürtme, fenolik köpük ve kül işlemleri gibi yöntemler, kömürün oksijenle temasını engelleyerek oksidasyon sürecini durdurmaya ve yangın riskini minimize etmeye yönelik etkili çözümler sunmaktadır.

Özellikle kalın kömür damarlarında arka göçük bölgelerinde kalan kömür büyük bir yangın riski oluşturduğundan, bu bölgelerde azot gazı kullanımı ve izolasyon işlemleri dikkatli bir şekilde yürütülmelidir. Bunun yanı sıra, kül uygulaması ve fenolik köpük işlemleri gibi yöntemler de ek güvenlik sağlamak için entegre bir şekilde uygulanmalıdır.

Bu önleyici tedbirlerin dikkatli bir şekilde uygulanması hem madencilerin güvenliği hem de yer altı kömür ocaklarının uzun vadeli sürdürülebilirliği açısından kritik bir rol oynamaktadır.

5. Kalın Kömür Damarlarında Kendiliğinden Yanmaya Karşı Müdahale Yöntemleri

Kömür damarı içerisinde ulaşılabilen kısımlarda kendiliğinden yanma meydana gelmesi durumunda, bu durumun çalışma ortamına duman ya da zararlı gazları verecek hale gelmeden önce (bilimsel ölçüm ve gözlemlerle) tespit edilmesi oldukça önemli bir husustur [20].

Sıcaklık arttıkça oksidasyon ve gaz çıkışı hızlanmakta bununla birlikte olayın ileri aşamalarında sorunlar ağırlaşmaktadır. Bu nedenle olayın erken tespiti ve gelişmesini sınırlandırmak için gerekli tedbirlerin alınması önem taşır [21]. Yanma olayının erken tespiti, etkili bir müdahale yöntemi seçiminde ve sürecin emniyeti için oldukça önemlidir. Seçilecek olan müdahale yöntemleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Yanma olaylarının erken tespit edilmesi, yangının kontrol altına alınabilmesi için kritik bir aşamadır. Kömür damarlarındaki kendiliğinden yanmayı engellemek için uygulanabilecek yöntemlerden biri, kömür damarlarının sıcaklık seviyelerinin izlenmesi ve gerektiğinde soğutma işlemleri ile müdahale edilmesidir [23]. Bu süreçte, yanmanın meydana geldiği lokal bölgelere özel delikler açılarak borulama işlemleri gerçekleştirilir. Bu borular aracılığıyla su veya yangın inhibitörleri (one seven, one fire vb.) kullanılarak bölgenin soğutulması sağlanır. Ancak, su kullanımı sonucunda aşırı buhar oluşumu gibi ek riskler ortaya çıkabilir. Özellikle kapalı alanlarda oluşan buhar, görüş mesafesini düşürebilir, sıcaklık artışına neden olabilir ve operasyonların güvenliğini tehdit edebilir. Bu tür riskleri minimize etmek amacıyla, soğutma sürecine su ile birlikte taş tozu gibi yardımcı malzemeler eklenerek ısının daha hızlı emilmesi sağlanabilir. Taş tozu serpmiş işleminde kullanılan taş tozu; "pulverize edilmiş, kireç taşı, dolomit, anhidrit, alçı taşı, kil taşı ve diğer nötr maddelerden oluşan, tamamı - 20 meş ya da en az % 70'i - 200 meş olan, % 5'den fazla yanıcı madde, % 4'den fazla serbest ya da birleşik silika içerme yen, ıslanıp kuruduktan sonra topaklaşmayan toz karışımı" olarak tanımlanmıştır [24].

Tablo 2. Müdahale kapsamında galeri ve ayak bölgelerindeki genel uygulamalar [22].

No	Üretim Ayakları	Galeri	Ayak
1	Azot uygulaması		X
2	Kül uygulaması	X	X
3	Okside olan kömürün kazılarak uzaklaştırılması	X	X
4	Yalıtım köpüğü (fenolik köpük)		X
5	Su ile soğutma yapılması	X	X
6	Yangın söndürme köpüğü uygulaması	X	X
7	Çimento enjeksiyonu uygulaması	X	
8	Püskürtme beton ile yüzey yalıtımı uygulaması	X	
9	Portatif yangın söndürme cihazlarının kullanımı	X	X

Kendiliğinden yanma meydana gelen lokal bölgelerde yangının yayılmasını önlemek ve reaksiyonu durdurmak amacıyla hava akışının yönlendirilmesi veya tamamen kesilmesi gibi stratejiler uygulanabilir. Hava akışının kesilmesi, oksijenin yangın bölgesine ulaşmasını engelleyerek yanma reaksiyonunu sınırlar. Ancak tamamen kesilmesi yerine kontrollü yönlendirme yapılması bazı durumlarda daha etkili olabilir, çünkü ani hava kesintileri yanma dengesini bozarak beklenmedik reaksiyonlara yol açabilir. Eğer yangın kontrol altına alınamaz ve yanma süreci devam ederse, yangının olduğu bölgeyi tamamen izole etmek için kül, beton ve fenolik köpük gibi yalıtım malzemeleri kullanılarak dolgu işlemi yapılır. Bu dolgu malzemeleri, oksijen girişini engelleyerek yanmanın sürdürülebilmesi için gerekli olan hava kaynağını keser. Bununla birlikte, söndürme işleminin hızlandırılması ve güvenliğin artırılması amacıyla yanma bölgesine azot gazı enjekte edilebilir.

Gelişmiş teknolojilerin, özellikle azot enjeksiyonu ve karbondioksit ile dolum yapılması gibi yöntemlerin kullanımı, kalın kömür damarlarında kendiliğinden yanmanın önlenmesinde önemli ölçüde iyileşme sağlamıştır [25]. Azot gazı, yangının devamlılığını sağlayan oksijenin yerini alarak reaksiyon sürecini durdurur. Ayrıca yangın söndürme sürecini daha etkin hale getirmek için azot gazı, özel kimyasal inhibitörlerle (one seven, one fire vb.) birlikte de uygulanabilir.

Bu yöntem özellikle tam mekanize ayaklarda hava çıkış noktalarında bulunan hassas gaz ölçüm sensörlerinden alınan veriler doğrultusunda yaygın olarak kullanılır.

Sensörlerin sağladığı veriler (CO, CO₂ vb.), göçük bölgelerinde meydana gelen kendiliğinden yanmaları erkenden tespit etmeye olanak tanır ve böylece en uygun müdahale yöntemi belirlenebilir. Sürekli ısı izleme, kontrollü havalandırma ve inert gaz enjeksiyonunun entegrasyonu, kalın kömür damarlarında kendiliğinden yanma riskini azaltmada en etkili çok aşamalı yaklaşımdır [26]. Arkadan göçertmeli üretim yapılan ayaklarda toz kömürlerin tam anlamıyla alınamaması nedeniyle, bu bölgelerde oksidasyon süreci hızlanabilir. Bu tür durumlarda, göçük bölgelerine su yardımıyla kül enjekte edilerek kömür tozlu yüzeyler kaplanır ve boşluklar doldurulur. Böylece, kömür tozlarının oksijenle teması kesilerek kendiliğinden yanma sürecinin önüne geçilir.

Yanmanın etkili bir şekilde kontrol altına alınabilmesi için müdahale yöntemleri arasında kapsamlı bir değerlendirme yapılması gerekir. Özellikle ayak topuklarındaki yanal ve tavan boşlukları, ayak rekuplarındaki kırıklı tarama yüzeyleri ve baskı sonucu oluşabilecek çatlaklar gibi yanma riskinin yüksek olduğu bölgelerin termal ve gaz ölçümlerinin titizlikle yapılması gerekmektedir. Bu ölçümler doğrultusunda, en uygun müdahale yöntemi belirlenerek yangının daha geniş alanlara yayılmasının önüne geçilir.

Diğer bir önemli husus ise kalın kömür damarlarında bulunan üretim ve hazırlık galerilerinde nakliye için kullanılan bantlardan dökülen kömürlerin sürtünme sonucu ısınarak yanmaya neden olabileceğidir. Bu tür durumlarda, yangın çıkan kömür yığını bölgeden uzaklaştırılarak müdahale gerçekleştirilir. Müdahale süreçlerinin birbirleriyle uyumlu olması ve önceden belirlenmiş planlamalara göre uygulanması, yangının hızlı ve etkili bir şekilde kontrol altına alınmasını sağlar. Tüm bu yöntemler, kendiliğinden yanmanın önüne geçmek ve kömür madenciliğinde yangın riskini minimize etmek için entegre bir yaklaşım olarak değerlendirilmelidir.

6. Sonuç

Kalın kömür damarlarında kendiliğinden yanma, madencilik sektöründe karşılaşılan en zorlu sorunlardan biridir. Ülkemizde de sıklıkla yeraltı kömür madenciliğinde karşılaşılan bu sorunun takibi ve erken tespiti çok önemlidir. Bu durum yalnızca ekonomik kayıplara yol açmakla kalmaz aynı zamanda iş güvenliğini de ciddi şekilde tehdit eder. Bu risk ancak etkili önleyici tedbirler ve hızlı müdahale yöntemleriyle yönetilebilir. Yapılan çalışmalar ve uygulamalar, havalandırma sistemlerinin optimizasyonu, gaz izleme merkezlerinin kurulması, azot gazı uygulamaları gibi stratejilerin etkinliğini göstermektedir.

Özellikle erken tespit ve doğru müdahale yöntemlerinin uygulanması, yangının yayılmasını önleyerek hem güvenliği hem de üretkenliği artırmaktadır. Önleyici yöntemlerin yanı sıra müdahale aşamasında da doğru tekniklerin kullanılması önemlidir. Kül, beton ve fenolik köpük uygulamaları gibi müdahaleler oksijen temasını azaltarak yangının kontrol altına alınmasında büyük rol oynamaktadır. Ayrıca azot gazı gibi inert gazların kullanımı, yangın söndürme süreçlerinde etkili bir çözüm sunmaktadır. Kalın kömür damarlarında, her durumda farklı koşullara göre esnek bir müdahale yaklaşımı benimsenmeli ve sürekli izleme yapılmalıdır.

Sonuç olarak kalın kömür damarlarında kendiliğinden yanma ile mücadelede bütünsel bir yaklaşım gereklidir. Etkili önlemler ve doğru müdahale yöntemleri ile güvenlik seviyeleri artırılabilir, ekonomik kayıplar en aza indirilebilir ve madencilik faaliyetlerinin sürdürülebilirliği sağlanabilir. Bu stratejilerin entegrasyonu, kalın kömür damarlarında yaşanabilecek yangın risklerini minimize ederek daha güvenli ve verimli bir çalışma ortamı yaratılmasına katkı sağlar.

Kaynaklar

- [1] A. Yılmaz, S. Bilen, and M. Rasskazova, "Determination of gas contents and spontaneous combustion liabilities of Zonguldak coals," *Solid Fuel Chem.*, vol. 59, no. 2, pp. 97–103, 2025, doi: 10.3103/S0361521924700617.
- [2] A. Değirmenci, "Kozlu müessesesindeki ocak yangınları ve alınan önlemler," in *Proc. Türkiye 8. Kömür Kongresi*, Zonguldak, Turkey, 1992, pp. 153–164.
- [3] J. Smith, "Mechanisms of coal spontaneous combustion in underground mines," *Min. Saf. Rev.*, vol. 15, no. 4, pp. 110–120, 2003.
- [4] "Spontaneous combustion," *Britannica*, [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/spontaneous-combustion>
- [5] Ö. Ören, "Kütahya bölgesi linyitlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının araştırılması," M.S. thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Univ., Kütahya, Turkey, 2006.
- [6] M. E. Yılmaz and A. Kaya, "Kömür yangınları ve kendiliğinden yanma olayı," *Maden Müh. Derg.*, vol. 45, no. 3, pp. 255–267, 2019.
- [7] S. Yılmaz, "Prediction of spontaneous combustion liability for imported steam coals," *Energy Sources A, Recovery Util. Environ. Eff.*, vol. 47, no. 1, pp. 12329–12343, 2025, doi: 10.1080/15567036.2025.2512224.
- [8] J. Tian, Z. Li, and G. Wang, "Study on the spontaneous combustion of coal and its prevention in underground mining operations," *J. Environ. Sci. Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 312–323, 2016.
- [9] T. Lee and P. Wang, "Ventilation effects on coal oxidation," *Int. Min. Saf. Rev.*, vol. 18, no. 1, pp. 45–58, 2019.
- [10] M. Çam, "Yeraltı kömür madenciliğinde kendiliğinden yanma ile mücadele çalışmalarında azot gazı kullanımı," M.S. thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya Dumlupınar Univ., Kütahya, Turkey, 2025.
- [11] S. İnal and K. Aydinler, "Kömürün kendiliğinden yanması ve etkileyen faktörler," *Bilimsel Madencilik Derg.*, vol. 58, no. 2, pp. 145–165, 2019.
- [12] Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, "Maden işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliği," *Resmî Gazete*, no. 28770, Sep. 19, 2013, last amended Mar. 10, 2015, no. 29291.
- [13] E. Kahraman and A. Ramazanirend, "Yeraltı madenciliğinde gaz kromatografi kullanımı ve önemi," *ResearchGate*, 2023. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/xxxxxxx>
- [14] M. Bilen, "Online CO monitoring during low temperature oxidation of Zonguldak coals," *Solid Fuel Chem.*, 2025. [Online]. Available: <https://acikarsiv.beun.edu.tr/entities/publication/7b710e0c-76e0-4e07-9b95-0cec6c411b40/full>
- [15] E. Kahraman, A. Ramazanirend, E. Küçükali, O. Altıparmakoglu, and A. Fişne, "Polyak Eynez C-02 panosunda kendiliğinden yanmayı önleyici çalışmaların incelenmesi," in *Proc. Türkiye 28. Uluslararası Madencilik Kongresi*, Dec. 2023.
- [16] E. Kuzoluk, "Farklı miktar ve özellikteki kömür yığınlarının kendiliğinden yanma davranışları, önlenmesi ve önceden tespit edilmesine bir örnek: Çayırhan kömür stokları," M.S. thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Univ., Konya, Turkey, 2014, pp. 5–45.
- [17] T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, "Maden işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliği," *Resmî Gazete*, no. 28770, Sep. 19, 2013.
- [18] Y. Zhang, Y. Gao, D. Sun, F. Zhao, and W. Xu, "Application of nitrogen curtain technology to longwall goaf: A case study in Shajihai coalmine," *Fires*, vol. 6, no. 9, p. 363, 2023, doi: 10.3390/fires6090363.
- [19] X. Liu, Y. Zhang, Z. Wang, Q. Yue, and M. Chen, "Combustion mechanism and control approaches of underground coal fires: A review," *Int. J. Coal Sci. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 123–145, 2023, doi: 10.1007/s40789-023-00581-w.
- [20] E. Kahraman, C. Sığirci, Ş. Tarhan, and F. B. Taşkın, "Çayırhan linyit işletmesi G sahasında ocak yangınları ile mücadele yöntemlerinin incelenmesi," in *Proc. Türkiye 8. Kömür Kongresi*, 2012.
- [21] H. Demirkan, Ed., "Kömürün kendiliğinden yanma olgusu," Zonguldak/Ankara: MASİS Yayınları, 2023.
- [22] E. Kahraman, "Yeraltı kömür madenciliğinde yangınlarla mücadele çalışmaları," in *Proc. Uluslararası Katılımlı Yangın Sempozyumu ve Sergisi*, İzmir, Turkey, 2024.
- [23] H. Öztürk, "Kömür damarlarındaki kendiliğinden yanma ve müdahale teknikleri," *Müh. Teknik Derg.*, vol. 55, no. 6, pp. 198–212, 2020.
- [24] T. Güyagüler, *Kömür tozu patlamalarında taş tozu barajları*. Ankara: ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, 1977.
- [25] X. Liu and W. Zhang, "Technology for prevention of spontaneous combustion in thick coal seams," *Int. J. Min. Sci. Technol.*, vol. 30, no. 2, pp. 187–195, 2020.
- [26] L. Zhang and Y. Li, "Prevention strategies for spontaneous combustion in thick coal seams," *Int. J. Coal Geol.*, vol. 194, pp. 45–53, 2018.