T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METRO HAVASINDAKİ PARTİKÜL MADDENİN ELEMENTEL BİLEŞİMİ VE MİKROBİYAL TOKSİSİTESİ

Betül BAYHATUN

DANIŞMAN
Prof. Dr. Burcu ONAT

II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Aslı BAYSAL

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Haziran, 2023

Babam Yusuf BAYHATUN'a ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

METRO HAVASINDAKİ PARTİKÜL MADDENİN ELEMENTEL BİLEŞİMİ VE MİKROBİYAL TOKSİSİTESİ

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 36490

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince her türlü bilgilerini, yardımlarını ve tavsiyelerini esirgemeden çalışmama katkı sağlayan, manevi desteklerini hep hissettiğim çok kıymetli hocalarım Prof. Dr. Burcu ONAT'a ve Prof. Dr. Aslı BAYSAL'a,

Tezim sırasında metroda örnekleme ve elementel analiz çalışmalarını gerçekleştiren İBB Hava Kalitesi İzleme Merkezi'nden Muhammed DOĞAN'a, ve Nurten ŞENTÜRK'e, İAÜ laboratuvarlarında gerçekleştirdiğim çalışmalarda bana yardımcı olan Sevilay ZORA'ya ve Şura SEVİNDİK'e,

Eğitim hayatım boyunca her türlü desteği, sevgiyi ve ilgiyi benden esirmeyen her zaman yanımda olan çok kıymetli babam Yusuf BAYHATUN'a, annem Nahide BAYHATUN'a, kardeşlerim Esma Şevval BAYHATUN ve Yakup Emir BAYHATUN'a,

Tez çalışmam sırasında ve üniversite öğrenimim boyunca kıymetli bilgileri ile manevi desteğini esirgemeyen Yük. Müh. Burcu UZUN'a,

Çalışmamı sürdürmem için her türlü kolaylığı sağlayan sevgili müdürüm Zeliha TEKİN'e teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2023 Betül BAYHATUN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No: 7

1. GİRİŞ 17
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE 19
2.1. HAVA KİRLİLİĞİNE GENEL BAKIŞ VE İÇ ORTAM HAVA KİRLİLİĞİ 19
2.2. PARTİKÜL MADDE 20
2.2.1. PM'in Kaynakları 21
2.2.2. PM'in Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri 22
2.2.2.1. Fiziksel Özellikleri 22
2.2.2.2. PM'in Kimyasal Özellikleri 23
2.2.2.3. PM'in İçeriğinde Bulunan Başlıca Metaller 24
2.3. PM'İN SAĞLIĞA ETKİLERİ 28
2.4. METRODA SOLUNABİLİR PARTİKÜLLERİN ÖZELLİKLERİ, KAYNAKLARI VE KİMYASAL BİLEŞİMİ 30
2.4.1. *S. aureus* ve *K. pneumoniae* Türü Bakteriler ve Özellikleri 31
2.4.2. Metroda Solunabilir Partiküllerin Özellikleri, Kaynakları ve Kimyasal Bileşimi 32
2.5. METRODA PM TOKSİSİTESİ VE ELEMENTEL BİLEŞİMİ İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR 34
3. YÖNTEM 41
3.1. ÇALIŞMANIN YÜRÜTÜLDÜĞÜ METRO HATLARI VE İSTASYONLAR 41
3.2. PM ÖRNEKLEMESİ 42
3.3. ELEMENTEL ANALİZ 44
3.4. $PM_{2.5}$ – BAKTERİYEL ETKİLEŞİMİN İNCELENMESİ 45
3.5. İSTATİSTİKSEL ANALİZ 47
4. BULGULAR 48
4.1. PARTİKÜL MADDE KONSANTRASYONLARI 48
4.2. ELEMENTEL ANALİZ SONUÇLARI 49
4.3. PARTİKÜL MADDE BAKTERİYEL ETKİLEŞİM ANALİZ SONUÇLARI 51
4.3.1. *K. pneumoniae* Canlılık ve Biyokimyasal Parametreleri Ölçüm Sonuçları 51
4.3.1.1. PM Maruziyetinin K. pneumoniae Bakterisi Üzerine Genel Etkisi 51

4.3.1.2. K. pneumoniae Bakterisi Canlılık (Aktivite) ve Biyokimyasal Parametreleri ile Etkileşimi *53*

4.3.1.3. PM Maruziyetinin İstasyon Bazında K. pneumoniae Üzerine Etkisi *54*

4.3.2. *S. aureus* Canlılık ve Biyokimyasal Parametreleri Ölçüm Sonuçları 58

4.3.2.1. PM Maruziyetinin S. aureus Üzerine Genel Etkisi *58*

4.3.2.2. S. aureus Bakterisi Canlılık (Aktivite) ve Biyokimyasal Parametreleri ile Etkileşimi *59*

4.3.2.3. PM Maruziyetinin İstasyon Bazında S. aureus Üzerine Etkisi *60*

4.4. METALLER İLE MİKROORGANİZMALARIN CANLILIK VE PROTEİN PARAMETRELERİ İLE İLİŞKİSİ 64

4.4.1. *K. pneumoniae* Canlılık Parametresi ile Elementler Arasındaki İlişki 64

4.4.2. *K. pneumoniae* Protein Parametresi ile Elementler Arasındaki İlişki 65

4.4.3. *S. aureus* Canlılık Parametresi ile Elementler Arasındaki İlişki 66

4.4.4. *S. aureus* Protein Parametresi ile Elementler Arasındaki İlişki 67

5. TARTIŞMA 68

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 72

EK 1. *S. aureus* Bakterisi İçin Yapılan Çalışmalarda Kullanılmış Olan PM Örneklerine Ait Elementel Analiz Sonuçları. 84

EK 2. *K. pneumoniae* Bakterisi İçin Yapılan Çalışmalarda Kullanılmış Olan PM Örneklerine Ait Elementel Analiz Sonuçları. 85

EK 3. *K. Pneumoniae* Canlılık ve Biyokimyasal Parametrelerinin Birbiri İle Karşılaştırılması. 86

EK 4. *S. Aureus* Canlılık ve Biyokimyasal Parametrelerinin Birbiri İle Karşılaştırılması. 87

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No: 9

Şekil 2.1: PM'in boyutlarına göre insan vücuduna girişi. 23

Şekil 2.2: Bir metro istasyonunda PM'in başlıca kaynakları. 33

Şekil 3.1: İstanbul raylı sistemler ağ haritası 41

Şekil 3.2: İstasyon peronunda partikül madde örneklemesi. 43

Şekil 4.1: PM örneklerinin *K. pneumoniae* üzerine etkisi 52

Şekil 4.2: İstasyonlara göre *K. pneumoniae* bakterisi canlılık sonuçları 54

Şekil 4.3: İstasyonlara göre *K. pneumoniae* bakterisi protein sonuçları 55

Şekil 4.4: İstasyonlara göre *K. pneumoniae* bakterisi antioksidan sonuçları 56

Şekil 4.5: İstasyonlara göre *K. pneumoniae* bakterisi karbonhidrat sonuçları 57

Şekil 4.6: PM örneklerinin *S aureus* üzerine etkisi 58

Şekil 4.7: İstasyonlara göre *S. aureus* bakterisi canlılık sonuçları 60

Şekil 4.8: İstasyonlara göre *S. aureus* bakterisi protein sonuçları. 61

Şekil 4.9: İstasyonlara göre *S. aureus* bakterisi antioksidan sonuçları. 62

Şekil 4.10: İstasyonlara göre *S. aureus* bakterisi karbonhidrat sonuçları 63

Şekil 4.11: *K. pneumoniae* ile metallerin tüm istasyonlar için canlılık parametresi üzerinde zamana bağlı ilişkisi 64

Şekil 4.12: *K. pneumoniae* ile metallerin tüm istasyonlar için protein parametresi üzerinde zamana bağlı ilişkisi 65

Şekil 4.13: *S. aureus* ile metallerin tüm istasyonlar için canlılık parametresi üzerinde zamana bağlı ilişkisi. 66

Şekil 4.14: *S. aureus* ile metallerin tüm istasyonlar için protein parametresi üzerinde zamana bağlı ilişkisi. 67

TABLO LİSTESİ

Sayfa No: 12

Tablo 2.1 Partiküllerin US-EPA'ya göre sınıflandırılması 22

Tablo 2.2: PM'in çeşitli sağlık sorunları üzerindeki uzun vadeli etkileri. 29

Tablo 2.3: Mikroorganizmaların patojenik durumları ve sebep oldukları rahatsızlıklar..... 31

Tablo 2.4: Dünyada farklı şehir metrolarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonları..... 37

Tablo 3.1: Metro istasyonları genel özellikleri..... 42

Tablo 3.2: İstasyonlarda alınan $PM_{2.5}$ örnek sayısı ve örnekleme periyotları 43

Tablo 3.3: PM'in CEM MARSX Press Mikrodalga Ayrıştırma Ünitesi kullanılarak yapılan çözündürme işlemi..... 44

Tablo 4.1: İstasyon peronlarında $PM_{2.5}$ konsantrasyon sonuçları 48

Tablo 4.2: *S. aureus* bakterisi için yapılan çalışmalarda kullanılmış olan PM örneklerine ait elementel analiz sonuçlarına ait ortalama veriler 49

Tablo 4.3: *K. pneumoniae* bakterisi için yapılan çalışmalarda kullanılmış olan PM örneklerine ait elementel analiz sonuçlarına ait ortalama veriler 50

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
Ba	: Baryum
Br	: Brom
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadminyum
Co	: Kobalt
CO_2	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
K	: Potasyum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Ni	: Nikel
NO_2	: Azot Dioksit
Pb	: Kurşun
S	: Kükürt
Sb	: Antimonun
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
Sr	: Stronsiyum
Ti	: Titanyum
V	: Vanadyum
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkonyum

Kısaltmalar	Açıklama
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği)
EEA	: European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı)
	(Engineers-Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri)
EPA	: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
IARC	: International Agency for Research on Cancer (Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı)
KP	: Klebsiella Pneumoniae
PAKS	: Panel Ayırıcı Kapı Sistemi
PM	: Partikül Madde
PM_{10}	: 10 Mikrometreden Küçükk Partiküller
$PM_{2.5}$	: 2.5 Mikrometreden Küçük Partiküller
SA	: Staphylococcus Aureus
TVOC	: Total Volatile Organic Compounds (Toplam Uçucu Organik Bileşikler)
WHO	: World Health Organisation (Dünya Sağlık Örgütü)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METRO HAVASINDAKİ PARTİKÜL MADDENİN ELEMENTEL BİLEŞİMİ VE MİKROBİYAL TOKSİSİTESİ

Betül BAYHATUN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Danışman : Prof. Dr. Burcu ONAT

II. Danışman : Prof. Dr. Aslı BAYSAL

Yer altı raylı sistemleri güvenli olmaları, ulaşımda kaliteyi arttırmaları, verimli ve yaygın olmaları, trafik yoğunluğunu azaltmaları gibi özellikleri ile birlikte günümüzde en çok tercih edilen ulaşım araçlarından biridir. Metro ve raylı sistemleri kullanan kişilerin gün içerisinde istasyonlarda geçirdiği zamanın çok az olmasına karşın yüksek konsantrasyona sahip kirleticileri muhteva eden havaya maruz kalınması sağlık problemlerine sebep olabilmektedir.

Bu çalışmada, İstanbul metrosunda en çok tercih edilen M2, M4, M5 ve M7 hatlarında yolcu yoğunluğunun fazla olduğu 7 yeraltı istasyonunun peronunda havadan örneklenen $PM_{2.5}$ (2.5 mikrondan küçük partiküller)'un elementel bileşimi ve mikrobiyal toksisitesi incelenmiştir. Bu kapsamda $PM_{2.5}$'un 30 dakika, 2 saat, 4 saat ve 24 saatlik maruziyet sürelerinde *Staphylococcus Aeureus* ile *Klebsiella Pneumaniae* bakterileri üzerindeki etkisi araştırılmış, bu bakterilerin canlılık, aktivasyon ve/veya inhibisyon mekanizmaları ana biyokimyasal (protein, karbonhidrat ve antioksidan) parametreler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tespit edilen canlılık ve

biyokimyasal parametre sonuçları ile $PM_{2.5}$ içeriğinde bulunan bazı metaller (Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn ve Pb) arasındaki ilişki incelenmiştir.

$PM_{2.5}$'a farklı maruziyet sürelerinde *S. aeureus* ile *K. pneumaniae* bakterilerinin canlılık davranışları incelendiğinde her iki türde de $PM_{2.5}$ sonuçlarının 1'den büyük olduğu ve canlılık metabolizmasını indüklediği tespit edilmiştir. Protein mekanizmasının 0.81 ve 0.99 arasında değişen korelasyon katsayısı değerleri ile birlikte genel olarak canlılık metabolizmasını indüklerken, karbonhidrat ve antioksidan mekanizmalarının 0.67 ve (-) 0.20 arasında değişen korelasyon katsayısı değerleri ile birlikte ile negatif bağımlılık gösterdiği ve inhibisyona yol açtığı görülmüştür.

Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn ve Pb metalleri ile bakterilerin canlılık ve protein mekanizmaları arasındaki ilişki incelendiğinde ise *S. aureus* için bu elementlerin toksik etki gösterirken *K. pneumoniae* için indükleyici etki gösterdiği gözlenmiştir. Sonuç olarak metro havasındaki $PM_{2.5}$'un maruziyet süreleri ve kimyasal karakterizasyonuna bağlı olarak incelenen bakteri türleri üzerinde farklı etkileri olduğu tespit edilmiştir. Metro havasındaki $PM_{2.5}$'un patojen bakteriler üzerindeki indükleyici etkisinin hastalıkların kapalı ortamlarda yayılması ve/veya hastalık sürelerindeki artışa nasıl bir etkisinin olacağı konusunda gelecekte çalışmaların yapılması önem arz etmektedir.

Haziran 2023 , 91 sayfa.

Anahtar kelimeler: Metro, partikül madde, $PM_{2.5}$, toksisite, bakteri, maruziyet.

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

ELEMENTEL COMPOSITION AND MICROBIAL TOXICITY OF PARTICULATE MATTER IN SUBWAY AIR

Betül BAYHATUN

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Environmental Engineering Programme

Supervisor : Prof. Dr. Burcu ONAT

Co-Supervisor : Prof. Dr. Aslı BAYSAL

In today's world, due to their features such as being safe, increasing the quality of transportation, efficiency, being common, and reducing traffic, underground railway systems are one of the most preferred transportation vehicles. Although, during the day people which using subway and railway systems spend very limited time in stations, exposure to air containing pollutants with high concentrations may occur health problems.

In this study, the elementel composition and microbial toxicity of $PM_{2.5}$ (particles smaller than 2.5 microns) sampled from the air in the platforms of 7 underground stations where the passenger quantity is high on the most preferred M2, M4, M5 and M7 lines in the Istanbul metro system was investigated. In this context, the effect of $PM_{2.5}$ on *Staphylococcus Aeureus* and *Klebsiella Pneumaniae* bacteria at exposure times of 30 minutes, 2 hours, 4 hours and 24 hours was investigated and the viability, activation and/or inhibition mechanisms of these bacteria were carried out through the main biochemical parameters (vitality, protein, carbonhydrate and

antioxidant). The relationship between the determined vitality and biochemical parameter results and some metals (Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn and Pb) contained in $PM_{2.5}$ were examined.

During the time that the vitality behaviors of *S. aureus* and *K.pneumonia*e were examined at different exposure times to $PM_{2.5}$, it was determined that $PM_{2.5}$ results were greater than 1 and induced viability metabolism in both species. It was observed that while protein mechanism with correlation coefficient values varying between 0.81 and 0.99 generally induce vitality metabolism,while carbohydrate and antioxidant mechanisms showed negative dependence and inhibition with correlation coefficient values varying between 0.67 and (-) 0.20.

During the time that the relationship between Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn and Pb metals and the viability and protein mechanisms of bacteria was examined, it was observed that these elements had negative effects for *S. aureus* and inducing effects for *K. pneumoniae*. As a result, it has been determined that $PM_{2.5}$ in the metro air has different effects on the investigated bacterial species depending on the exposure times and chemical characterization. It is important to conduct future studies on how the inducing effect of $PM_{2.5}$ in the metro air on pathogenic bacteria will affect the spread of diseases in indoor environments and/or the increase in disease duration.

June 2023, 91 pages.

Keywords: Metro, particulate matter, $PM_{2.5}$, toxicity, bacteria, exposure.

1. GİRİŞ

Yer altı raylı sistemleri (Metro sistemleri) dünyanın büyük şehirlerinde çok sayıda insanın tercih ettiği toplu taşıma araçlarındandır. Güvenli, hızlı, verimli ve yaygın olmaları büyük şehirlerde tercih edilmelerindeki en büyük etkenlerdendir (Guo vd,. 2014).

Metro sistemlerinde havalandırmanın kısıtlı olması ve bu sistemlerin kapalı birer ortam olması nedeniyle PM'in havada sürekli asılı kalması ve sürekli sirküle olması ile birlikte metro istasyonları özel bir mikro çevre olarak sayılabilmektedir (Guo ve diğ., 2014).

İstasyonun derinliği, havalandırma sisteminin özellikleri, istasyonlar arasındaki mesafe, istasyonun dış ortama yakınlığı ve yolcuların istasyona giriş kapılarının sayısı dış ortamdan istasyona giren hava miktarını etkilemektedir (Loxham ve Nieuwenhuijsen, 2019).

Metro istasyonlarında havadaki PM konsantrasyonu dış ortama göre daha fazla olabilmektedir. Yer altı raylı sistemlerinin üretiminde kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin üretim metotları PM konsantrasyonunu etkileyebilmektedir. Tekerleklerin ve frenlerin aşınması, üçüncü ray veya katener ile akım toplama aparatı arasında elektrik akımının ark oluşturması sebebiyle yer altı raylı sistemlerindeki hava kaba PM ($PM_{10\text{-}2.5}$; Medyan aerodinamik çap değeri 10-2.5 arasında), ince PM ($PM_{2.5}$<2.5 μm) ve ultra ince PM ($PM_{0.1}$;<0.1 μm) içermesinin yanı sıra; Demir (Fe), Krom (Cr), Nikel (Ni), Kobalt (Co), Mangan (Mn) ve Kadmiyum (Cd) gibi metalleri de zengin bir şekilde içermektedir (Loxham ve Nieuwenhuijsen, 2019).

Bu çalışmanın amacı, dış ortamdaki PM'den farklı karakterizasyona sahip olan metro havasındaki PM'in konsantrasyonunu ve elementel karakterizasyonunu tespit ederek seçili bakteri türleri üzerindeki etkilerini canlılık ve biyokimyasal mekanizmalar üzerinden incelemektir.

Bu kapsamda İstanbul ili Metro sisteminde yer alan M2, M4, M5 ve M7 metro hatlarında seçilen 7 istasyonun (Şişli, Levent, Yenikapı, Nurtepe, Ünalan, Kadıköy ve Ümraniye istasyonları) istasyon peronlarında $PM_{2.5}$ örneklemesi yapılmıştır. Toplanan $PM_{2.5}$ örneklerinin gravimetrik yöntemle 24 saatlik ortalama konsantrasyonları belirlenmiştir.

PM'in 30 dakika, 2 saat, 4 saat ve 24 saatlik maruziyet sürelerindeki, gram pozitif bakteri olan *Staphylococcus Aeureus* ve gram negatif bakteri olan *Klebsiella Pneumaniae* canlılık, protein, karbonhidrat ve antioksidan biyokimyasal tepkileri hesaplanarak toksisitesi ve canlılık ile biyokimyasal belirteçler (protein, karbonhidrat ve antioksidan) arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Ayrıca $PM_{2.5}$'un metal bileşimi tespit edilmiş ve bakterilerin canlılık ve biyokimyasal parametreler ile Alüminyum (Al), Baryum (Ba), Krom (Cr), Bakır (Cu), Demir (Fe), Magnezyum (Mg), Mangan (Mn) ve Kurşun (Pb) metalleri arasındaki korelasyonlar belirlenmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. HAVA KİRLİLİĞİNE GENEL BAKIŞ VE İÇ ORTAM HAVA KİRLİLİĞİ

Hava kirliliği insan sağlığını tehdit eden en önemli etkenlerden biridir. Hava kirliliği insan sağlığını olumsuz etkileyebilecek maddelerin veya çevresel dengeyi bozacak şekilde etkileyebilecek kirletici maddelerin havada bulunması olarak tanımlanmaktadır. Kirletici kaynakların bulunuyor olması ve meteorolojik koşullar ile ortamın coğrafik yapısının kirliliğe uygun olması atmosferik hava kirliliğinin meydana gelmesi için gerekli olan unsurlardandır (Zencirci ve diğ., 2017).

Kirletici kaynaktan atmosfere yayılan kirleticilerin insanlar tarafından solunarak vücuda alınması ile birlikte olumsuz etkileri de başlamaktadır. Ulaşım, uygunsuz yapılaşma, ısınma için yeterli kalitede yakıt kullanılmaması, sanayi tesisleri, taşıt egzozları ve termik santraller hava kirliliğinin başlıca kaynakları olarak kabul edilmektedir. Rüzgâr, sıcaklık, basınç ve nem gibi meteorolojik faktörler hava kirliliğine sebep olan bu kirleticilerin taşınmasında, seyrelmesinde ve/veya artmasında rol oynamaktadır. Hava kirleticilerinin insan sağlığı üzerindeki akut ve kronik etkileri bulunmaktadır,mega şehirlerdeki morbidite ve mortalite çalışmaları bu sebeple literatürde yoğun olarak mevcuttur. (Bayram ve diğ., 2006).

Hava kirleticilerinin çevreye ve insan sağlığına etkileri kirleticinin türüne, atmosferde bulunan miktarına ve atmosferde kalış süresine bağlı olarak değişmektedir. Bu konu ile ilgili yürütülen çalışmalarda hava kirliliğinin akciğer ve kalp hastalıkları başta olmak üzere pek çok olumsuz sağlık etkisinin olduğunu ortaya konulmuştur (Tecer, 2011). Yapılan çalışmalarda hava kirliliğinin çocuklarda akut solunum yolu enfeksiyonu riskini artırdığı, hava kirliliği ataklarına bağlı olarak kardiyorespiratuar morbidite ve mortalitede artışa neden olduğu gözlenmektedir. (Bayram ve diğ., 2006).

Karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO_2), azot oksitler (NO_x), formaldehit, sigara dumanı, radon, asbest, kurşun, uçucu organik bileşikler (UOB), çeşitli biyolojik, fiziksel ve kimyasal zararlı etkenlerin iç ortam havasında bulunuyor olması durumu “iç ortam hava kirliliği” olarak kabul edilmektedir. Yapılan birçok araştırmada iç ortamdaki kirleticilerin seviyesinin, dış ortama göre daha yüksek olduğu görülmüştür. İnsanların zamanlarının %90’ı gibi büyük bir kısmının iç hacimlerde geçirildiği ve bu hacimlerdeki kirleticilerin ortamdan

uzaklaştırılamadığı dikkate alındığında, iç hava kalitesinin neden önemli ve dikkat edilmesi gereken bir konu olduğu ortaya çıkmaktadır (Bulut, 2012).

İnsanların yaşamını sürdürdüğü konutlar, işyerleri, okul, hastane, resmi binalar, metro istasyonları gibi yapıların içinde bulunan hava iç ortam havası olarak kabul görmektedir. İç ortam havası uzun yıllar olumsuz iklim şartlarından etkilenmemeleri sebebiyle daha güvenilir kabul edilirken 1980 yılı ve sonrasında yapılan araştırmalarda ısınma, boya malzemeleri, yapı ve temizlikte kullanılan malzemelerden kaynaklanan kirleticiler gibi diğer faktörler sebebiyle bu yaklaşımın yanlış olduğu anlaşılmıştır. İç hava kalitesi, iç ortam havasının temizliği ile ilişkili olup karmaşık bir yapıya sahiptir. Her bir insan içinde bulunduğu ve soluduğu havayı farklı algılamaktadır. Bu fark sebebiyle iç hava kalitesini tarif etmek veya kati sınırlar çizmek zordur. Bu sebepten dolayı, "kabul edilebilir iç hava kalitesi" terimi ortaya çıkmıştır. ANSI/ASHRAE 62.2-2022 standardında kabul edilebilir iç hava kalitesi “içinde bilinen kirleticilerin, yetki sahibi kuruluşlar tarafından belirlenmiş olan zararlı konsantrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve bu hava içinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranın havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir memnuniyetsizlik hissetmediği havadır” olarak tanımlanmaktadır (Soysal ve diğ., 2007).

Yetersiz havalandırma NOx, CO, karbon dioksit (CO_2) gibi kirleticilerin ve aerodinamik çapı 10 μm’den küçük olan partiküllerin (PM_{10}) ortamda birikmesine sebep olmaktadır (Yang ve diğ., 2022).

2.2. PARTİKÜL MADDE

İnsan sağlığını olumsuz olarak etkileyen en önemli kirleticilerden biri olan PM’in olumsuz etkileri boyutu ile doğrusal orantılı olarak ilişkilidir. Ultra ince ve ince partiküller kaba partiküllere nazaran sağlık etkisi bakımından daha tehlikelidir. Bu sebeple, 1 μm’den küçük aerodinamik çapa sahip partiküllerin kimyasal yapısı insan sağlığı için büyük önem taşımaktadır. Partiküllerin yüzeyi, boyutu ve kimyasal bileşimi PM’in sağlık etkilerinin saptanabilmesi için önemli parametrelerdir (Karakaş, 2015).

PM çok çeşitli organik ve inorganik kirleticileri muhteva edebilmekte ve insan sağlığı açısından tehlikeli olabilmektedir. Yapılan epidemiyolojik çalışmalar PM çapının küçülmesi ile insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin artması arasında ilişki olduğunu göstermektedir (Brunekreef ve Holgate, 2002). PM’in sağlık etkileri çocuklar, yaşlılar ve solunum sistemi

rahatsızlığı bulunan kişiler gibi hassas gruplarda ve sağlıklı bireylerde maruziyet süresi, yaş cinsiyet gibi bireysel özelliklere göre değişkenlik göstermektedir (Karakaş, 2015).

PM spesifik bir kirletici değildir, karakterizasyonu ortamdaki partikül kaynaklarına göre değişkenlik gösterir. Şehir atmosferindeki PM kanserojendir (DSÖ, 2013). Yüksek konsantrasyonlardaki PM bileşenlerine bağlı olarak toksisiteye neden olabilmektedir. 2,5 μm ve altında aerodinamik çapa sahip $PM_{2.5}$ alveol duvarlarını aşındırır, akciğerlerin derinliklerinde birikebilir ve akciğer fonksiyonlarını engeller. Yapılan çalışmalar $PM_{2,5}$'un her 10 $\mu g/m^3$'lük artışında, genel mortalite ve kardiyopulmoner hastalıklarıve ayrıca akciğer kanseri sebebiyle ölümleri sırasıyla % 4, %6 ve %8 oranında arttığını göstermiştir (Amerikan Kanser Derneği, 2018). Metro sistemleri gibi havalandırması kısıtlı ortamlarda PM konsantrasyonlarının dışarıya göre daha yüksektir ve metro havasındaki PM'in insan sağlığı üzerindeki etkisinin izlenmesi büyük önem taşımaktadır (Yang ve diğ., 2022).

PM'in insan sağlığı açısından sebep olduğu olumsuz etkileri ile birlikte görüş mesafesini azaltmakta ve daraltmakta, ayrıca materyaller, bitkiler ve hayvan sağlığı üzerinde de olumsuz etkileri bulunmaktadır. PM bitkilerin büyümesini engelleyebilmekte ve ölümüne sebep olabilmektedir. Katı yakıtlar ve akaryakıt gibi karbonlu maddelerin tam yanmaması sonucunda meydana gelen PM'in görüş uzaklığını azaltıcı ve sanatsal ve mimari yapılar üzerinde tahribata yol açıcı ve bozucu etkisi bulunmaktadır. Bütün bu etkiler ile birlikte hava kirliliği canlıların sağlığı ve ekonomik açıdan zarar verici etkiye sahiptir (Gürbüz ve diğ., 2020).

2.2.1. PM'in Kaynakları

PM farklı boyutlarda ve yüzlerce farklı kimyasaldan oluşabilmektedir ve inşaat alanlarından, asfalt olmayan yollardan, tarlalardan, ev ve endüstriyel tesislerin bacalarından veya yangınlar doğal ve antropojenik kaynaklardan doğrudan yayılabilmektedir. Ayrıca atmosferde SO_2 ve NOx'ler gibi farklı kirleticilerin karmaşık reaksiyonları sonucunda atmosferde oluşmaktadır [URL1].

Partikül oluşum mekanizması iki farklı şekilde gerçekleşmektedir. Oluşum şekillerine bağlı olarak partiküller iki sınıfa ayrılmaktadır;

- Primer (Birincil) Partiküller: Kirletici kaynaktan direkt atmosfere salınmaktadır, PM kaynakları doğal veya antropojenik olabilmektedir. PM'in boyutları ise kaynaklarına göre farklılık göstermektedir (Müezzinoğlu, 2005).

- ❖ Sekonder (İkincil) Partiküller: Primer partiküllerin havaya salınması itibariyle havadaki diğer bileşenlerle kimyasal reaksiyonlara girmeleri sonucu sekonder partiküller oluşmaktadır (Müezzinoğlu, 2005).

2.2.2. PM'in Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

2.2.2.1. Fiziksel Özellikleri

PM'in atmosferde davranışlarının temel belirleyicisi boyutlarıdır. Partikül boyutu ile ifade edilen partikülün aerodinamik çapıdır. 1 g/cm^3 yoğunluğa, hareketsizlik özelliklerine sahip olan küresel partikülün çapı, partikülün taşınıp uzaklaştırılmasında, toplanması ve solunum yollarında birikim yapmasında son derece önemli olan aerodinamik çapı ifade etmektedir (Seinfield ve Pandis, 1998).

Partiküllerin boyutları değişken olmakta birlikte tanımlamaları farklı kategorilerde yapılmaktadır. Bu kategoriler ise ultra ince (aerodinamik çapı 0.1 μm'den küçük partiküller), ince (çapı 1 μm'den küçük olan partiküller) ve kaba (çapı 1 μm'den büyük olan partiküller) olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Poschl, 2005).

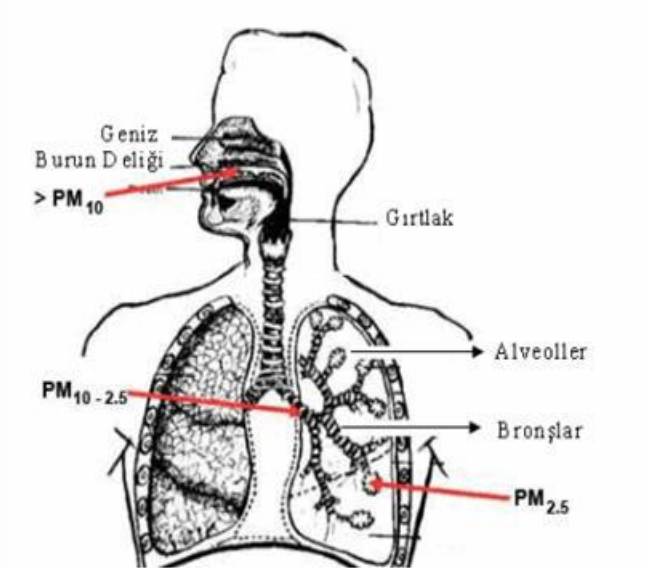
Toplam asılı partikül terimi ise çapı 40-50 μm'den küçük partiküllerin kütle konsantrasyonunu ifade etmektedir. US-EPA PM'i boyutlarına göre 5 farklı kategoriye ayırmaktadır. Bu kategoriler Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Partiküllerin US-EPA'ya göre sınıflandırılması (US-EPA, 2003).

Toplam asılı partiküler madde (TSP)	Arodinamik çapı 25-45 μm arasında ve havada asılı olan partikül maddelerdir.
PM_{10}	Aerodinamik çapı 10 μm'den daha küçük partikül maddelerdir. (D_{pa} < 10 μm)
$PM_{2.5}$	Aerodinamik çapı 2.5 μm'den daha küçük partikül maddelerdir. (D_{pa} < 2.5 μm)
1 μm'den küçük partiküller	Aerodinamik çapı 1 μm'den küçük partikül maddelerdir. (D_{pa} < 1 μm)
Yoğuşma yolu ile oluşan partiküller	Buhardan oluşan partikül maddelerdir.

D_{pa}: Partikülün aerodinamik çapı

10 mikrondan büyük partiküller gözle görülebilmektedir ve genellikle insanlarda burun ve boğaz içinde tutulmaktadır. Örnek olarak ise kül, karbon tozu, polen, cüruf ve insan saçı sayılabilmektedir. 1-10 mikron arası boyuttaki partiküller insanlarda bronşlara ulaşabilmektedir, bunlara örnek olarak ise bakteriler, kükürt tozu, boya pigmentleri veye süt tozu gösterilebilmektedir. Sigara, gres, yağ buharları virüsler gibi 1 mikrondan küçük partiküller alveollere kadar ulaşabilmektedir (Çalışkan, 2017). Farklı partikül çaplarına bağlı olarak insan vücuduna giren PM'in boyutları Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1: PM'in boyutlarına göre insan vücuduna girişi (Çalışkan, 2017).

2.2.2.2. PM'in Kimyasal Özellikleri

PM'in içeriği toplandığı örnekleme alanına göre farklılık gösterir. Bununla birlikte PM direkt partikülün oluşumunda var olan veya absorbsiyon, çözünme, yoğunlaşma gibi işlemlerle bileşen haline gelebilen bir takım genel unsurlara sahiptir. Bu bileşenler ise sülfat, nitrat, elementel karbon, organik karbon ve eser elementlerdir (Calvert ve diğ., 1983).

Toprak elementlerinden ve okyanuslardaki deniz tuzu elementlerinden meydana gelen kaba PM başlıca Si, Al, Fe, K, Ti, Mn ve Sr gibi elementleri muhteva ederken ince partiküller başlıca sülfat, nitrat, organik ve elementel karbon, amonyum iyonları ve çeşitli iz elementleri muhteva etmektedir (Pitts ve Pitts, 2000). Partiküller inorganik veya organik yapıda olabilmekte ve metal olmayan ve metal olan bileşenlerin bir araya gelmesi sonucu oluşabilmektedir (Harrison ve diğ., 2004).

2.2.2.3. PM'in İçeriğinde Bulunan Başlıca Metaller

İnsan sağlığı açısından zararlı olabilen ağır metaller havada bulunan partiküllerin % 0.01-3'ünü meydana getirmektedir. Fosil yakıtların yanması, endüstriyel işlemler, metal içerikli ürünlerin yakılması sonucunda atmosfer kirliliğinin bir kısmını oluşturan metaller ortama yayılırlar (Yılmazcan, 2010).

Yapılan çalışmalarda farklı kaynakların karakteristik elementi olarak bazı elementlerin daha baskın olduğu gözlemlenmiştir. Bu elementler aşağıdaki şekilde gruplandırılabilmektedir.

- Al, Fe ve Mn konsantrasyonu artışı mineral tozun ve yer kabuğu elementlerinin etkisini göstermektedir (Vallius, 2005).
- Fe, Pb, Mn, Cr ve Cu elementleri kömürlü elektrik santrallerin oluşturduğu uçucu kül mineral içeriğinde fazla miktarda bulunmaktadır (Schroeder ve diğ., 1987).
- Fe, Mn, Al ve Mg elementleri metal eritme kaynağını niteleyebilmektedir (Biswas ve diğ., 2004).
- Pb, Fe, Ba elementleri taşıt emisyonlarında sıklıkla bulunmaktadır (Sternbeck ve diğ., 2002).
- Pb ve Cu yağ yanması sonucu oluşan elementlerdir (Chow, 1995).

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen metallerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Bakır (Cu)

Uzun vadede birikimi insan sağlığı açısından tehlike olan Cu vücut için gerekli metallerden biridir. Uzun süreli maruziyet sonucunda ağız, göz ve burunda tahrişe sebebiyet vermekte ve baş dönmesi, ishal ve mide bulantısına sebep olabilmektedir. Yüksek dozda maruziyet sonucunda böbrek ve karaciğer rahatsızlıklarına yol açmakta ve ölümle sonuçlanabilmektedir (Boztepe, 1999).

Cu elementinin yüksek konsantrasyonlardaki kaynağı elektrik ve mekanik işlemlerdir. Motor emisyonları veya taşıt freninin yıpranması trafik kaynaklı Cu oluşumuna neden olmaktadır (Dündar ve diğ., 2005). Aynı zamanda kömür kullanımından, çöp yakılmasından, metal madenlerinden ve bakır rafinerilerinden kaynaklanan karakteristik elementler arasında bulunmaktadır (Lidia ve diğ., 2002).

Krom (Cr)

Sert bir yapıda olan ve beyaz-mavi renkli Cr metali doğada serbest halde bulunmamaktadır. Havada 0.1 μg/m^3, yer kabuğunda 122 mg/l seviyesinde bulunmaktadır. Deri tabaklama, metal kaplama, pigmentler, katalizörler, boyalar ve parlatıcı gereçlerde sıklıkla kullanılmaktadır (Altundağ, 2002; Kahvecioğlu ve diğ., 2004; Efeçınar, 2009).

Yetişkin bir insanın günlük Cr ihtiyacını karşılamak amacıyla bütün değerlikteki Cr'lar için günlük ortalama vücuda alım miktarı 30-200 μg olarak belirlenmişitr. Yapılan çalışmalarda solunum ve deri teması ile Cr'a maruz kalmada insanların çeşitli sağlık problemleri ile karşılaşmalarına karşın kesin sınır değerleri belirtilmemiştir (Altundağ, 2002; Kahvecioğlu ve diğ., 2004; Efeçınar, 2009).

Cr elementine (+3) veya (+6) değerlikli olarak rastlanabilmektedir. EPA (+6) değerliğe sahip olan Cr'u (Cr(VI)) A sınıfı kanserojen madde olarak ve (+3) değerliğe sahip olan Cr'u (Cr(III)), D sınıfı olarak (kanserojen olmayan) sınıflandırmaktadır.

Literatürde ise toplam Cr içinde mevcut olan Cr(VI) ve Cr(III) arasında 1/6 oran olduğu belirtilmektedir (Park ve diğ., 2008; Hieu ve Lee, 2010; US EPA, 1998). Cr(III) bileşikleri sınıf 3 kanserojen (IARC 1990), Cr(VI) bileşikleri ise sınıf 1 (IARC, 2012) kanserojendir.

Mangan (Mn)

Grimsi renkli, sert ve kırılgan bir metal olan manganin atom numarası 25'tir. Çeliğin dayanımını arttıran bir alaşım elementi olan mangan, çelik endüstrisinde ve pil üretiminde, demiryolu makas ve kasaların üretiminde ve seramik sanayisinde kullanılmaktadır. Permanganat (MnO_4) güçlü bir oksitleyicidir, nicel analizlerde ve eczacılık çalışmalarında kullanılmaktadır (TÜBİTAK, 2010).

Demir (Fe)

Metalik gri renge sahip olan demir elementi 26 atom numarasına sahiptir ve yeryüzünde en fazla bulunan elementlerden dördücüsüdür. Çelik sanayisinin hammaddesi olarak kullanılmaktadır (Efeçınar, 2009; Özkan, 2009).

Çoğunlukla karbon ve diğer metallerle alaşım olarak kullanılmakta olan Fe, inşaat faaliyetlerinde beton kolon ve kirişlerin güçlendirilmesi için kullanılmaktadır. Aşırı dozda Fe maruziyetinin altı yaş ve daha küçük çocuklarda ölüme sebebiyet verdiği daha önce yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur. Vücut ağırlığının 200-250 mg/kg'ı ağız yolu ile alınan demirin öldürücü dozudur (Efeçınar, 2009; Özkan, 2009).

Kurşun (Pb)

Mavimsi veya gümüş renkli, yumuşak bir metal olan Pb'in atom numarası 82'dir. Doğal bir element olan demir toprak ve bitkilerde eser miktarlarda bulunmaktadır. Fazla miktarda Pb maruziyeti bitkiler, hayvanlar ve toprak için toksik ekilere sebep olmaktadır. Pb, atmosfere metal veya bileşik olarak yayılması ve her durumda toksik özellik taşıması sebebiyle çevresel kirlilik yaratan en önemli ağır metaldir (Kahvecioğlu ve diğ., 2004; Çavuşoğlu ve diğ., 2006).

Başlıca kaynakları olarak endüstriyel prosesler sırasında oluşan tozlar ve Pb içeren yakıtların dumanları sayılmaktadır. Yakma fırınları, madenler ve fosil yakıtların kullanıldığı endüstriyel prosesler Pb'nin atmosfere yayılımına sebebiyet vermektedir. Solunum, sindirim veya deri yoluyla kurşun insan vücuduna girebilmektedir. Solunum ve sindirim sistemleri yoluyla vücuda alınan Pb parçacık çapı, maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kişinin yaşı, fizyolojik durumu, beslenmesi ve hijyen alışkanlıkları Pb'nin solunum ve sindirim sitemleriyle vücuda girmesini etkileyen faktörler arasında parçacık çapı, maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kişinin yaşı, fizyolojik durumu, beslenmesi ve hijyen alışkanlıkları gibi özellikleri sayılabilir (Çalışkan, 2017).

Alüminyum (Al)

Yer kabuğu elementlerinden biri olan alüminyum öncelikli olarak yer kabuğunun mekanik etkiler ve faaliyetler ile birlikte aşınması sonucunda aerodinamik çapı 2,5-10 μm boyutunda kaba partikül olarak, sonra ise aerodinamik çapı 2,5 μm'den küçük ince partiküller olarak meydana gelmektedir (Watson ve diğ., 2011; Chao ve Wong, 2022).

Yüksek miktarda maruziyeti sonucunda insanların böbrek fonksiyonlarında bozulmalara, mesanede bir çok tahribata sebep olabilmektedir. Vücudun çeşitli organlarında birikebilir, bunlar iskelet sistemi, akciğer, böbrek, kalp, kas, dalak ve beyindir (Boztepe, 1999).

Fosil yakıt kullanımı, biyokütle yangınları gibi sebeplerden kaynaklı oluşabilmektedir. Literatürde alüminyumun kömür için baca gazında 30 μg/m^3, yerden kalkan tozlarda 10000 μg/m^3 konsantrasyonlarında bulunduğu belirtilmektedir (Müezzinoğlu, 2005).

Baryum (Ba)

Baryum doğal ortamda her yerde rastlanabilen, orta veya düşük konsantrasyonlarda bulunan bir toprak alkali metaldir. Genelde yieceklerde ve içme sularında iz element olarak bulunmakla birlikte son yıllarda tıbbi ve endüstriyel amaçla kullanımı artış göstermektedir (Brooks, 1986; Kresse ve diğ., 2007).

Gümüşi renkli, yumuşak bir metal olan Ba ve Ba bileşiklerinin üretimi genel olarak baritten başlamaktadır. Barit ($BaSO_4$) en önemli Ba bileşiği olarak bilinmektedir. Uçucu baryum bileşikleri alevleri yeşil ve soluk bir renge çevirmektedir, bu özellik ise Ba için kullanılan basit nitelik testi olmaktadır. Genel olarak ham petrol ve doğal gaz arama amacıyla sondaj sıvılarında kullanılmaktadır. Ayrıca boya ve cam yapımında da kullanılmaktadır (Kresse ve diğ., 2007).

İnsanların Ba maruziyeti uçucu organik bileşikler, dizel parçacık içeren uçucu organik madde ile hava kirliliği, toprak kirliliği, ağır metaller gibi etkiler sebebiyle olmaktadır. (Kovats ve diğ., 2014; Jackson ve diğ., 2013; Fontenot ve diğ., 2013). Fren balatalarında dolgu ve güçlendirici malzeme olarak Ba kullanılmaktadır (Topuz, 2007)**.**

Magnezyum (Mg)

Mg doğada Al ve Fe'den sonra fazlasıyla yaygın bulunmaktadır ve cevher olarak dolomit ve magnezit adıyla sırasıyla $MgCO_3.CaCO_3$ ve $MgCO_3$ formunda mevcutken tuzlu yer altı sularında, deniz suyunda ve yer üstü tuz çökeltilerinde klorür bileşiği şeklinde bulunmaktadır (Atalay, 2006).

Mg alaşımları yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Özgül dayanım ve özgül rijitlik değerlerinin alüminyum alaşımlarından yüksek olması ve çeliğe kıyasla 2 kat civarında olduğu gözlemlenmektedir (Atalay, 2006). Mg'nin korozyon mukavemetini geliştirmek ve bununla birlike boyama esaslı özelliklerini iyileştirmek için de uygulanan dönüşüm kaplamalarında altlık metal oksitler, kromatlar, fosfatlar veya yüzeye kimyasal olarak bağlanan diğer bileşiklerden meydana gelen bir tabaka teşkil edilerek malzeme yüzeyinin kimyasal ya da elektrokimyasal olarak işlem görmesi sağlanmaktadır (Kelen, 2023).

2.3. PM'İN SAĞLIĞA ETKİLERİ

Eski çağlardan bu yana kötü hava kalitesi ile insan hastalıkları arasındaki ilişki kabul edilmiş olmasına rağmen hava kirliliğinin sağlık üzerine olan etkilerinin bilinci 20. yüzyılda dünya genelinde oluşmaya başlamıştır (Nemery ve diğ., 2001).

PM'in iklim değişikliğinin ana etkenlerinden biri olmakla birlikte insan sağlığı açısından toksisite kaynağıdır. Üst atmosferde dünyaya gelen radyasyon miktarını etkilemekte ve hava kirleticileri için bir reaksiyon merkezi görevini üstlenmekte iken alt atmosferde biyokiyasal döngüleri değiştirmekte ve insanlarının görüşü kısıtlamaktadır. PM'in en ciddi etkileri ise insan sağlığını bozduğu ortam havasında görülmektedir (Mukherjee ve Agrawal, 2017).

DSÖ, PM'in dünya genelinde 13. önde gelen ölüm sebebinden biri olduğunu ve her yıl yaklaşık 800.000 erken ölüme sebep olduğunu öne sürmektedir. Yapılan diğer çalışmalarda ise ölüm oranları ile PM konsantrasyonu arasındaki ilişkinin başta düşünülenden çok daha fazla olduğunu göstermektedir (DSÖ, 2002).

PM'ler boyutlarına göre sınıflandırılmaktadır ve insan sağlığını tehdit etmektedir. PM'in vücuda vereceği etkiler de kimyasal karakterizasyon ve partikül çapına göre değişiklik göstermektedir (Çalışkan, 2017).

Solunum, deri ve besin yoluyla PM insan vücuduna girmektedir. PM'in etkileri en çok solunum sisteminde görülmektedir, bu sebeple en çok öneme sahip olan yol solunum yolu olmaktadır. PM'in boyutlarına bağlı olarak solunum siteminde tutundukları yerler farklılık göstermektedir. Aerodinamik çapı 10 μm'den büyük partiküller büyük ölçüde burun ve üst solunum yollarında tutulmaktadır ve nispeten daha az bir süspansiyon yarılanma ömrüne sahiptir (Anderson ve diğ., 2011).

Uzun süreli PM maruziyetinin kardiyovasküler hastalık, kanser, hipertansiyon, obezite ve diyabet gibi hastalıklara bağlı olarak ölüm ile güçlü bir ilişkisi bulunmaktadır. Maruziyet sonucunda etkiler daha çok gebelikte kan basıncı ve diyabet şeklinde görülmektedir. PM içerisinde bulunan ağır metaller ve elementel karbon bunlara sebep olabilmektedir. Nedeni bilinmeyen solunum sorunları, kalp krizi, böbrek yetmezliği, yüksek tansiyon ve akciğer sorunları PM maruziyetine atfedilmektedir. (Alemayehu ve diğ, 2020)

Yapılmış olan vaka ve kontrol çalışmalarında $PM_{2.5}$'teki 10 μg/m^3 artışın bebeklerde bronşit nedeniyle hastaneye yatışlarda %9'luk artış ile ilişkili olduğu gözlemlenmiştir (Karr ve diğ., 2006). Pediatrik çalışmalar, PM'deki artışlar için astım sebepli acil servis ziyaretlerinin arttığını ve 6.5 μg/m^3'lük PM_{10} artışı ile birlikte solunumla ilişkili hastaneye yatışlarda %15'lik artışla ilişkili olduğunu gözlemlenmiştir (Lin ve diğ., 2005).

Yapılan birçok epidemiyolojik çalışmada atmosferim PM'in kişiler tarafından solunması sonucu vücuda alınımıyla birlikte solunum yolu rahatsızlıkları ve kalp rahatsızlıkları için hastaneye yatış ve ölüm sayıları arasında ilişki olduğu saptanmıştır (Karanasiou ve diğ., 2012).

PM'in çeşitli sağlık sorunları üzerindeki etkileri (%95 güven aralığında) Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2: PM'in çeşitli sağlık sorunları üzerindeki uzun vadeli etkileri.

Partikül Fraksiyonu	**Konsantrasyon (μg/m^3)**	**Sağlık Etkisi**	**Etkisi (95% Güven aralığında)**	**Kaynak**
$PM_{2.5}$	10	Bebeklerde Bronşit	9% (4–14)	Karr ve diğ., 2006
$PM_{10–2.5}$	6.5	Pediatrik Solunum Yolu Rahatsızlıkları	17% (6–29)	Lin ve diğ, 2005.
PM_{10}	10	Pediatrik Astım	2.54% (0,06–5,08)	Samoli ve diğ., 2011
$PM_{10–2.5}$	10	Solunum Yolu Rahatsızlıkları	0.33% (−0,21–0,86)	Peng ve diğ., 2008
$PM_{2.5}$	10	Kronik obstrüktif akciğer hastalığı,	1.61% (0.56–2,66)	Dominici ve diğ., 2006
$PM_{2.5}$	14.6	Pediatrik Solunum Yolu Rahatsızlıkları	4.1% (1.8–6.4)	Ostro ve diğ., 2009

10 μm’den küçük partiküller insan akciğerlerine ulaşırken 2.5 μm’den küçük boyuta sahip partiküller akciğer alveollerine kadar ulaşabilmektedir. 0.5 μm’den küçük partiküller akciğerin en uç noktalarına ulaşarak buraya yerleşmektedirler. 0.5 μm’den küçük partiküller söz konusu olduğunda difüzyon önemli olmaktadır. Partikül çapı küçüldükçe akciğerde yol aldığı mesafe artmakta ve bu partiküllerden boyutu çok küçük olanlar akciğerin merkezinden uzak noktalara daha kolay ulaşmaktadır (Wilson ve Spengler, 1996).

PM’in kimyasal özellikleri de insan sağlığını etkilemektedir. Hg, Pb, Cr, Cd ve Ni gibi elementler, PAH vb. organik kimyasallar, kül ve kurum benzeri maddelere uzun süre maruz kalmak kanserojen etki göstermektedir (Süren, 2007). PM’in bileşenleri insan akciğerlerinde nemle ile birleşmekte ve aside dönüşebilmektedir (Öztürk, 2008).

2.4. METRODA SOLUNABİLİR PARTİKÜLLERİN ÖZELLİKLERİ, KAYNAKLARI VE KİMYASAL BİLEŞİMİ

Hava kirliliği dünyanın atmosferinde bulunan doğal bileşenleri sahip olan ve olmayan tüm maddeleri içermektedir. Dünya atmosferi asit yağmuru, kimyasal bileşenlerin buhar ve gazlarını, toz, kül ve biyolojik kirleticiler gibi etkenler ile oluşmaktadır (EEA, 2018).

Biyolojik hava kirleticiler biyoaerosol olarak bilinmektedir (Mainelis ve diğ., 2004). Sıvı, partikül ya da organik bileşik halinde bulunabilen bakteriyel hücrelerden, mantar sporlarından, virüslerden, mikrobiyal mekanizma yan ürünlerinden meydana gelmektedir (Stetzenbach ve diğ., 2004).

Biyoaerosoller boyutu 1 ile 200 μm arasında değişen parçacıklardan meydana gelmektedir (Menetrez ve diğ., 2007). 1 ile 5 μm arasındaki biyoaerosoller havada asılı kalmakta ve daha büyük boyuta sahip olan biyoaerosoller ise yüzeylere yerleşme veya tutunma eğilimi göstermektedir (Stetzenbach ve diğ., 2004).

Solunabilen biyoaerosoller 7 μm'den küçük fraksiyon olarak tanımlanmaktadır. Solunabilen biyoerosollerin insan sağlığına ciddi etkileri bulunmaktadır. Solunan havanın insanların solunum yoluna nüfuz edebilme kabiliyetine sahip olması ile birlikte en ufak parçacıklar bronşçuklara ulaşabilmektedir (Chmiel ve diğ., 2015).

Menteşe ve arkadaşlarının Ankara'da gerçekleştirmiş olduğu bir çalışmada biyoaerosol örnekleri evlerin salon, mutfak ve banyosu, okul, kreş, kafe,restoran, spor salonu, kütüphane, ofis ve yemekhanelerden alınmıştır. Yapılan analizler sonucu en sık gözlemlenen bakteri türlerinin *Micrococcus, Staphylococcus* ve *Bacillus* türleri olduğu tespit edilmiştir. Dış ortam biyoaerosol konsantrasyonlarının iç ortam konsantrasyonlarına kıyasla 2 kat daha az olduğu yine aynı çalışma sonucunda bulunmuştur (Menteşe ve Güllü, 2009).

Biyoerosol türlerinden biri olan ve biyofilm üretimi için çok sayıda moleküler tetikleyicisi bulunan *S. aureus* bakterisine ait biyofilmler kronik akciğer hastalığına sahip bireylerin akciğerlerinde bulunmuştur (Cullen ve McClean, 2015; Shimizu ve diğ., 2015). Epidemiyolojik çalışmalar sonucunda ise *S. aureus*'in insanlarda pnömoniye, meninjit, endokardit, veya toksik şok sendromuna sebep olduğu bilinmektedir (Franklin, D., ve Lowy, M.D., 1998; Saygın ve Baysal 2020).

2.4.1. *S. aureus* ve *K. pneumoniae* Türü Bakteriler ve Özellikleri

Günümüz yaşantısı ve çalışma şartları mikroorganizmaların hızlı bir şekilde çoğalmaları için uygun ortamlar sunmaktadır. İnsan vücudunda, havada, toprakta ve tüm yüzeylerde bulunan mikroorganizmalar uygun şart ve koşullarda hızlı bir şekilde üreyip çoğalmaktadır (Süpüren ve diğ., 2006).

İnsan sağlığına tehlikeli etkileri bulunan patojen mikroorganizmaların çoğalmalarının engellenmesi gerekmektedir (Süpüren ve diğ., 2006). *S. aureus* ve *K. pneumoniae* türü bakterilerin patojenik durumları ve neden oldukları olumsuz etkileri Tablo 2.3'te özetlenmiştir (Saygın ve Baysal 2021; Saygın ve Baysal 2020; Altınok vd., 2008).

Tablo 2.3: Mikroorganizmaların patojenik durumları ve sebep oldukları rahatsızlıklar (Altınok vd., 2008).

Mikroorganizma	Patojeniik Durum	Etkileri
K. pnuemoniae	Patojen	Zatürre, İdrar Torbası Enfeksiyonu, Septisemi.
S. aureus	Patojen	Toksik Şok, Cerahat Toplama, Apse, Fibrin Pıhtılaşması, Endokardit.

Eubacteria âlemi, Firmicutes şubesi, Bacilli sınıfı, Bacillales takımı, Staphylococcaceae ailesi içerisinde yer alan *Staphylococcus* cinsi bakteriler, ciddi birer enfeksiyon sebebidir. 30'dan fazla türe Staphylococcus genusu ev sahipliği yapmaktadır (Dworkin ve diğ., 2007; De Vos ve diğ., 2009).

Yuvarlak, 0.5-1.5 μm çapa sahip, genelde düzensiz kümeler halinde olmakla birlikte bazen tetrat, ikişerli kok ya da bireysel koklar şeklinde görülmektedir. Gram pozitif bir bakteri türüdür. *S. aureus* genelde hareketsiz, fakültatif aerobik, yüksek konsantrasyonda tuz içeren besiyerlerinde ve 18-40ºC aralıklarında üreyebilme kabiliyetine sahip bakteri türüdür (Koneman ve diğ., 1997; Murray ve diğ., 2012).

Stafilokoklar insan ve hayvan sağlığını tehdit eden çeşitli enfeksiyonlara neden olmaktadır. Egnel enfeksiyonlardan (folikülit, fronkülit, Ritter hastalığı, impetigo, tonsilit, stafilokok anjinleri, pnömoni, sepsis, endokardit, tromboflebit, otitis media, menenjit, perinefritik apse vb.), ameliyat sonrası yara enfeksiyonlarına, osteomiyelit gibi rahatsızlıklara *S. aureus* neden olmaktadır (Smeltzer ve diğ., 2000).

Çevresel kaynaklarda yaygın olarak bulunan *S. aureus* türü bakteriler ortam şartlarına oldukça dayanıklıdır. Bu tür bakterilerin patojen özellikleri, biyofilm tabakasının hücre içerisine partikül yada diğer bir hücre almasına karşı dirençli olan biyofilm tabakası ile birleştiğinde artmaktadır. Bu ise öncelikli patojenler arasında yer almasındaki en büyük etmendir (Yüksekdağ ve diğ., 2013).

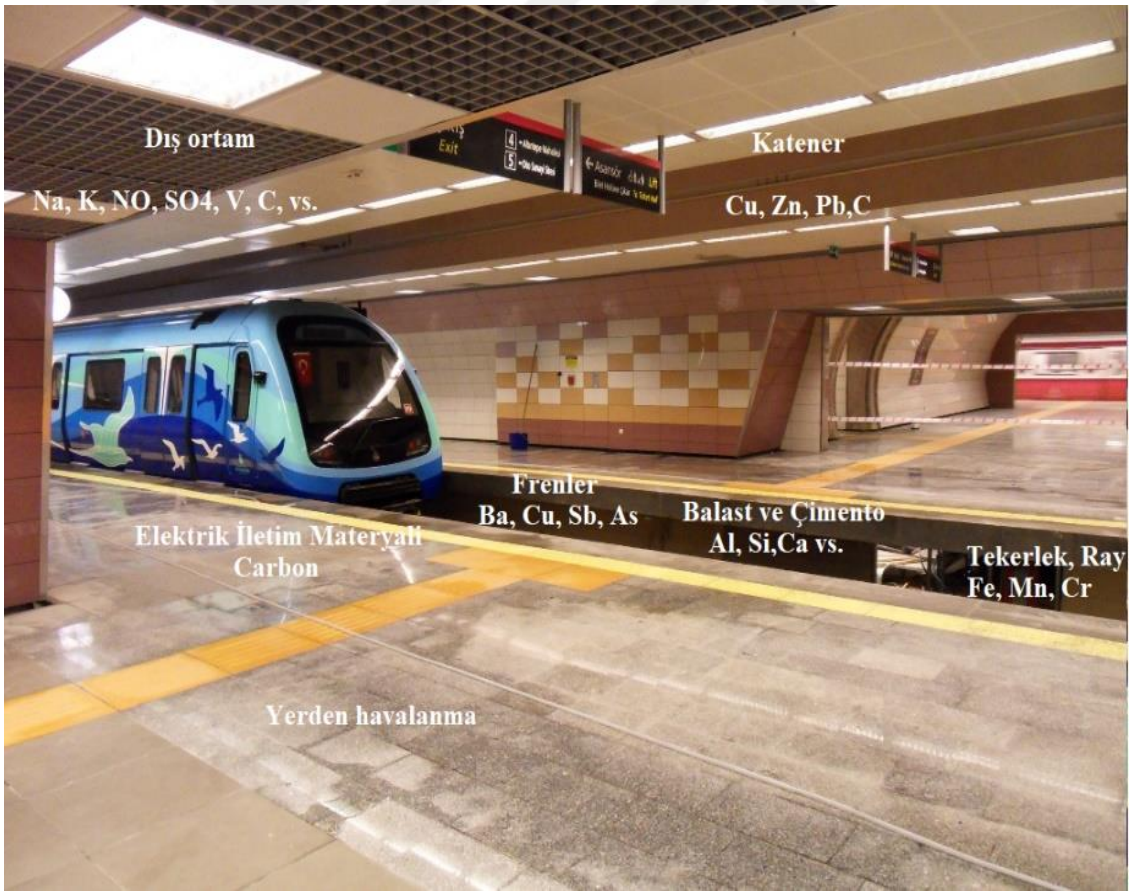
K. pneumoniae türü bakteriler *Enterobacteriaceae* ailesi içerisinde, gram negatif, kapsülle çevrili, çevrede bulunan, hareketsizve insan sağlığı açısından son derece önemli olan nazokomiyal enfeksiyonlara, üst solunum yolu enfeksiyonlarına, üriner sistem enfeksiyonlarına, yara enfeksiyonlarına ve antibiyotik dirence sebep olan patojenlerdendir (Alay ve diğ., 2014; Ashurst ve Dawson, 2023).

2.4.2. Metroda Solunabilir Partiküllerin Özellikleri, Kaynakları ve Kimyasal Bileşimi

Metro havasının içeriğinde asılı olarak solunabilir partiküller bulunmaktadır, bu partiküllerin kaynakları ise metroda tren hareketi, havalandırmadan kaynaklanan türbülans ve yolcuların metro içindeki hareketi gibi farklı kaynaklardır. Metro PM'inin çoğu yeraltı sistemlerinin kendisi tarafından üretilmektedir. Metro havasındaki PM'in konsantrasyonu ve kimyasal bileşimi, dış hava kalitesi, istasyon ve tünel tasarımı, metro içerisindeki tekerlek, raylar, fren

balataları, mevcut besleme malzemeleri gibi bileşenlerin kimyasal bileşimi, frenleme mekanizması, tren hız ve sıklığı, havalandırma sistemi, diğer operasyonel koşullar gibi çok sayıda faktörle ilişkilidir (Johansson ve Johansson, 2003; Kwon ve diğ., 2015; Moreno ve diğ., 2014; Park ve Ha, 2008; Ripanucci ve diğ., 2006; Salma ve diğ., 2007).

Metro kaynaklı PM çoğunlukla tekerlekler ve fren balataları gibi hareketli tren parçalarının yanı sıra çelik raylar ve güç kaynağı malzemeleri arasındaki sürtünmeden kaynaklanmaktadır ve bu sürtünme metalik partiküllerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu malzemelerden kaynaklanan demirli ve karbonlu partiküller balast, filtre edilmemiş dış ortam havası, trenin hareketi ve havalandırma sistemleri ile tünel sisteminden havanın taşınması gibi kaynaklardan yayılan partiküller ile karışarak metro PM'ini oluşturmaktadır. Metro içerisindeki kaynaklar sebebiyle solunabilir PM üretilmektedir, bu nedenle dış ortam havasındaki PM'den önemli ölçüde farklıdır (Onat, 2022). Bir metro istasyonunda PM'in başlıca kaynakları Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2: Bir metro istasyonunda PM'in başlıca kaynakları.

2.5. METRODA PM TOKSİSİTESİ VE ELEMENTEL BİLEŞİMİ İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Metro istasyonlarındaki PM'in bileşenler ve toksisitesi konusunda yurtdışında ve Türkiye'de birçok çalışma yapılmış olup, son yıllarda bu çalışmaların sayısı artmıştır. Bu çalışmalar genelde yeraltı raylı sistemlerini, PM kaynaklarını ve insan sağlığı risklerini kapsamaktadır. Ancak hücresel (bakteriler, mantarlar, insan hücreleri vb.) etkileşimleri ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Johansson ve diğ. (2002) tarafından yapılan çalışmada Stockholm merkezindeki bir metro istasyonunda 2 hafta boyunca ölçüm $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonları ölçülmüştür. Hafta içi 07.00 – 19.00 saatleri arasında yapılan ölçümler sonucunda PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonları sırasıyla 470 $\mu g/m^3$ ve 260 $\mu g/m^3$ olarak bulunmuştur. Bu ölçümler sonucu elde edilen verilerin şehrin en işlek caddesinde ölçülen konsantrasyonlardan 5 kat ve 10 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Cumartesi ve pazar günleri yapılan ölçüm sonucunda konsantrasyonların, tren seferlerinin daha seyrek olması nedeniyle azaldığı görülmüştür (Johansson & Johansson, 2002).

Minguillón ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada Barselona metro ağında bulunan 11 metro istasyonunda geniş kapsamlı bir aerosol görüntüleme çalışması gerçekleştirilmiştir. $PM_{2.5}$ örnekleri toplanmış ve iz element, organik iyon ve toplam karbon miktarını belirlemek için kimyasal analizler yapılmıştır. Çalışmada fren balataları, raylar ve pantograf gibi metro bileşenlerinin kimyasal bileşenleri belirlenmiştir. Metro $PM_{2.5}$'u eski istasyonlar için esas olarak Fe_2O_3 (%30–66) ve karbonlu madde (%18–37)'den oluşurken, Platform Ekran Kapıları (PSD) ile donatılmış yeni istasyonlar için bu yüzdelerin Fe_2O_3 için %21–44'e, karbonlu maddeler için %15-30'a düştüğü gözlemlenmiştir. Çalışmada elde edilen verilen her istasyon için farklılık göstermektedir, bunun sebebi ise her istasyondaki farklı tiplerde kullanılan frenler ve/veya pantograflar gibi etkenlerin kimyasal bileşenlerinin birbirinden farklı olmasıdır.

Kappelt ve diğ. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada Kopenhag metrosunda 25 yer altı istasyonu ve 14 yer üstü istasyonunda $PM_{2.5}$ ve karbondioksit (CO_2) konsantrasyonları ölçülmüştür. Yer altı istasyonlarında ölçülen ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonu 115 $\mu g/m^3$'tür. 2021 yılında açılmış olan M3 kapalı çevrime sahip olan hatta yapılan ölçüm sonucu $PM_{2.5}$ konsantrasyonu 152 $\mu g/m^3$ bulunmuştur. Bu durum açıklığa sahip trenlerde PM konsantrasyonun daha az olduğunu göstermektedir. Duraklarda kullanılan havalandırma sistemleri PM ve CO_2 konsantrasyonlarının düşmesine sebep olmuştur. Çalışmanın sonucu

olarak benzer metro sistemlerinde temiz hava beslemesini sağlamanın, kaynak kontrolü gerçekleştirmenin ve gerekli önlemler alınmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

Perales ve diğ. (2004) tarafından Meksiko City'deki metro sisteminde gerçekleştirdiği bir çalışmada $PM_{2.5}$ ölçümleri yapılmıştır. Sabah ve akşam yoğun olan saatlerde ortalama $PM_{2.5}$ değeri 61 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Çalışmada partikülün kimyasal bileşimi de belirlenmiş olup sabah ve akşam saatlerinde $PM_{2.5}$'un en büyük bileşeninin aynı zamanda toplam kütlesinin %10'unu oluşturan organik karbon olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek konsantrasyonlarda Fe, Cu, Silisyum (Si) ve Kükürt (S) elementleri de ölçülmüştür..

Birenzvige ve diğ. (2003) tarafından 1999 yılında Washington DC'de gerçekleştirilen bir çalışmada metroda trenlerin sefer sıklıklarının PM konsantrasyonu üzerinde etkilerinin bulunduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada PM konsantrasyonunun tren seferlerinin başladığı saat 05:30'dan itibaren artarak en yüksek konsantrasyonuna saat 08:00'de ulaştığı görülmüştür. Ayrıca baskın element olarak Fe ve NaCl (tuz) saptanmıştır. Saptanan demirin tren ray ve frenlerinden kaynaklandığı ve kış döneminde meydana gelen don olayının engellenmesi için kullanılan tuzun ise yağış sonrası yayılmasından kaynakladığı kabul edilmiştir.

Aarnio ve diğ. (2005) iki haftalık periyotta Finlandiya'nın başkenti Helsinki'de yer alan bir metroda $PM_{2.5}$ ölçümleri gerçekleştirmiştir. Çalışmada partikül sayısı hesaplanmış ve $PM_{2.5}$ örnekleri, elementel bileşimi ve karbon oranı belirlenmesi amacıyla analiz edilmiştir. $PM_{2.5}$ günlük ortalama konsantrasyonları iki metro istasyonu için sırasıyla 47±4 ve 60±18 $\mu g/m^3$, dış ortam için 19±6 $\mu g/m^3$ ve 21±4 $\mu g/m^3$ olarak bulunmuştur. Siyah karbon konsantrasyonu 6.3±1.8 $\mu g/m^3$ olarak gözlemlenmiştir. $PM_{2.5}$ örneklerinde en çok bulunan element Fe'dir ve konsantrasyonu metroda 29±7 $\mu g/m^3$, dış ortamda 0.7±0.3 $\mu g/m^3$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca Mn, Cr, Ni ve Cu elementleri de tespit edilmiştir.

Boudia ve diğ. (2006) tarafından Kanada - Montreal'de gerçekleştirilen bir çalışmada dış ortamı farklı trafik yoğunluklarında olan üç metro istasyonunda solunabilir Mn ($Mn<5$ $\mu g/m^3$) ve toplam Mn örneklemesi yapılmıştır. Metrolara benzin içeriğinde mevcut olan MMT (metilsiklo pentadien mangan trikarbonil)'nin etkisi üzerine çalışılmıştır.

Tünel yapı malzemeleri ve araçlar Mn'ın metrolarda olası kaynakları olduğu, ancak asıl kaynağın filtreleme işlemine uğramayan ve havalandırma sistemiyle dışarıdan metroya verilen hava olduğu çalışmada belirtilmiştir. Trafik yoğunluğunun az olduğu bölgede düşük Mn konsantrasyonu (0.018-0.032 μg/m^3), trafik yoğunluğunun fazla olduğu bölgede bulunan metroda ise yüksek Mn oranları (>0.05 μg/m^3) gözlemlenmiştir. Metrolarda maruz kalınan hava kalitesinin dış hava kalitesiyle doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir.

Metroda tren içinde yapılmış çalışmalarda tren içindeki PM konsantrasyonlarının perondaki konsantrasyonlardan daha düşük olduğu ve genellikle 20-45 μg/m^3 arasında değiştiği görülmüştür Vagonda klima kullanımı, vagonda açılabilen pencere bulunması, metronun farklı tasarım özelliklerine sahip olması, PAKS sistemine sahip yeni metro hattı olması gibi etkenler bu değişikliğe sebep olmaktadır. Yapılan bir çalışmada Barselona'da klima bulunan vagonlarda $PM_{2.5}$ konsantrasyonun perondaki konsantrasyonlardan yaklaşık %15 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. PAKS bulunmadığında, peron havası ile tren vagonu havası arasındaki etkileşim olduğu Barselona, Prag ve Taipei'de gösterilmiştir. Taipei'de tren içi ve perondaki $PM_{2.5}$ konsantrasyonları arasındaki korelasyon R2 = 0,75 olarak bulunmuştur (Onat ve diğ., 2022).

Dünyada farklı şehir metrolarındaki $PM_{2.5}$ konsantrasyonları Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4: Dünyada farklı şehir metrolarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonları (Onat ve diğ., 2022).

	$PM_{2.5}$		
	Peron	**Tren içi**	
Şehir	**µg/m³**		**Kaynak**
Amsterdam	75		Loxham ve diğ. (2013)
Atina	68	83-125	Martins ve diğ. (2016)
Barselona	46[1]-125	17-32	Querol ve diğ. (2012)
Barselona	21-93	11-99	Martins ve diğ. (2015, 2016)
Boston	67		Levy ve diğ. (2002)
Budapeşte	33		Salma ve diğ. (2007)
Helsinki	47-60	21	Aarnio ve diğ. (2005)
Hong Kong		21-48	Chan ve diğ. (2002)
İstanbul	50-213	40-45	Şahin ve diğ., (2022); Onat ve Stakeeva, (2013)
Londra		157-247	Adams ve diğ. (2001)
Londra	270-480	130-300	Seaton ve diğ., 2005
Los Angeles	57	24	Kam ve diğ. (2011, 2013)
Mexico City	48		Mugica-Alvarez ve diğ. (2012)
Napoli	45-60	18-36	Carteni ve diğ. (2015)
New York	62		Chillrud ve diğ. (2004)
Oporto (Portekiz)	84	45-54	Martins ve diğ. (2016)
Paris	35-93		Raut ve diğ. (2009)
Prag	94		Cusack ve diğ. (2015)
Seul	129	126	Kim ve diğ. (2008)
Seul	58[5]-66[6]		Kim ve diğ. (2012)
Seul		58[7]-81[8]	Kim ve diğ. (2014)
Seul	129[9]-219[10]		Son ve diğ. (2014)
Seul	52-83		Kwon ve diğ. (2015)
Şangay	287		Ye ve diğ. (2010)
Şangay	82-178		Guo ve diğ. (2014)
Şangay	49-66		Lu ve diğ. (2015)
Stockholm	258		Johansson ve Johansson, (2003)
Stockholm	60		Midander ve diğ. (2012)
Taipei	35	28-32	Cheng ve diğ. 2008, (2012)
Taipei	25-40[11]		Cheng ve Yan, (2011)
Taipei	16		Cheng ve Lin, (2010)

1: PAKS mevcut; 2:PM_2; 3: Sadece metro hat verisi; 4: Yolculuk esnasında; 5: PAKS'dan sonra; 6: PAKS'dan önce; 7: Metro kabin hava temizleyiciden sonra; 8: Metro kabin hava temizleyiciden önce; 9: Magnetik filtre kullanımından sonra; 10: Magnetik filtre kullanımından önce; 11: Bilet satış katı ve peron.

Wang ve diğ. (2010) tarafından Tayvan'da yapılan bir çalışmada tren vagonlarında havadaki bioaerosollerin boyutsal ve mevsimsel dağılımı incelenmiştir. Havadaki ortalama bakteri konsantrasyonu 417 CFU/m^3 ve küf konsantrasyonu 413 CFU/m^3 olarak görülmüştür. Bakteri ve küfün maksimum olduğu partikül boyut aralığı 1.1-2.1 μm olarak tespit edilmiştir. Çalışmada en yüksek konsantrasyon değerine sonbahar döneminde, en düşük konsantrasyon değerine ise kış döneminde ulaşıldığı belirtilmiştir.

Seaton ve diğ. (2005) tarafından yapılan çalışmada Londra metrosunda filtre üzerinde toplanan tozlarda toksisite analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen testlerde alveolar epitelyum hücre (A549) kullanılmıştır ve testlerin sonucunda metro tozunun toksisitesinin titanyum dioksitten daha fazla, kuartzdan daha az olduğu görülmüştür.

Mannerstrom ve diğ. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada Finlandiya'da ev, kamu binası, ofis ve okul gibi bir çok farklı iç mekanda hava örnekleri toplanmış ve geleneksel yöntemlerden farklı olarak THP-1 makrofajları ve monositlerin (bağışıklık sisteminin hücresel bileşenini oluşturan ve vücudu yabancı maddelere, bulaşıcı hastalıklara karşı koruyan bir akyuvar türü) canlılığı, sitokin salgısı, cilt hassslaşması ve endokrin üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan biyolojik ve kimyasal analizler sonucunda sitotoksisite, immünotoksisite, cilt hassaslaşması ve endokrin bozulması gibi birçok ters biyolojik etki tanımlanmıştır.

Safder vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, kantitatif yapı-aktivite ilişkisi modeli ile toksisite değerlendirmesine dayalı yeni bir iç hava kalitesi indeksi önerilmiştir. Kapsamlı iç mekan hava toksisitesi ve kümülatif kapsamlı iç hava toksisitesi olarak adlandırılan bu yeni indeksler $PM_{2.5}$'un toksisite değerlendirmesine dayalı yeni standartları önermektedir. Bu yeni endekste çocuklar için sağlıksız olarak belirlenen eşik değer 74 mg/m^3, yetişkinler için sağlıksız olarak belirlenen eşik değer 140 mg/$m^{3'}$tür. Çalışmada elde edilen veriler metroda $PM_{2.5}$ konsantrasyonları toksisitesinin çocuklarda kısmen yüksek olduğunu göstermiştir.

Churkina ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada, güneş ışığı altına park edilmiş yeni ve eski iki aracın iç havasının toksisitesi test edilmiştir. Kullanılmış araç iç havasındaki VOC konsantrasyonu 10.9 mg/m^3, yeni araç iç havası konsantrasyonu 1.2 mg/m^3 bulunmuştur. Yapılan analizler sonucunda kullanılmış ve yeni araç iç havasının doğrudan bir toksisiteye sebep olmadığı, tahriş edici etkisinin bulunmadığı ve hassaslaştırma potansiyelinin olmadığı bulunmuştur.

Zaman ve diğ. (2021) tarafından Yeni Zelanda'da yapılan bir çalışmada 3 hastanenin 16 farklı lokasyonunda iç hava kalitesinin mevsimlere göre değişimleri ve toksisite potansiyeli incelenmiştir. Aeroqual 500 serisi örnekleyici ile $PM_{1.0}$, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} örnekleri toplanmıştır. $PM_{1.0}$ konsantrasyonu 67.6 μgm^3, $PM_{2.5}$ konsantrasyonu 137.4 ± 89.2, PM_{10} konsantrasyonu 159.0 ± 103.3, NO_2 konsantrasyonu 0.11 ± 0,02 ppm, CO_2 konsantrasyonu 1047.1 ± 234.2 ppm, ve TVOC konsantrasyonu 176.5 ± 117.7 ppm bulunmuştur. Hastane iç ortamında PM konsatrasyonunun dış ortama göre daha az olduğu ve diğer gaz kirleticilerin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kış aylarında $PM_{2.5}$ ve PM_{10}'un iç mekan toksisite potansiyeli hesaplamaları sonucu toksisite potansiyelinin normalden 10 kat fazla değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Oeder ve diğ. (2012) tarafından Münih'te gerçekleştirilen bir çalışmada sınıflarda, ev ve dış mekanlarda PM10 örneklemesi yapılmıştır. PM taramalı elektron mikroskobu ve X-ışını spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Toksisite, insan akciğer epitel hücrelerinde ve birincil keratenositleri üzerinde değerlendirilmiştir. Sınıflardaki PM konsantrasyonunun dış mekanlardan 5.6 kat daha fazla olduğu ve toksikolojik olarak daha aktif olduğu bulunmuştur. Ev PM konsantrasyonunun ise dış mekan PM konsantrasyonundan daha yüksek olduğu ve kimyasal olarak farklılık gösterdiği ve toksikolojik olarak daha aktif olduğu tespit edilmiştir.

Hem iç hem de dış hava ortamındaki bakteriler ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıda olup bu çalışmalar son yıllarda artması ile birlikte çoğunlukla ortamlardaki bakteri türlerinin belirlenmesine dayanan çalışmalardır (Wu ve diğ., 2021; 2021; Novak Babič ve diğ., 2020; Brągoszewska ve diğ., 2020; Brągoszewska ve Biedroń, 2018; Pompilio ve Di Bonaventura G., 2020; Suraju ve diğ., 2015; Bado ve diğ., 2017). *E. coli* ve *P. Aeruginosa* gibi patojenlerin toza maruz kalma tepkilerini değerlendiren son çalışmalar, toza maruz kalmanın ardından biyofilm oluşumunda ciddi artışlar olduğunu ortaya koymaktadır (Bado ve diğ., 2017).

Hussey ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada siyah karbona maruz kalmanın hem *S. pneumoniae* hem de *S. aureus* üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda iki bakteri türünün biyofilmlerinde yapısal, bileşimsel ve fonksiyonel değişikliklere neden olduğunu tespit edilmiştir. Oluşan biyofilmin daha kalın, karmaşık ve antibiyotiklere daha dirençli olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle *S. pneumoniae* bakterisi biyofilminin penisiline karşı direncinin arttığının görülmesi çalışma sonucu elde edilen önemli bulgulardan biri olmuştur.

Suraju ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada iç ve dış ortam toz maruziyetlerinin *E. faecalis, E. coli,* ve *P. aeruginosa* bakterileri üzerindeki etkisini incelenmiştir. PM'in patojenler için besinin az olduğu ortamda üç bakteri türünün büyümesini arttırdığı, oksidatif strese karşı artan bir duyarlılık sergilediği ve virülans potansiyelini etkilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca toza maruz kalmanın üç bakteri türü için de biyofilm oluşumunu arttırdığı tespit edilmiştir. İç hava (ev) tozu dozuna bağlı olarak bakteri aktivitesinde artış gözlemlemiş ve bunun temel mekanizmasının protein ile ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Bado ve diğ. (2017) standard referans maddeleri kullanarak ev ve yol tozlarının metal kimyasal yapısının *E. coli K-12, P. aeruginosa PA01,* ve *K.pneumoniae* bakterileri üzerine etkilerini incelemiştir. Canlılık ve protein mekanizmaları önemli derecede değişiklik göstermezken biyofilm oluşumunda farklılıklar gözlenmiştir. White ve diğ. (2020) yapmış olduğu çalışmada ise *S. aureus* bakterisinin canlılık, inflamasyon, ve biyofilm kapasitesi üzerine toz etkisini incelemiştir. Çalışmada canlılıkta oluşan değişimleri farklı stres şartlarında kendilerini korumaya almaları şeklinde yorumlanmıştır.

Saygın ve diğ. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada *S. aureus* ve *E.coli* bakterilerinin PM maruziyetinde biyokimyasal tepkisini tespit etmek için protein içeriği ve bakteriyel aktiviteleri incelenmiştir. Protein içeriğinin patojen bakterilerin canlılığı ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Çalışmadan $PM_{2.5}$ maruziyetinde antioksidan tepkileri de incelenmiş olup antioksidan tepkisini her iki bakteri için azaldığı tespit edilmiştir. Antioksidan tepkinin azlığı oksidatif stres durumunun bir belirtecidir. Çalışma sonucunda $PM_{2.5}$ maruziyetinin oksidatif stresi indüklediği görülmüştür.

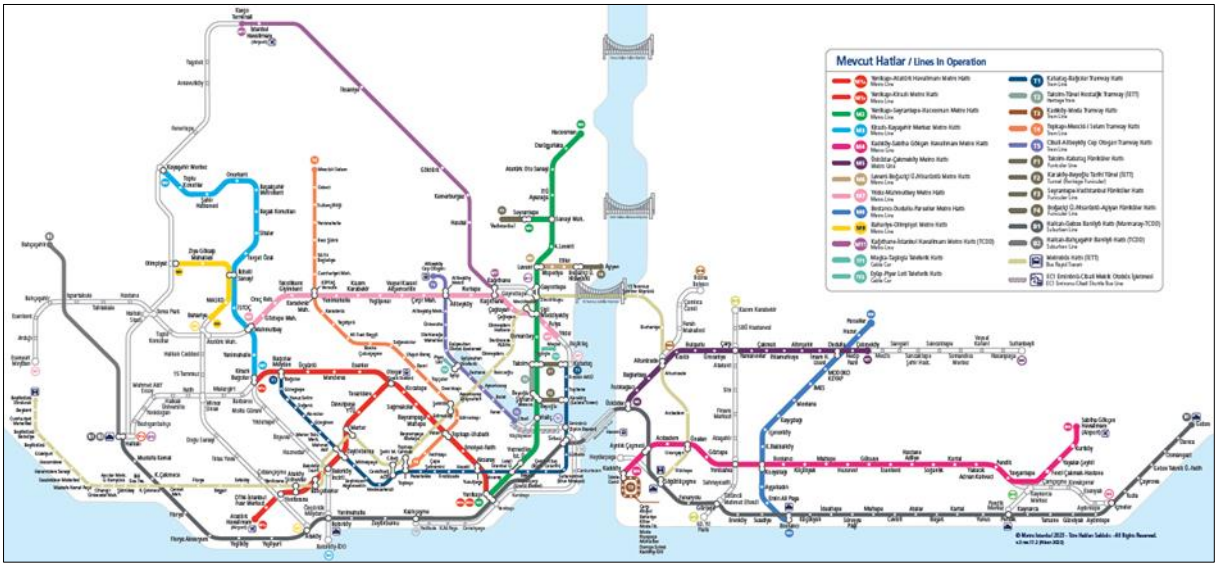
Literatürde metro havasından örneklenen PM'in bakteriler üzerindeki toksisitesinin incelendiği çalışmalara rastlanmamıştır.

3. YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında İstanbul metrosunda M2, M4, M5 ve M7 metro hatlarında farklı istasyonlarda toplanan partikül madde ve içeriği ile mikrobiyal etkileşimin incelenmesi amaçlanmıştır. İstanbul metrosunda 4 farklı metro hattında seçilen 7 farklı istasyonun peronunda ortam havasından filtre üzerine $PM_{2.5}$ örneklemesi yapılmış, $PM_{2.5}$'un elementel karakterizasyonu belirlenmiş ve PM örneklerine maruz bırakılan mikroorganizmaların 30 dakika, 2 saat, 4 saat ve 24 saatlik süreler sonunda canlılık, protein, karbonhidrat ve antioksidan biyokimyasal tepkileri ölçülmüştür. Bu sayede PM varlığında çeşitli bakterilerin canlılıkları üzerine etkisi incelenmiştir.

3.1. ÇALIŞMANIN YÜRÜTÜLDÜĞÜ METRO HATLARI VE İSTASYONLAR

İstanbul'da 11 farklı metro hattı bulunmaktadır (Şekil 3.1). Bu çalışmada incelenmek üzere farklı özelliklere sahip 4 metro hattında yolcu yoğunluğunun en fazla olduğu istasyonlar seçilmiştir. Bunlar M2 (Yenikapı-Hacıosman), M4 (Kadıköy-Sabiha Gökçen Havalimanı), M5 (Üsküdar-Çekmeköy) ve M7 (Mecidiyeköy-Mahmutbey) metro hatları, Şişli, Levent, Yenikapı, Ünalan, Kadıköy, Ümraniye ve Nurtepe istasyonlarıdır. Çalışmanın yürütüldüğü istasyonların özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: İstanbul raylı sistemler ağ haritası [URL2].

Tablo 3.1: Metro istasyonları genel özellikleri.

Hat	Açılış Tarihi	Hat Uzunluğu (km)	İstasyon Sayısı	PAKS	Araç Sayısı	Günlük Sefer Sayısı	Sefer Sıklığı Pik Saat	Sefer Süresi Tek Yön (dk)	Günlük Ort. Yolcu Sayısı	İstasyon	İstasyon Derinlik (m)
M2	2000	23.5	16	Yok	180	694	3 dk 55 sn	32	500.000	Yenikapı	20
										Şişli	23
										Levent	27
M4	2012	26.2	19	Yok	144	-	4 dk	42	70.000 /sa	Kadıköy	35
										Ünalan	39
M5	2017	20	16	Yarım PAKS	126	365	4 dk 40 sn	32	220.000	Ümraniye	43
M7	2020	18	15	Tam PAKS	80	352	6 dk	32	80.000	Nurtepe	33

M2: Yenikapı-Hacıosman, hafta içi ve Cumartesi 8 vagon; M4: Kadıköy-Tavşantepe, 36 adet 4'lü tren; M5: Üsküdar-Çekmeköy, sürücüsüz; M7: Mecidiyeköy-Mahmutbey, tam otomatik sürücüsüz, PAKS: Panel ayırıcı kapı sistemi.

3.2. PM ÖRNEKLEMESİ

PM örneklemesi 22 Ekim 2021 – 11 Ocak 2022 tarihleri arasında istasyon peronunda $PM_{2.5}$ başlığı takılmış partikül örnekleme cihazı ile (Model MCZ LVS 16) İBB Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü Hava Kalitesi Daire Başkanlığı'na bağlı personel tarafından yapılmıştır. Her bir istasyonda ortalama 7 gün örnekleme yapılmış, örnekler 24 saat süre ile toplanmıştır. İstasyonlarda alınan örnek sayıları ve örnekleme periyotları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Ölçüm çalışması sırasında Ünalan istasyonuna cihazların kurulumu ve ölçüm çalışması Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Örnekleme çalışmasında partikül örnekleme MCZ LVS 16 PM örnekleme cihazı ile 47 mm çapında Tissue Quartz filtre üzerine yapılmıştır. Cihazın hava çekiş hızı 16.6 lt/dk (2.3 m^3/saat)'dır. Örnekleme öncesi ve sonrası filtreler 48 saat süre ile %50 nem ve 20 ± 2^0C ortam koşullarına sahip temiz odada bekletilerek şartlandırılmıştır. Örnekleme sonrası filtreler METTLER TOLEDO marka hassas terazide tartılmıştır.

Gravimetrik yöntem ile $PM_{2.5}$ konsantrasyonları belirlenmiştir. Tartım sonrası filtreler 4 eşit parçaya bölünmüş olup bir parçası elementel analiz, bir parçası ise toksisite analizlerinde kullanılmış, kalan parçalar ise farklı analizlerde kullanılmak üzere saklanmıştır.

Tablo 3.2: İstasyonlarda alınan $PM_{2.5}$ örnek sayısı ve örnekleme periyotları.

İstasyon	**Örnekleme Zamanı**	***K. pneumoniae* İçin Örnek Sayısı**	***S. aureus* İçin Örnek Sayısı**
Şişli	22.10.2021 - 28.10.2021	3 adet	3 adet
Levent	04.11.2021 - 10.11.2021	3 adet	3 adet
Yenikapı	17.11.2021 - 23.11.2021	3 adet	3 adet
Nurtepe	01.12.2021 - 06.12.2021	3 adet	3 adet
Ünalan	11.12.2021 - 16.12.2021	3 adet	3 adet
Kadıköy	21.12.2021 - 27.12.2021	3 adet	3 adet
Ümraniye	05.01.2022 - 11.01.2022	3 adet	3 adet



Şekil 3.2: İstasyon peronunda partikül madde örneklemesi.

3.3. ELEMENTEL ANALİZ

PM2.5 filtrelerinin mikrodalga ile ayrıştırma ve elementel analiz işlemleri İBB Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü Hava Kalitesi Daire Başkanlığı Laboratuvarında İBB personeli tarafından gerçekleştirilmiştir. $PM_{2.5}$'un elementel analizi Perkin ELMER ICP Mass Spectrometer (Model: Nexion 2000C) cihazı ile yapılmıştır. Cihazın kalite kontrolü için kullanılan kimyasallar performans Check solüsyonu (Perkin Elmer Nexion Setup Solution), standartlar (Perkin Elmer Internal std), kalibrasyon solüsyonu (Perkin Elmer Multi Element Calibration Std 3) ve HPS Quality Control Std 21'dir. Elementel analiz için kullanılan toz filtrelerine asit ile ayrıştırma işlemi uygulanmıştır. Ayrıştırma işleminde CEM MARSX Press model mikrodalga kullanılmıştır. Filtrelerin asitle ayrıştırma işlemi için Nitrik asit (HNO_3) ve Hidrojen peroksit (H_2O_2) asit karışımı kullanılmıştır. Numune filtre dört eşit parçaya bölünmüştür. PTFE ayrıştırma kaplarına öncelikle filtrenin bir parçası konulmuş, sonrasında ise 8 ml Nitrik asit (HNO_3) ve 2 ml Hidrojen peroksit (H_2O_2) ilave edilerek 2 aşamalı çözündürme prosedürü uygulanmıştır. 20 dakikalık bekleme süresi sonunda TFE ayrıştırma kapları kapalı bir şekilde mikrodalga fırına yerleştirilmiş ve program çalıştırılmıştır.

Mikrodalga fırında program 2 aşamada yakma sıcaklığına ulaşmaktadır. Birinci aşamada 12 dakikada 145ºC ye yükseltilmiş ve 5 dakika bu sıcaklık değerinde beklenmiştir. İkinci aşamada ise sıcaklık 12 dakikada 200ºC ye yükseltilmiştir. 20 dakika bu sıcaklıkta yakma gerçekleşmektedir. Ardından soğuma işlemine geçilmiş olup, çözündürme işlemi gerçekleştirildikten sonra çözündürme kaplarının oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiştir. PM'in CEM MARSX Press mikrodalga ayrıştırma ünitesi kullanılarak yapılan çözündürme işlemine ait gösterim Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: PM'in CEM MARSX Press Mikrodalga Ayrıştırma Ünitesi kullanılarak yapılan çözündürme işlemi.

Aşama	Isıl Güç (Watt)	Süre (dk)	Sıcaklık (ºC)	Bekleme (dk)
1. Aşama	1200	12	25 → 125	5
2. Aşama	1200	12	125 → 200	20
Havalandırma	1200	-	200 → 26	-

3.4. $PM_{2.5}$ – BAKTERİYEL ETKİLEŞİMİN İNCELENMESİ

Bakteriyel etkileşimin değerlendirilmesi için, American Type Culture Collection (ATCC)'den alınmış olan gram negatif *K. pneumoniae* 700,603 ve gram pozitif *S. aureus* 25,923 bakterilerinin canlılık (aktivite), protein, antioksidan ve karbonhidrat biyokimyasal parametreleri incelenmiştir.

Analizlerde tekrarlı yapılan örneklemelerden her bir istasyon için rastgele üç gün seçilmiş olup toplanan $PM_{2.5}$ örnekleri ile bakteriyel maruziyet analizleri iki paralel olacak şekilde tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Bakteri ekiminin yapılacağı örnekler için kontaminasyon riskini ortadan kaldırmak adına bakteri ekiminden önce PROTEC ultrasonik temizleme cihazında kullanılarak ekstraksiyon yapılmıştır.

Deneyler için, bakteriler dehidre besiyeri ortamında (Tryptic Soy Broth, TSB) büyütülmüş ve PM ekstraktları ile birleştirilmiştir. PM örneklerinin ekstraksiyonu için PM filtrelerinin belirli kısmı kesilerek bakteri içermeyen besiyerinde ultrasonik banyoda 30 dakika ekstrakt edilmiştir ve filtreler uzaklaştırıldıktan sonra PM içeren çözeltilerden belirli miktar alınarak bakteri içeren besiyeri ile birleştirilmiştir. Belirlenen inkübasyon süreleri sonunda ilgili parametreler incelenmiştir. Kontrol grubu için PM içermeyen bakteri örnekleri aynı şartlarda incelenmiştir.

Ayrı tüplere alınmış ve bakteri kolonisi ekimi yapılmış örnekler biyokimyasal belirteçlerin (canlılık, protein, karbonhidrat ve antioksidan) 30 dakika, 2 saat, 4 saat ve 24 saatlik maruziyetlerdeki değişimini ölçmek amacı ile 37ºC etüvde inkübe edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda canlılıklarını koruyabilme yeteneğine sahip olan mikroorganizmalar üreme yeteneklerini kaybetmektedir (Barlas, 2010). Bu sebepten dolayı kültürlenmiş olan bakterilerinin içinde bulunduğu deney tüpleri bakteri 37ºC sıcaklıkta IEC EN 61010-1, IEC EN 61010-2-010, Low Voltage Directive 2006/95/EC, EMC Directive 2004/108/EC standartlarına ve prensiplerine uyarak çalışan Thermo Scientific-HERATHERM marka etüvde bekletilmiştir.

Canlılık (aktivite) parametresi için bakteri içeren çözeltiler içerisinde PM ekstraktları eklenerek belirtilen sürelerde birlikte inkübe edilmiş ve süre sonunda partiküler madde varlığında bakterilerin zamana bağlı canlılık tepkileri UV-VIS spektrofotometre kullanılarak 600 nm dalga boyunda ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 30 dakika, 2 saat, 4 saat ve 24 saatlik inkübasyon süreleri sonunda OD600 mikroplaka metodu (Thermo Scientific MULTISKAN

GO, Finland) kullanılmıştır. İnkübe edilmiş bakteri solüsyonu 200 µL olacak şekilde 96lik mikrokuyucuğa sahip plakalara konulup analiz edilmiştir.

İnkübasyon süresinin sonunda aynı çözelti kullanılarak, bakteri canlılığındaki etkileşimin biyokimyasal mekanizmasını ortaya koymak için bakteri protein, karbohidrat ve antioksidan yapısındaki değişimler incelenmiştir. Protein tayini için için Bradford metodu, antioksidan kapasitesi için CUPRAC metodu ve karbonhidrat tayini için Dubois ve diğ. (1956) metodu kullanılmıştır ve UV-VIS (Thermo Scientific MULTISKAN GO Finland) spektrofotometre ile ölçümler yapılmıştır (Saygın ve Baysal 2020).

Protein içeriği için Bradford metodu kullanılmıştır. İnkübasyon süreleri sonunda 150 µL bakteri solüsyonu üzerine 50 µL Bradford ayıracı eklenmiştir. Daha sonra ise kontrol ve numuneler UV-VIS ile 595 nm kullanılarak analiz edilmiştir.

Karbonhidrat içeriğinin ölçülmesi için Dubois ve diğ. (1958) metodu kullanılmıştır. İnkübasyon süreleri sonunda 25 µL bakteri solüsyonu üzerine 12.5 µL fenol ve 62 µL konsantre sülfürik asit ile eklenmiştir. 25ºC'de inkübasyondan sonra 96 kuyucuklu plakalarda bu numunelerin 480 nm ve 490 nm dalga boylarında analiz edilmiştir.

Toplam antioksidan kapasitesi ölçümü inkübasyon süreleri sonunda PM içeren ve kontrol grubu olan bakteri çözeltileri kullanılarak CUPRAC metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu metotta, örnekler üzerine 25 µL CH_3COONH_4, 25 µL $CuCl_2$, ve 25 µL Neocuproine eklenmiş ve 30 dakikalık bekleme periyodu sonunda 450 nm dalga boyunda ölçümler gerçekleştirilmiştir

Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan hesaplamalar aşağıdaki formüller ile yapılmıştır;

$$\text{Canlılık (Aktivite) Oranı:} = \frac{\frac{(A1+A2)}{2}}{A0} \quad (3.1)$$

$$\text{Aa} = \frac{A1+A2}{2} \quad (3.2)$$

$$\text{Canlılık (Aktivite) Oranı:} = \frac{Aa}{A0} \quad (3.3)$$

A_1: Birinci tekrarda kullanılan PM ve bakteri medyası muhteva eden örnek

A_2: İkinci tekrarda kullanılan PM ve bakteri medyası muhteva eden örnek

A_a: A_1 ve A_2 örneklerinin aritmetik ortalaması

A_0: PM içermeyen, bakteri medyası muhteva eden örnek

Elde edilen verilen değerlendirilmesi aşağıda yer alan formüller ile yapılmıştır.

$$\frac{Aa}{Ao} < 1 : \text{Toksik Etki (İnhibisyon)} \quad (3.4)$$

$$\frac{Aa}{Ao} = 1 : \text{Etkileşim yok} \quad (3.5)$$

$$\frac{Aa}{Ao} > 1 : \text{Aktivasyon (İndükleme/Üreme)} \quad (3.6)$$

3.5. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Bu çalışmada *K. pneumoniae* ve *S. aureus* türü bakterilerin analizi sonucu elde edilen canlılık ve biyokimyasal parametrelerinin birbiri ile ilişkileri ve PM içeriğinde bulunan elementler ile ilişkisini incelemek için IBM SPSS Statistics 20 yazılımı iki kuyruklu (two tailed) Pearson korelasyon testleri kullanılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. PARTİKÜL MADDE KONSANTRASYONLARI

İstanbul metrosunda istasyon peronlarında tespit edilen günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının 72±10 μg/m^3 ve 206±18 μg/m^3 arasında değiştiği görülmüştür (Tablo 4.1). Yapılan ölçümler sonucu $PM_{2.5}$ konsantrasyonu en yüksekten en düşüğe doğru Ümraniye>Levent>Yenikapı>Ünalan>Şişli>Nurtepe>Kadıköy olarak sıralanmıştır. Ümraniye istasyonunda ölçülen 24 saatlik ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun Kadıköy istasyonundaki $PM_{2.5}$'un yaklaşık 3 katıdır.

Tablo 4.1: İstasyon peronlarında $PM_{2.5}$ konsantrasyon sonuçları (ortalama ve standart sapma).

Parametre	İstasyon							Sınır Değer (DSÖ)	Sınır Değer (EPA)
	M2			M7	M4		M5		
	Şişli	Levent	Yenikapı	Nurtepe	Ünalan	Kadıköy	Ümraniye		
Grav-$PM_{2.5}$ (μg/m^3)	118 ± 23	187 ± 44	130 ± 9	96 ± 23	119 ± 12	72 ± 10	206 ± 18	15[12] μg/m^3	35[13] μg/m^3

[12]: Dünya Sağlık Örgütü, 24 saatlik ort.

[13]: EPA, 24 saatlik ort.

Kappelt ve diğ. (2022) tarafından Kopenhag metrosunda gerçekleştirilen çalışmada ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonu 115 μg/m^3 bulunmuştur. Yine aynı metro hattının kapalı çevrime sahip olan M3 istasyonunda ise $PM_{2.5}$ konsantrasyonu 152 μg/m^3 bulunmuştur (Kappelt ve diğ., 2022). Kopenhag metrosu istasyonları ile İstanbul metrosu istasyonları kıyaslandığında Levent ve Ümraniye istasyonlarının daha yüksek PM konsantrasyonuna sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Aarnio ve diğ. (2005) tarafından iki haftalık bir periyotta Helsinki'de metroda $PM_{2.5}$ ölçümleri gerçekleştirİlen çalışma sonucunda $PM_{2.5}$ günlük ortalama konsantrasyonları iki metro istasyonu için 47±4 ve 60±18 μg/m^3 olarak bulunmuştur. Helsinki'de metro istasyonu PM konsantrasyonların İstanbul metrosu Şişli, Yenikapı, Levent, Nurtepe, Ünalan ve Ümraniye istasyonlarındaki konsantrasyonlar ile kıyaslandığında çok daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ümraniye ve Levent istasyonları PM'i yaklaşık 3 kat daha fazla $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerine sahiptir.

Perales ve diğ. (2004) tarafından Meksiko City'deki metro sisteminde gerçekleştirilen bir çalışmada $PM_{2.5}$ ölçümleri yapılmıştır. Sabah ve akşam yoğun olan saatlerde ortalama $PM_{2.5}$ değeri 61 μg/m^3 olarak ölçülmüştür (Gomez-Perales ve diğ., 2004). İstanbul metrosundaki $PM_{2.5}$ konsantrasyonları bu konsantrasyonlardan daha yüksektir.

4.2. ELEMENTEL ANALİZ SONUÇLARI

Tüm istasyonlardan toplanan ve *S. aureus* için yapılacak olan çalışmalarda kullanılmak üzere ayırılmış olan 3 adet PM örneğine ait elementel analiz sonuçları EK 1'de verilmiştir. Bu sonuçların ortalama değerleri Tablo 4.2'de yer almaktadır. Tüm istasyonlardan toplanan ve *K. pneumoniae* için yapılacak olan çalışmalarda kullanılmak üzere ayırılmış olan 3 adet PM örneğine ait elementel analiz sonuçlar EK 2'de verilmiştir. Bu sonuçların ortalama değerleri Tablo 4.3'te yer almaktadır.

Çalışmada analiz edilen elementler; Al, Ba, Cr, Cu, Mn, Mg ve Pb olarak seçilmiştir. Mn havalandırması kısıtlı mekanlarda birikme eğilimi göstermesi ve antioksidan mekanizmasını tetiklemesi sebebiyle, Al ve Ba metro istasyonlarında sık rastlanan ve metro bileşenlerinin içeriğinde bulunan bir element olması sebebiyle, Cr ve Pb ağır metallerinin hem havada hem de çevrede sıklıkla bulunuyor olması sebebiyle ve Mn, Cu ve Fe metallerinin hem majör hem de antioksidan defans sistemine ait olmaları sebebiyle bu seçimler yapılmıştır.

Tablo 4.2: *S. aureus* bakterisi için yapılan çalışmalarda kullanılmış olan PM örneklerine ait elementel analiz sonuçlarına ait ortalama veriler (ortalama ve standart sapma).

Örnekleme Yapılan İstasyon	Al (ng/m^3)	Ba (ng/m^3)	Mn (ng/m^3)	Cu (ng/m^3)	Mg (ng/m^3)	Cr (ng/m^3)	Pb (ng/m^3)	Fe (ng/m^3)
Şişli	246.7 ± 43.4	1139.3 ± 166.3	326.9 ± 50.6	111.4 ± 19.6	411.3 ± 77.7	98.4 ± 8.6	45.8 ± 16.0	49782.8 ± 8995.7
Levent	586.3 ± 80.3	2232.0 ± 419.1	1018.5 ± 100.4	318.1 ± 62.6	1492.3 ± 246.5	332.6 ± 33.6	68.4 ± 20.9	86893.9 ± 10083.9
Yenikapı	347.8 ± 97.4	897.8 ± 125.4	467.4 ± 58.8	384.1 ± 98.1	741.1 ± 118.7	185.2 ± 50.4	30.6 ± 10.6	52411.8 ± 2484.2
Nurtepe	301.3 ± 88.5	186.9 ± 54.7	270.4 ± 80.3	164.1 ± 37.0	356.6 ± 80.4	52.1 ± 13.7	15.8 ± 6.1	31017.4 ± 8459.6
Ünalan	247.7 ± 73.9	40.2 ± 17.8	477.0 ± 80.5	466.8 ± 92.1	135.5 ± 38.2	112.2 ± 0	16.8 ± 0.9	54333.5 ± 8290.8
Kadıköy	384.8 ± 214.4	26.0 ± 12.7	463.8 ± 114.5	358.0 ± 50.9	449.4 ± 210.3	104.8 ± 19.5	10.1 ± 2.8	17008.3 ± 4926.7
Ümraniye	361.0 ±78.5	25.8 ± 14.5	1127.0 ± 18.3	3048.6 ± 212.5	196.2 ± 35.0	285.1 ± 4.1	13.4 ± 5.0	118233.0 ± 1510.4

Tablo 4.3: *K. pneumoniae* bakterisi için yapılan çalışmalarda kullanılmış olan PM örneklerine ait elementel analiz sonuçlarına ait ortalama veriler (ortalama ve standart sapma).

Örnekleme Yapılan İstasyon	Al (ng/m^3)	Ba (ng/m^3)	Mn (ng/m^3)	Cu (ng/m^3)	Mg (ng/m^3)	Cr (ng/m^3)	Pb (ng/m^3)	Fe (ng/m^3)
Şişli	418.6 ± 70.7	1341.8 ± 36.3	523.5 ± 12.2	205.7 ± 24.5	663.7 ± 28.0	152.6 ± 7.2	98.9 ± 25.6	60260.7 ± 991.1
Levent	370.5 ± 46.5	1451.8 ± 117.7	641.2 ± 46.6	197.5 ± 25.0	948.6 ± 74.6	239.8 ± 13.6	34.0 ± 12.3	56200.6 ± 8431.2
Yenikapı	488.3 ± 24.1	780.0 ± 42.1	427.6 ± 25.0	461.5 ± 41.5	617.6 ± 9.7	206.8 ± 8.3	30.7 ± 3.5	51935.0 ± 4666.3
Nurtepe	350.4 ± 36.1	182.1 ± 26.7	290.9 ± 38.4	202.2 ± 29.6	432.3 ± 64.7	55.2 ± 8.1	6.4 ± 2.2	31804.7 ± 1775.6
Ünalan	107.9 ± 59.4	40.5 ± 15.7	484.2 ± 1741.4	516.6 ± 55.6	108.5 ± 20.9	110.1 ± 27.7	17.4 ± 2.9	54365,2 ± 6181.5
Kadıköy	210.8 ± 167.5	24.1 ± 21.0	561.6 ± 124.0	361.9 ± 55.2	198.1 ± 48.9	115.3 ± 27.6	10.1 ± 5.6	18405.2 ± 3689.3
Ümraniye	230.4 ± 20.0	17.7 ± 2.4	895.5 ± 44.1	2564.2 ± 229.5	137.5 ± 10.5	203.8 ± 7.4	15.5 ± 1.8	95295.6 ± 3950.4

Metroda PM'in kaynakları farklı olması sebebiyle metro tozunun içeriği de farklılık göstermektedir. Literatürde metroda PM'in elementel bileşimi üzerine birçok çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Helsinki'de Aarnio ve diğ. (2005) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada metroda 2 hafta süre ile $PM_{2.5}$ ölçümleri yapılmış ve ardından elementel bileşiminin belirlenmesi için analiz edilmiştir. Analiz sonucu $PM_{2.5}$ örneklerindeki en zengin element olan Fe; metroda 29±7 $\mu g/m^3$, dış ortamda 0.7±0.3 $\mu g/m^3$ olarak belirlenmiştir. Mn, Cr, Ni ve Cu elementleri ise tespit edilen diğer elementlerdir (Aarnio ve diğ., 2005). İstanbul metro ağında bulunan Şişli, Levent, Yenikapı, Nurtepe, Ünalan, Kadıköy ve Ümraniye istasyonlarında Mn, Cr, Ni ve Cu elementleri ile birlikte, Al, Ar, Ba, Ca, Cd, Co, Fe, K, Mg, Pb, As, Sn, Sr, Ti, V, Zn ve Zr elementleri de tespit edilmiştir. Fe elementi konsantrasyonu ise 7 istasyon için de Helsinki metrosunda belirlenen konsantrasyondan çok daha fazladır.

Aarnio ve diğ. (2005) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Budapeşte'de metro istasyonlarında PM'in elementel analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma PM_{10} konsantrasyonu 155±55 μg/m^3, Fe, Mn, Ni, Cu ve Cr konsantrasyonları ise dış ortama göre 5-20 kat daha yüksek bulunmuştur. Fe'nin %46'sının $PM_{10-2.0}$ fraksiyonunda bulunduğu belirtilmiştir (Aarnio ve diğ., 2005).

Querol ve diğ. (2012) tarafından Barselona'da metro sistemlerinde Fontana (L3) ve Sagrera (L9) platformlarındaki PM_{10} ve $PM_{2.5}$ seviyeleri ve kompozisyonlarını belirlemek adına bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda PM içeriğinde en çok tekerlek ve fren aşınması ile meydana gelen Ba, Fe, Cu, Mn, Cr, Sb, As, Mo, Co, Sr elementleri saptanmıştır. Fe konsantrasyonu $PM_{2.5}$ için 55 μg/m^3, Ca ve Al konsanrasyonu sırasıyla 1.7 μg/m^3 ve 0.7 μg/m^3 bulunmuştur (Querol ve diğ., 2012).

4.3. PARTİKÜL MADDE BAKTERİYEL ETKİLEŞİM ANALİZ SONUÇLARI

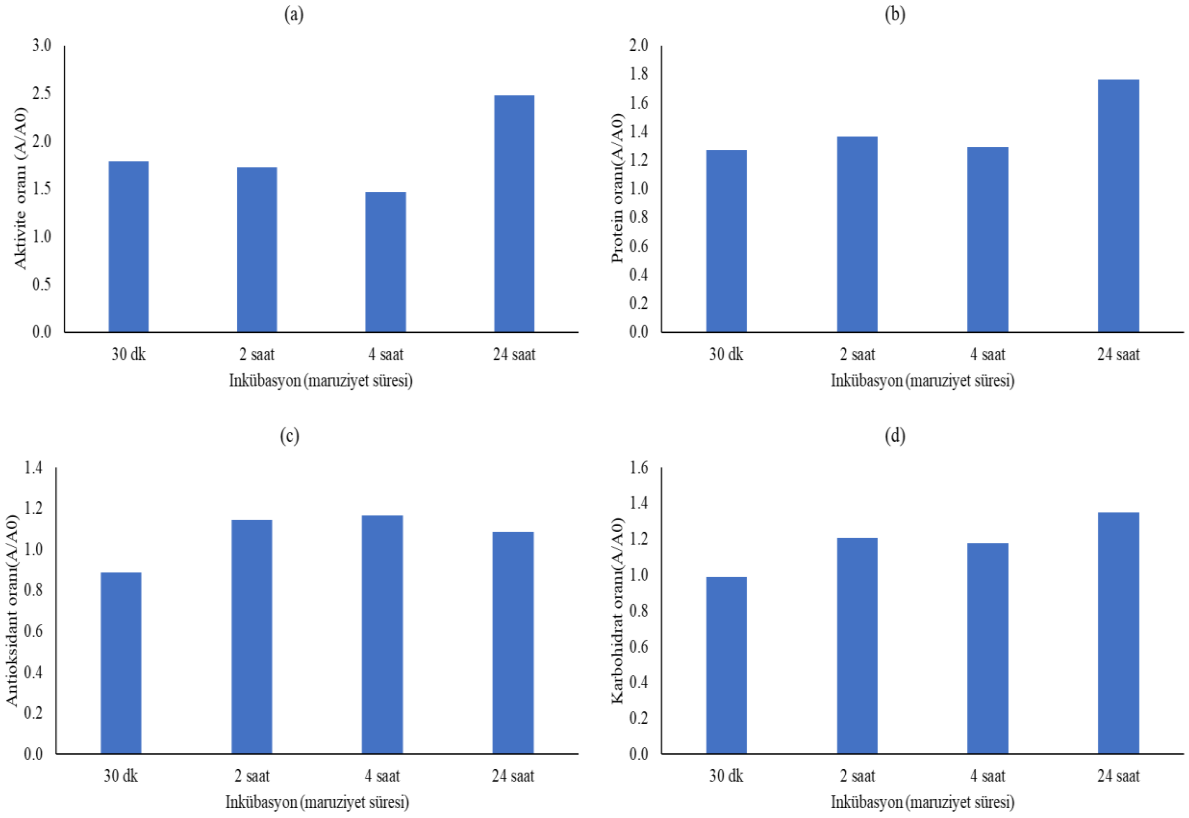
4.3.1. *K. pneumoniae* Canlılık ve Biyokimyasal Parametreleri Ölçüm Sonuçları

4.3.1.1. PM Maruziyetinin K. pneumoniae Bakterisi Üzerine Genel Etkisi

K. pneumoniae bakterisi için PM maruziyetindeki canlılık davranışlarını incelemek amacıyla canlılık (aktivite), protein, antioksidan ve karbonhidrat parametreleri ölçümü gerçekleştirilmiştir.

K. pneumoniae bakteri türü için 30 dakika, 2 saat, 4 saat ve 24 saatlik periyotlarda optik canlılık (aktivite) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar her bir istasyon için 3 farklı günde alınan örnekler ile iki set tekrarlı olarak yapılmıştır.

PM örneklerinin *K. pneumoniae* bakterisi üzerine ortalama etkisi Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Canlılık oranları her maruziyet süresinde 1'den büyük değerler vermiş olup canlılığı indüklediği görülmektedir. Bu oran en fazla 24 saatte en az ise 4 saat maruziyette belirlenmiştir.



Şekil 4.1: PM örneklerinin *K. pneumoniae* üzerine etkisi. (a) aktivite oranını, (b) protein oranını, (c) antioksidan oranını, (d) karbonhidrat oranını göstermektedir.

Canlılık sonuçlarının temel biyokimyasal indikatörler üzerindeki mekanizması için protein, antioksidan ve karbonhidrat metabolizmaları incelenmiş ve sonuçlar Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Protein sonuçları tüm maruziyet sonuçları için 1'den büyük değerler vermiş olup, en çok protein miktarı 24 saat süre maruziyette, en düşük protein miktarı 30 dakika ve 4 saat süre maruziyette tespit edilmiştir.

Antioksidan miktarları incelendiğinde en yüksek oranlar 4 saat süre maruziyette, en düşük oranlar Kadıköy, Yenikapı istasyonlarında 0.8, Ümraniye, Ünalan, Şişli ve Levent istasyonlarında 0.9 ve Nurtepe istasyonunda 1.0 değeri ile birlikte 30 dakika süre maruziyette tespit edilmiştir.

Diğer bir metabolizma olan enerji metabolizmasının belirteci olan karbonhidrat miktarı Şekil 4.1(d)'de gösterilmiştir. Ve en yüksek karbonhidrat oranı 24 saat süre maruziyette, en düşük oran ise 30 dakika süre maruziyette elde edilmiştir. Ayrıca sonuçlar 1.0 ile 1.3 arasında bulunarak enerji metabolizmasını indüklediği görülmektedir.

4.3.1.2. K. pneumoniae Bakterisi Canlılık (Aktivite) ve Biyokimyasal Parametreleri ile Etkileşimi

K. pneumoniae bakterisi canlılık sonuçları ile biyokimyasal parametreler arasındaki ilişkinin incelenmesi için IBM SPSS Statistics 20 yazılımı iki kuyruklu (two tailed) Pearson korelasyon testleri kullanılmıştır

Bu çalışma kapsamında tüm istasyonlar için *K. pneumoniae* bakterisinin bakterisi canlılık ve biyokimyasal parametrelerinin birbiri ile etkileşimi incelenmiştir. Bu etkileşime ait sayısal veriler EK 3'te verilmiştir.

Tüm istasyonlar *için K. pneumoniae* bakterisine ait canlılık ve protein parametrelerinin korelasyon katsayısı 0.99 değeri ($p<0.01$) ile birlikte en yüksek 24 saat süre maruziyette tespit edilmiştir. Bu değer, 4 saat süre maruziyette 0.95 ($p<0.01$), 2 saat süre maruziyette 0.91 ($p<0.01$) ve 30 dakika süre maruziyette 0.81 ($p<0.01$) olarak tespit edilmiştir.

K. pneumoniae bakterisine ait canlılık ve antioksidan parametrelerinin korelasyon katsayısı 0.671 değeri ($p<0.01$) ile birlikte en yüksek 2 saat süre maruziyette tespit edilmiştir. Bu katsayı, 4 saat süre maruziyette 0.147, 24 saat süre maruziyette (-) 0.043 ve 30 dakika süre maruziyette (-) 0.064 olarak tespit edilmiştir.

K. pneumoniae bakterisine ait canlılık ve karbonhidrat parametrelerinin korelasyon katsayısı 0.476 değeri ($p<0.05$) ile birlikte en yüksek 2 saat süre maruziyette tespit edilmiştir Bu katsayı, 4 saat süre maruziyette 0.052, 24 süre maruziyette (-) 0.204 ve 30 dakika süre maruziyette (-) 0.133 olarak tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda canlılık ve protein arasında yakın ilişki olduğu ve protein mekanizmasının canlılık metabolizmasını indüklediği, diğer bakteri biyokimyasal parametreleri ile canlılık arasında anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür.

4.3.1.3. PM Maruziyetinin İstasyon Bazında K. pneumoniae Üzerine Etkisi

İstasyon bazında *K. pneumoniae* için gerçekleştirilen canlılık ve biyokimyasal parametreler ayrı ayrı incelenmiştir.

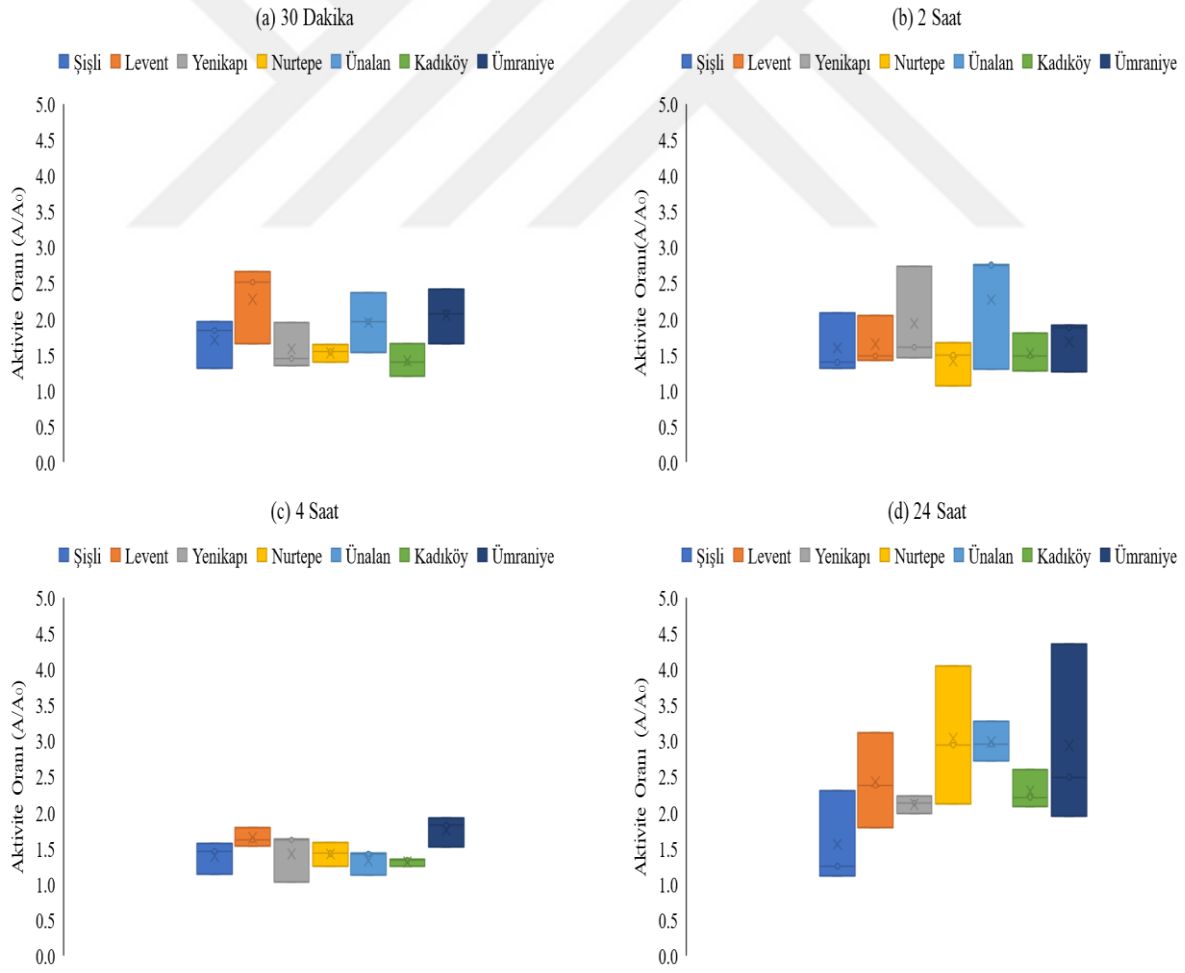
Canlılık sonuçları Şekil 4.2'de gösterilmekte olup, her istasyon için ortalama canlılık sonuçları 1'den büyük tespit edilmiştir.Buna göre canlılık oranları sırasıyla;

30 dakika için; Levent>Ümraniye>Ünalan>Şişli>Yenikapı>Nurtepe>Kadıköy

2 saat için; Ünalan>Yenikapı>Ümraniye=Levent>Şişli>Kadıköy>Nurtepe

4 saat için; Ümraniye>Levent>Şişli=Yenikapı=Nurtepe>Ünalan=Kadıköy

24 saat için; Nurtepe=Ünalan>Ümraniye>Levent>Kadıköy>Yenikapı şeklinde bulunmuştur.



Şekil 4.2: İstasyonlara göre *K. pneumoniae* bakterisi canlılık sonuçları. (a) 30 dakika maruziyet, (b) 2 saat maruziyet, (c) 4 saat maruziyet, (d) 24 saat maruziyet sonuçlarını göstermektedir.

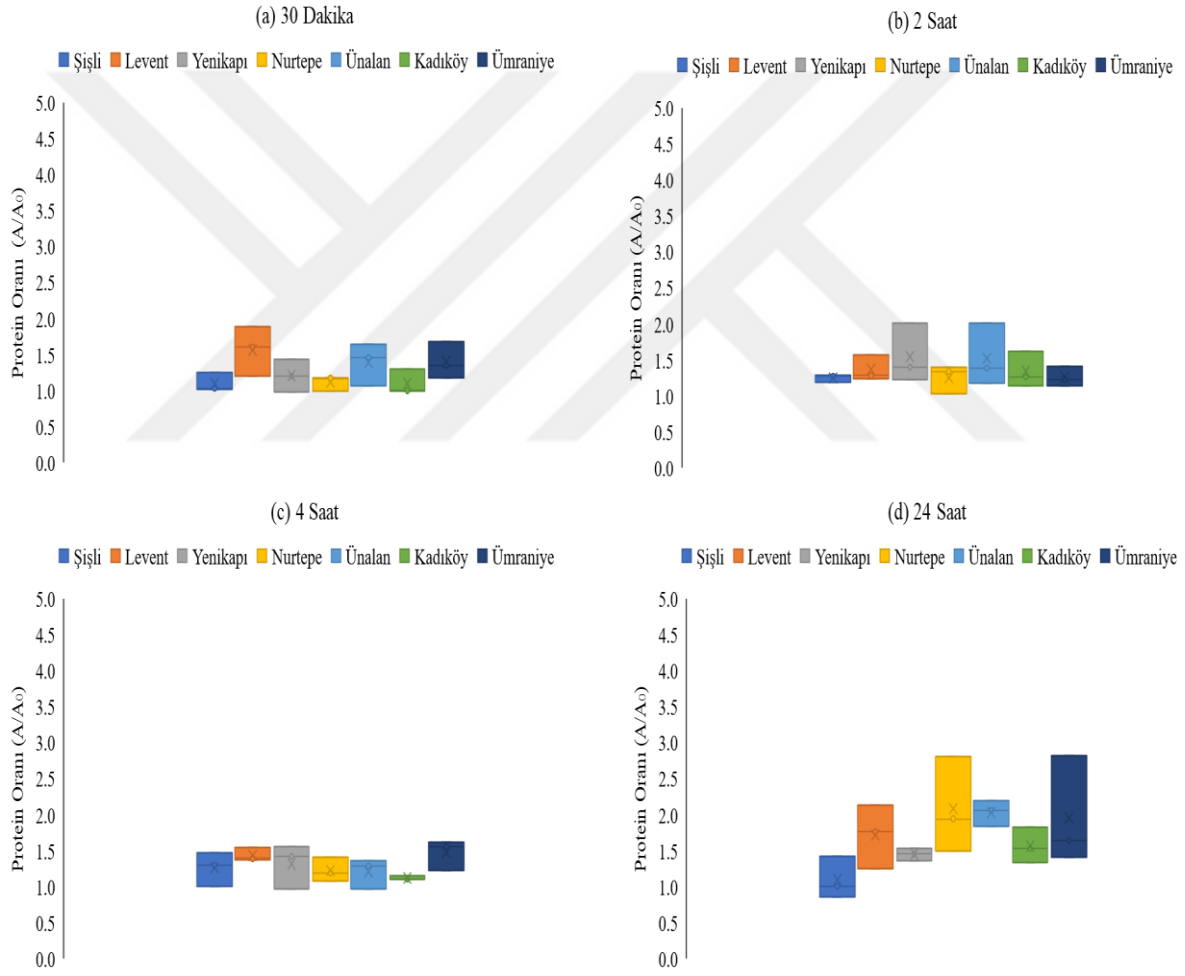
Protein cevapları Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Bu bilgiler ışığında istasyon ve maruziyet sürelerine göre protein sonuçları sıralaması;

30 dakika için; Levent >Ünalan=Ümraniye>Yenikapı>Şişli=Nurtepe=Kadıköy

2 saat için; Yenikapı=Ünalan>Levent>Şişli=Nurtepe=Ünalan=Kadıköy

4 saat için; Ümraniye>Levent>Şişli=Yenikapı>Nurtepe=Ünalan>Kadıköy

24 saat için; Nurtepe>Ünalan=Ümraniye>Levent> Kadıköy>Yenikapı şeklinde bulunmuştur.



Şekil 4.3: İstasyonlara göre *K. pneumoniae* bakterisi protein sonuçları. (a) 30 dakika maruziyet, (b) 2 saat maruziyet, (c) 4 saat maruziyet, (d) 24 saat maruziyet sonuçlarını göstermektedir.

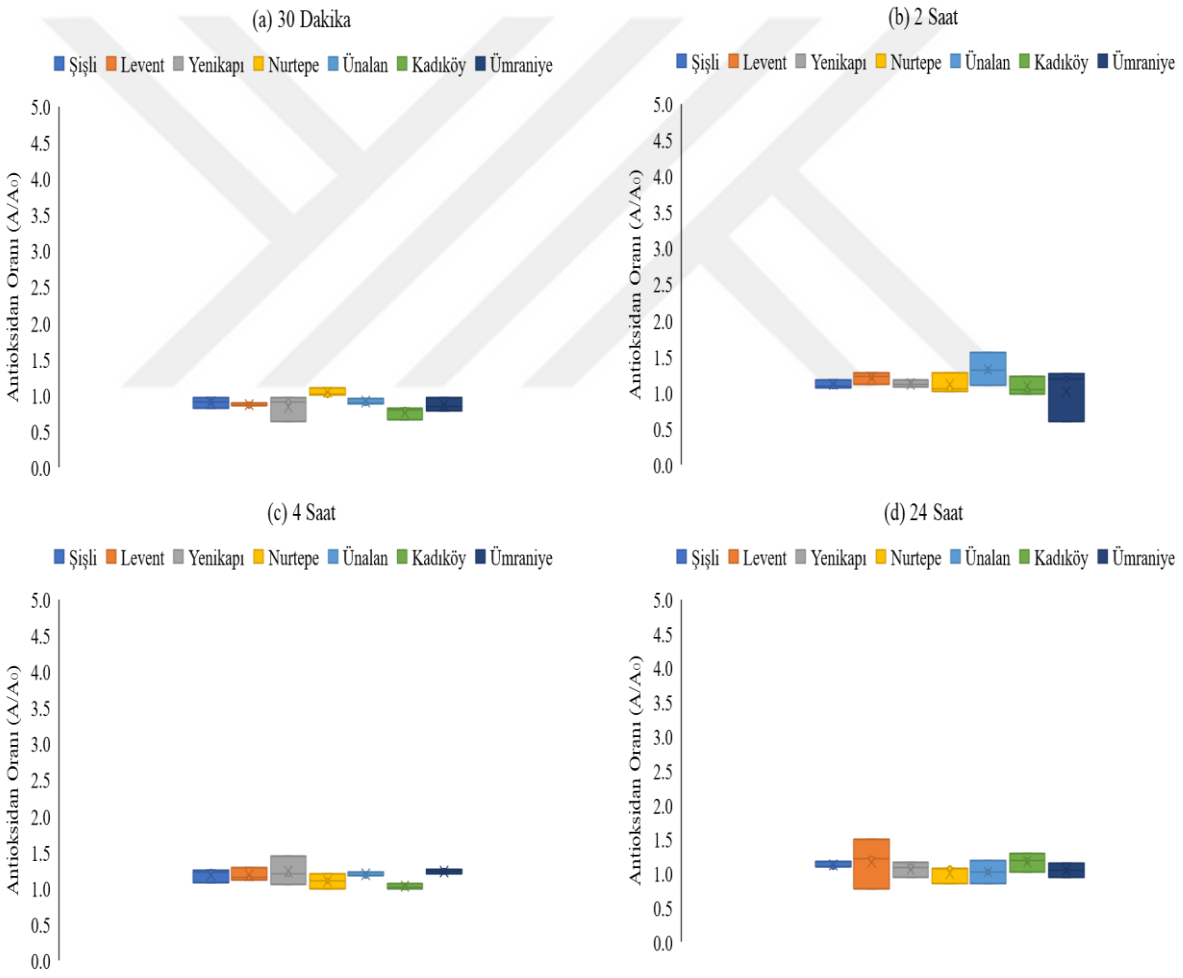
Antioksidan cevapları Şekil 4.4'de gösterilmektedir. Bu bilgiler ışığında istasyon ve maruziyet sürelerine göre antioksidan sonuçları sıralaması;

30 dakika için; Nurtepe>Şişli=Levent=Ünalan=Ümraniye>Kadıköy=Yenikapı

2 saat için; Ünalan>Levent>Şişli=Yenikapı=Nurtepe=Kadıköy>Ümraniye

4 saat için; Şişli=Levent=Yenikapı=Ünalan=Ümraniye>Nurtepe>Kadıköy

24 saat için; Levent=Kadıköy>Şişli=Yenikapı=Ümraniye>Nurtepe=Ünalan şeklinde bulunmuştur.



Şekil 4.4: İstasyonlara göre *K. pneumoniae* bakterisi antioksidan sonuçları. (a) 30 dakika maruziyet, (b) 2 saat maruziyet, (c) 4 saat maruziyet, (d) 24 saat maruziyet sonuçlarını göstermektedir.

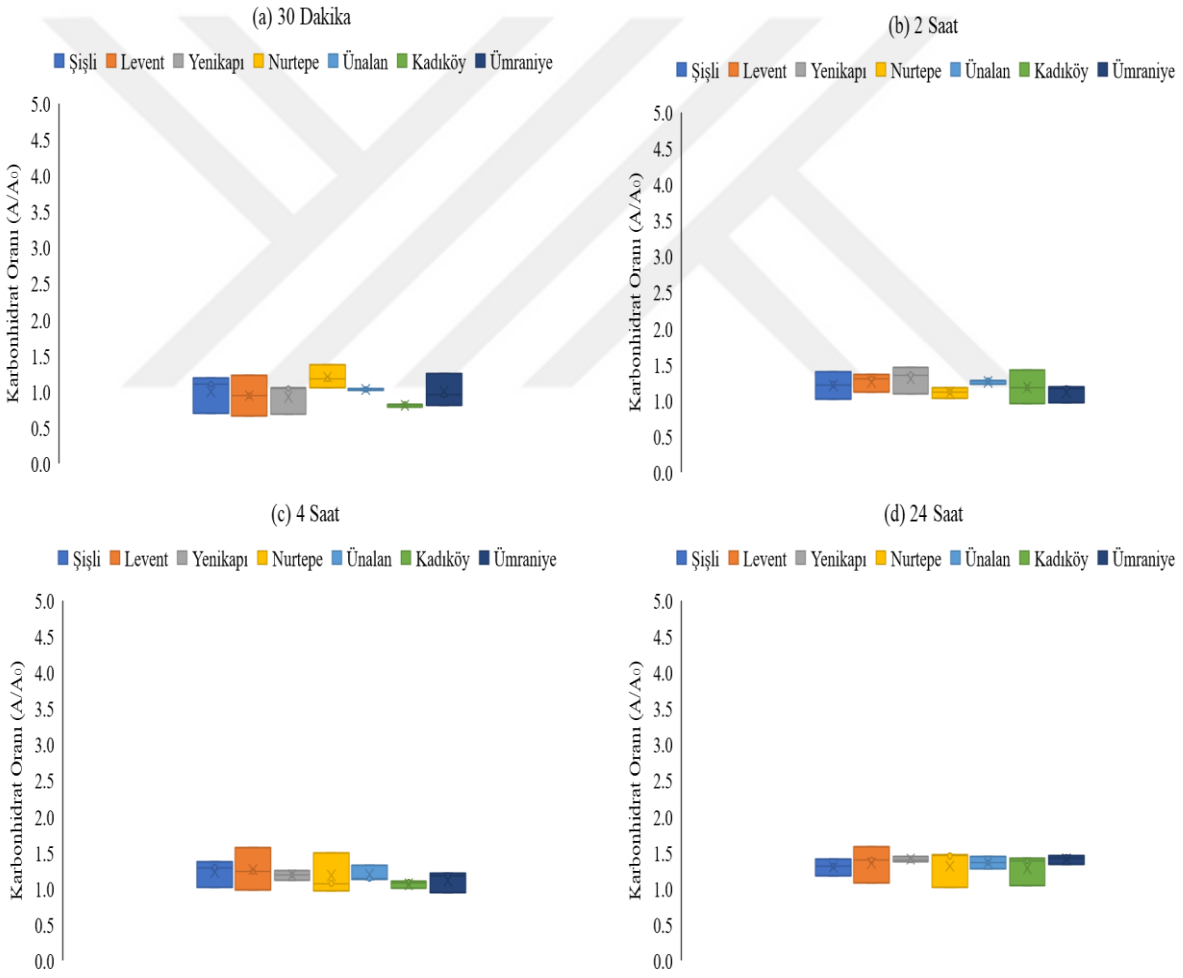
Karbonhidrat sonuçları Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Bu bilgiler ışığında istasyon ve maruziyet sürelerine göre karbonhidrat sonuçları sıralaması;

30 dakika için; Nurtepe>Şişli=Ümraniye=Ünalan>Levent=Yenikapı>Kadıköy

2 saat için; Levent=Yenikapı=Ünalan>Şişli=Kadıköy>Nurtepe=Ünalan

4 saat için; Levent>Şişli=Yenikapı=Nurtepe=Ünalan>Kadıköy=Ümraniye

24 saat için; Levent=Yenikapı=Ünalan=Ümraniye>Şişli=Nurtepe=Kadıköy şeklinde bulunmuştur.



Şekil 4.5: İstasyonlara göre *K. pneumoniae* bakterisi karbonhidrat sonuçları. (a) 30 dakika maruziyet, (b) 2 saat maruziyet, (c) 4 saat maruziyet, (d) 24 saat maruziyet sonuçlarını göstermektedir.

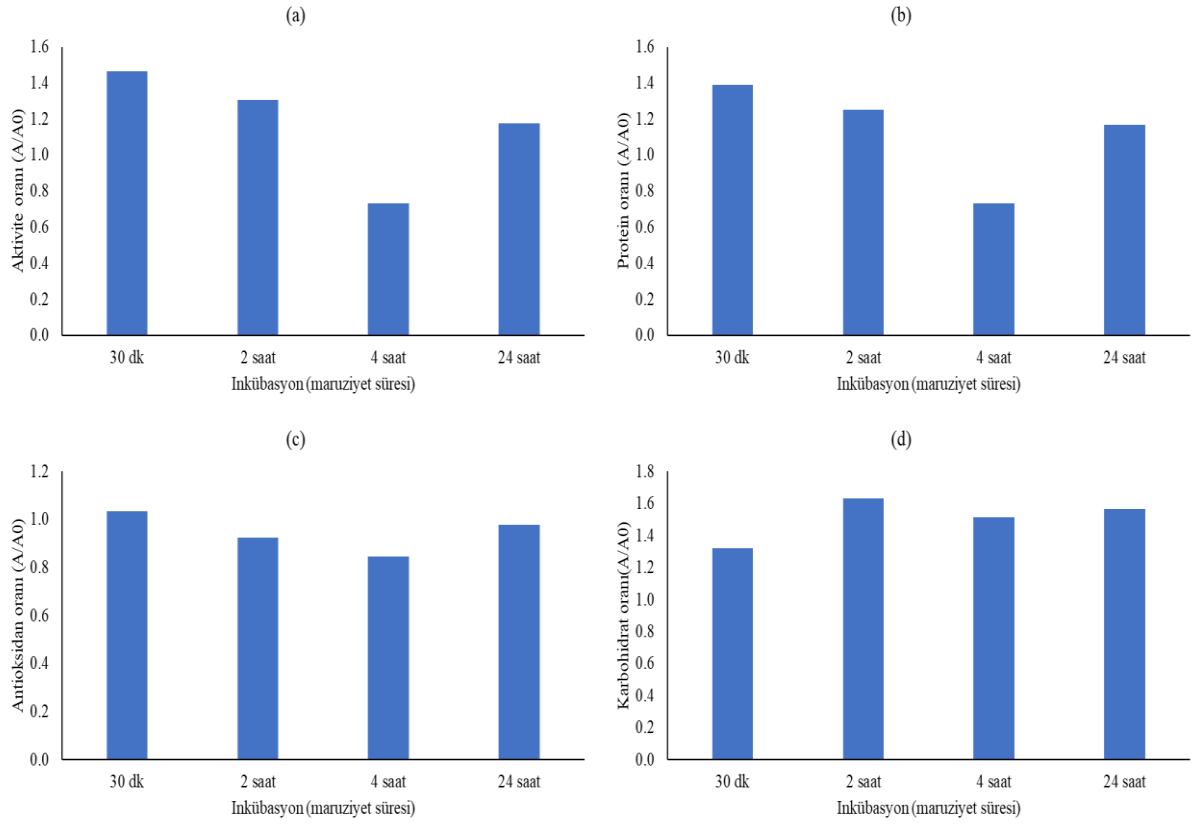
4.3.2. *S. aureus* Canlılık ve Biyokimyasal Parametreleri Ölçüm Sonuçları

4.3.2.1. PM Maruziyetinin S. aureus Üzerine Genel Etkisi

S. aureus bakteri türü için PM maruziyetindeki canlılık davranışlarını incelemek amacıyla canlılık (aktivite), protein, antioksidant ve karbonhidrat parametreleri ölçümü gerçekleştirilmiştir.

S. aureus bakteri türü için 30 dakika, 2 saat, 4 saat ve 24 saatlik periyotlarda optik canlılık (aktivite) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar her bir istasyon için 3 farklı günde alınan örnekler ile iki set tekrarlı olarak yapılmıştır.

PM örneklerinin *S. aureus* bakterisi üzerine toplam etkisi Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Canlılık oranlarının 4 saat maruziyet süresinde 1'den az; 30 dakika, 2 saat ve 24 saat süre maruziyette 1'den büyük değerler vermiş olup canlılığı indüklediği görülmektedir. Bu oran en fazla 30 dakikada en az ise 4 saat süre maruziyette belirlenmiştir.



Şekil 4.6: PM örneklerinin *S aureus* üzerine etkisi. (a) aktivite oranını, (b) protein oranını, (c) antioksidan oranını, (d) karbonhidrat oranını göstermektedir.

Canlılık sonuçlarının temel biyokimyasal indikatörler üzerindeki mekanizması için protein, antioksidan ve karbonhidrat metabolizmaları incelenmiş ve Şekil 4.6 (b, c, d)'da gösterilmiştir.

Protein sonuçları tüm maruziyet sonuçları için 30 dakika, 2 saat ve 24 saatte 1'den büyük, 4 saatte 1'den az değerler vermiştir. En çok protein miktarı 30 dakikada, en düşük protein miktarı 4 saatte tespit edilmiştir.

Antioksidant miktarları incelendiğinde en yüksek oranlar 30 dakika ve 24 saatte, en düşük oranlar 0.8 değeri ile birlikte 4 saatte tespit edilmiştir.

Diğer bir metabolizma olan enerji metabolizmasının belirteci karbonhidrat miktarı Şekil 4.6 (d)'de gösterilmiştir. En yüksek karbonhidrat oranı 2 saat ve 24 saatte, en düşük karbonhidrat oranı ise 30 dakikada elde edilmiştir. Ayrıca sonuçlar 1.3 ile 1.6 arasında bulunarak enerji metabolizmasını indüklediği görülmektedir.

4.3.2.2. S. aureus Bakterisi Canlılık (Aktivite) ve Biyokimyasal Parametreleri ile Etkileşimi

Bu çalışma kapsamında tüm istasyonlar için *S. aureus* bakterisinin bakterisi canlılık ve biyokimyasal parametrelerinin birbiri ile etkileşimi incelenmiştir. Bu etkileşime ait sayısal veriler EK 4'te verilmiştir.

Tüm istasyonlar için S. aureus bakterisine ait canlılık ve protein parametrelerinin korelasyon katsayısı 0.991 ($p<0.01$) değeri ile birlikte en yüksek 30 dakika süre maruziyette tespit edilmiştir. Bu değer, 2 saat süre maruziyette 0.987 ($p<0.01$), 4 saat süre maruziyette 0,986 ($p<0.01$) ve 24 saat süre maruziyette 0.949 ($p<0.01$) olarak tespit edilmiştir.

S. aureus bakterisine ait canlılık ve antioksidan parametrelerinin korelasyon katsayısı 0.491 değeri ($p<0.05$) ile birlikte en yüksek 24 saat süre maruziyette tespit edilmiştir. Bu katsayı, 2 saat süre maruziyette 0.360, 4 saat süre maruziyette 0.254 ve 30 dakika süre maruziyette (-) 0.244 olarak tespit edilmiştir.

S. aureus bakterisine ait canlılık ve karbonhidrat parametrelerinin korelasyon katsayısı 0.581 değeri ($p<0.05$) ile birlikte en yüksek 24 saat süre maruziyette tespit edilmiştir Bu katsayı, 4 saat süre maruziyette (-) 0.054, 2 saat süre maruziyette (-) 0.051 ve 30 dakika süre maruziyette (-) 0.130 olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda canlılık ve protein arasında ilişki olduğunu ve protein mekanizmasının canlılık metabolizmasını indüklediğini, diğer bakteri biyokimyasal parametreleri ile canlılık arasında anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür.

4.3.2.3. PM Maruziyetinin İstasyon Bazında S. aureus Üzerine Etkisi

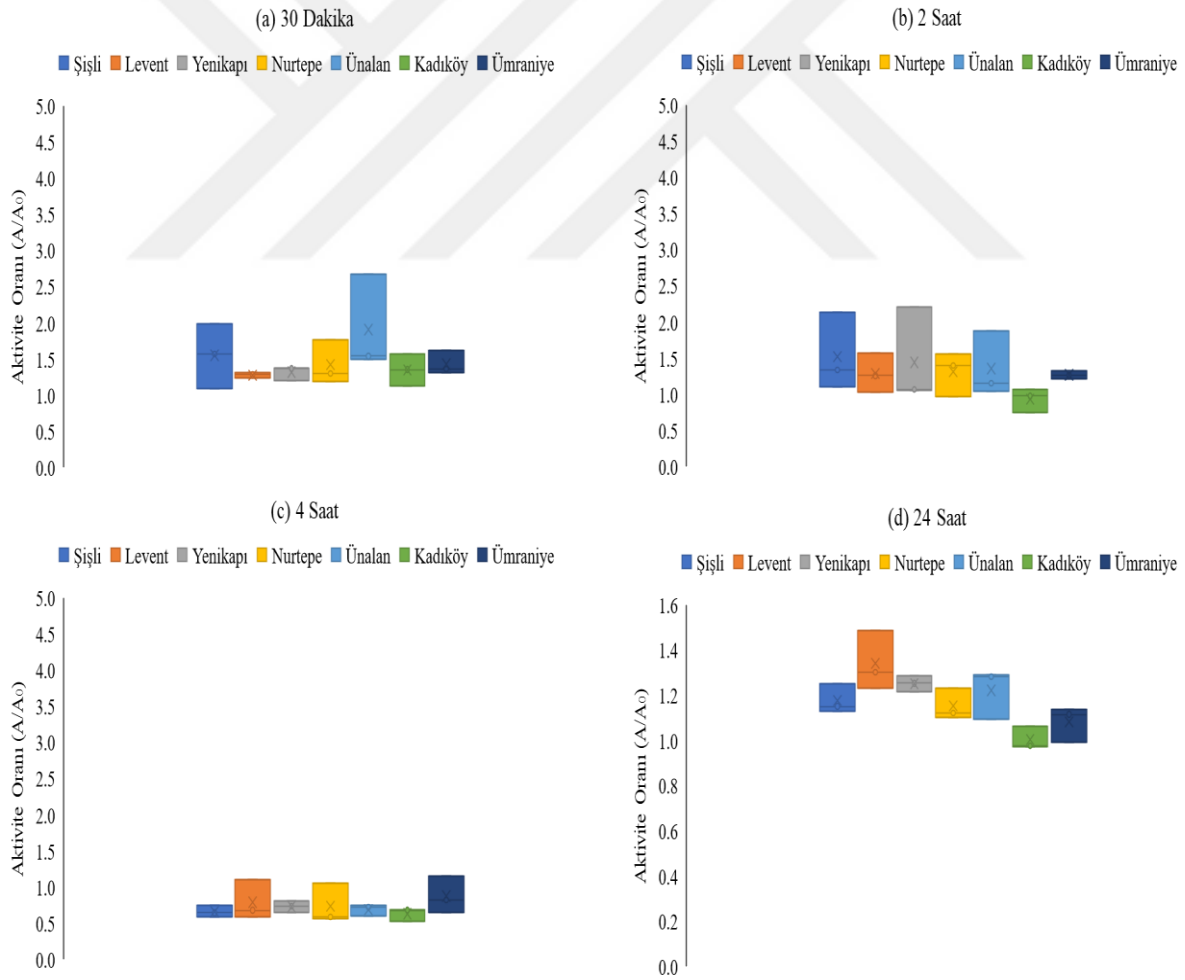
İstasyon bazında *S. aureus* için gerçekleştirilen canlılık ve biyokimyasal parametreler ayrı ayrı incelenmiştir. Canlılık sonuçları Şekil 4.7'de gösterilmekte olup, her istasyon ortalama canlılık sonuçları 1'den büyük tespit edilmiştir. Buna göre canlılık oranları sırasıyla;

30 dakika için; Ünalan>Şişli>Nurtepe=Kadıköy=Ümraniye>Levent=Yenikapı

2 saat için; Şişli>Yenikapı=Ünalan>Levent=Nurtepe=Ümraniye>Kadıköy

4 saat için; Ümraniye>Levent>Şişli=Yenikapı=Nurtepe=Ünalan>Kadıköy

24 saat için; Levent=Yenikapı>Şişli=Nurtepe=Ünalan>Ümraniye>Kadıköy şeklinde bulunmuştur.



Şekil 4.7: İstasyonlara göre *S. aureus* bakterisi canlılık sonuçları. (a) 30 dakika maruziyet, (b) 2 saat maruziyet, (c) 4 saat maruziyet, (d) 24 saat maruziyet sonuçlarını göstermektedir.

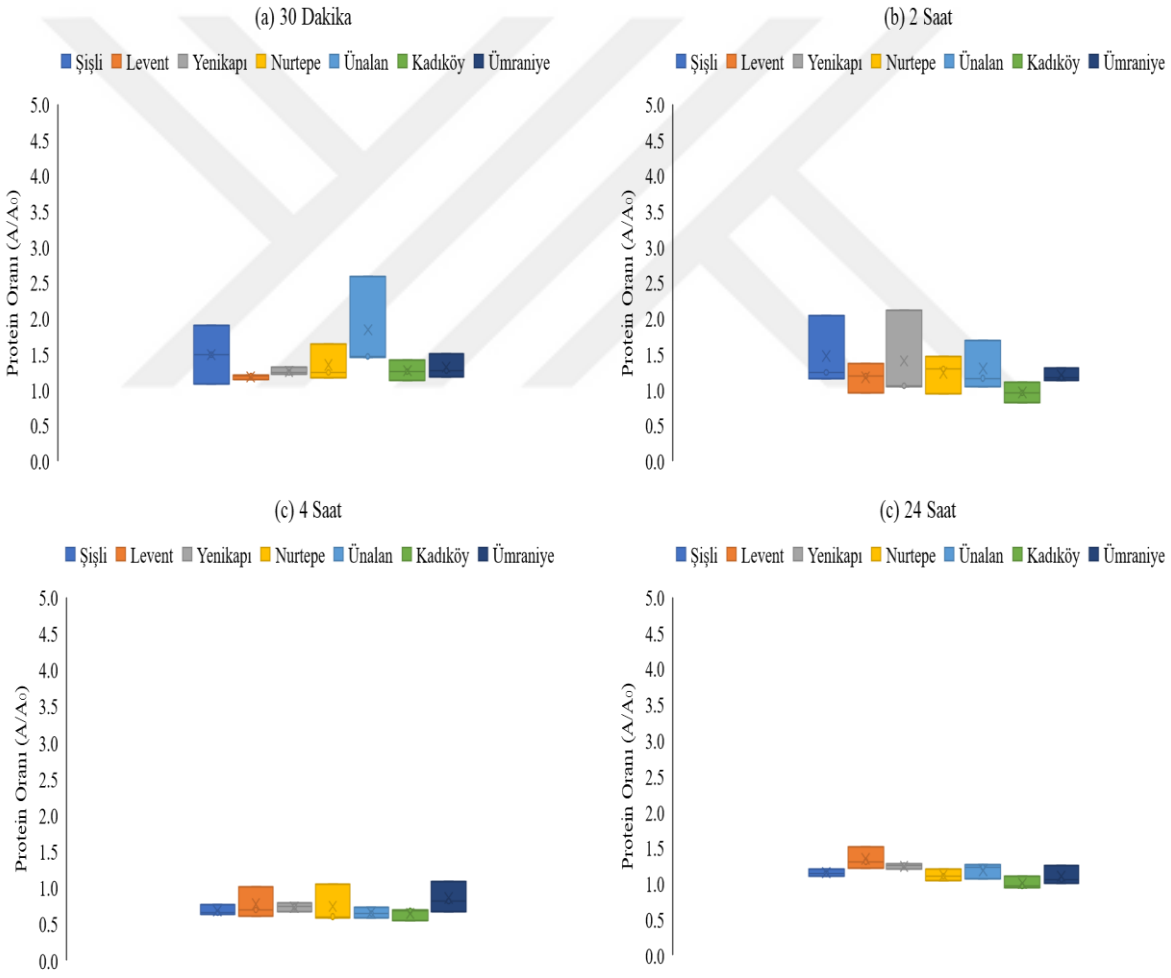
Protein cevapları Şekil 4.8'de gösterilmektedir. Bu bilgiler ışığında istasyon ve maruziyet sürelerine göre protein sıralaması;

30 dakika için; Ünalan>Şişli>Nurtepe>Yenikapı=Kadıköy=Ümraniye>Levent

2 saat için; Şişli>Yenikapı>Ünalan>Levent=Nurtepe=Ümraniye>Kadıköy

4 saat için; Ümraniye>Levent>Şişli=Yenikapı=Ünalan>Nurtepe=Ümraniye>Kadıköy

24 saat için; Levent>Şişli=Yenikapı=Ünalan>Nurtepe=Ümraniye>Kadıköy şeklinde bulunmuştur.



Şekil 4.8: İstasyonlara göre *S. aureus* bakterisi protein sonuçları. (a) 30 dakika maruziyet, (b) 2 saat maruziyet, (c) 4 saat maruziyet, (d) 24 saat maruziyet sonuçlarını göstermektedir.

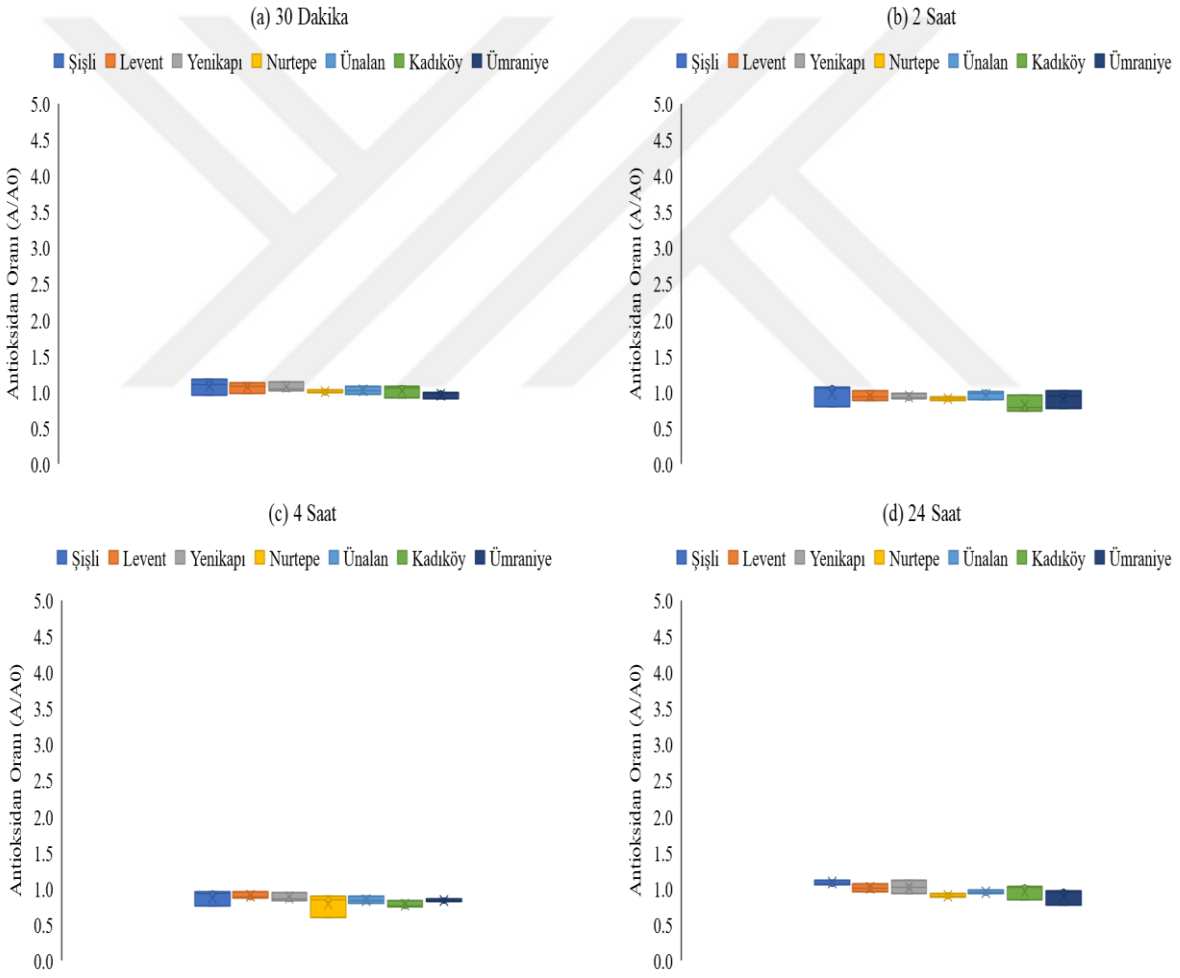
Antioksidan cevapları Şekil 4.9'da gösterilmektedir. Bu bilgiler ışığında istasyon ve maruziyet sürelerine göre antioksidan sıralaması;

30 dakika için; Şişli=Levent=Yenikapı>Nurtepe=Ünalan=Kadıköy=Ümraniye

2 saat için; Şişli = Ünalan>Levent=Yenikapı=Nurtepe=Ümraniye>Kadıköy

4 saat için; Şişli=Levent=Yenikapı>Nurtepe=Ünalan=Kadıköy=Ümraniye

24 saat için; Şişli>Levent=Yenikapı=Ünalan=Kadıköy>Nurtepe=Ümraniye şeklinde bulunmuştur.



Şekil 4.9: İstasyonlara göre *S. aureus* bakterisi antioksidan sonuçları. (a) 30 dakika maruziyet, (b) 2 saat maruziyet, (c) 4 saat maruziyet, (d) 24 saat maruziyet sonuçlarını göstermektedir.

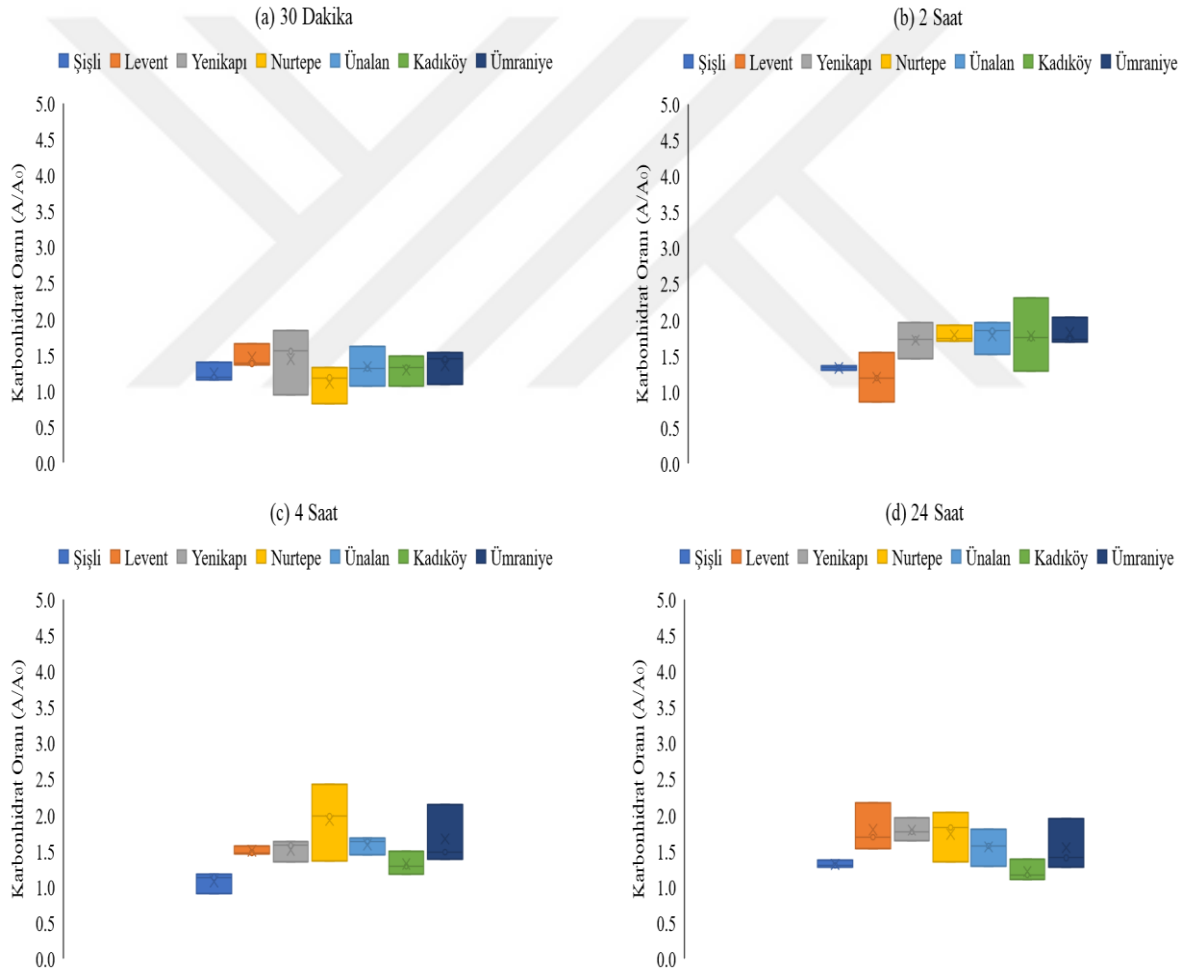
Karbonhidrat sonuçları Şekil 4.10'da gösterilmektedir. Bu bilgiler ışığında istasyon ve maruziyet sürelerine göre karbonhidrat sıralaması;

30 dakika için; Levent>Yenikapı=Ümraniye>Ünalan=Ümraniye>Şişli>Nurtepe

2 saat için; Nurtepe=Ünalan=Kadıköy=Ümraniye>Yenikapı>Şişli>Levent

4 saat için; Nurtepe>Ümraniye>Ünalan>Levent=Yenikapı>Kadıköy>Şişli

24 saat için; Levent=Yenikapı>Nurtepe>Ünalan>Ümraniye>Şişli>Kadıköy şeklinde bulunmuştur.



Şekil 4.10: İstasyonlara göre *S. aureus* bakterisi karbonhidrat sonuçları. (a) 30 dakika maruziyet, (b) 2 saat maruziyet, (c) 4 saat maruziyet, (d) 24 saat maruziyet sonuçlarını göstermektedir.

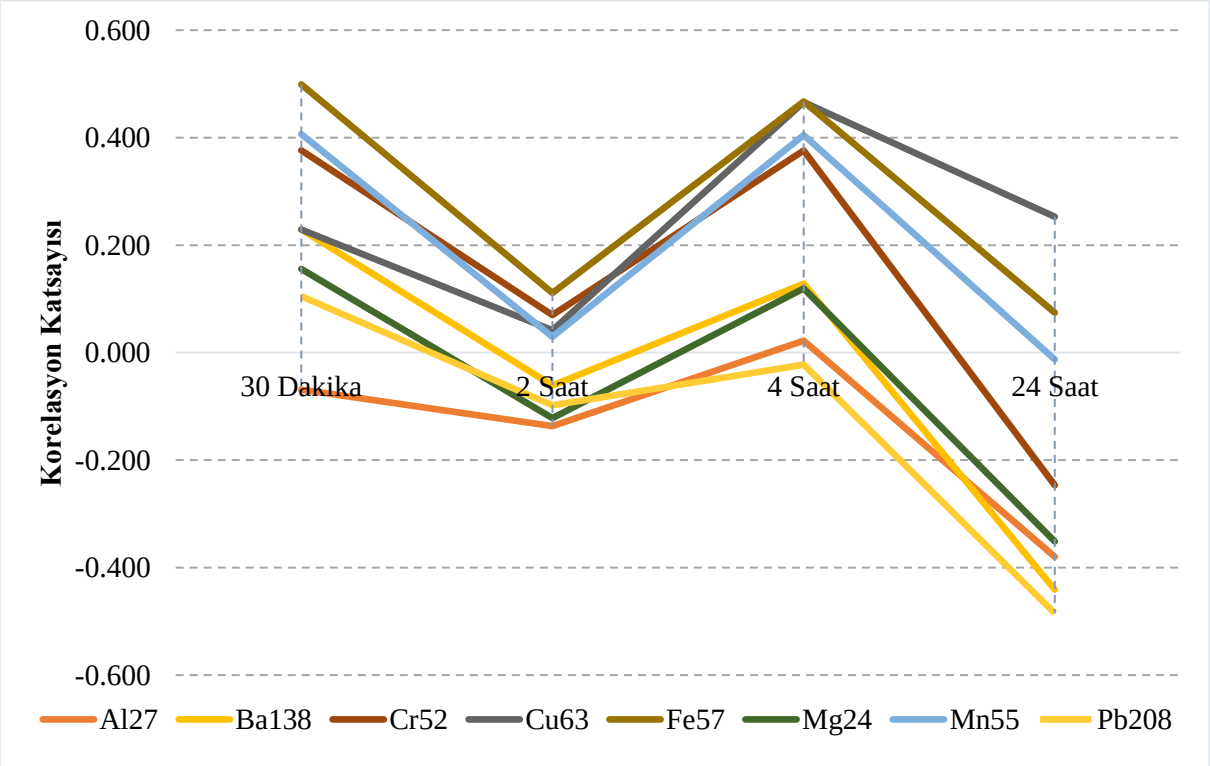
4.4. METALLER İLE MİKROORGANİZMALARIN CANLILIK VE PROTEİN PARAMETRELERİ İLE İLİŞKİSİ

Bu çalışmada canlılık, protein, antioksidan ve karbonhidrat parametreleri ile Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Mg, Pb, Mn, Cr elementleri arasındaki ilişki, korelasyon katsayısı ile hesaplanmıştır. Korelasyon değerleri pozitif yönde (+) 0.50 ile negatif yönde (-) 0.50 değerleri arasında anlamlı kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen verile ışığında canlılık metabolizması ile antioksidan ve karbonhidrat mekanizmaları arasında anlamlı ilişki olmadığının görülmesi sebebiyle bu mekanizmalar ile elementler arasındaki ilişki için değerlendirme yapılmamıştır.

4.4.1. *K. pneumoniae* Canlılık Parametresi ile Elementler Arasındaki İlişki

Tüm istasyonlar için *K. pneumoniae* bakterisinin canlılık parametresi ile çalışma kapsamında analiz edilen Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Mg, Cr ve Pb elementlerinin zamana bağlı ilişkisi 4.11'de verilmiştir.

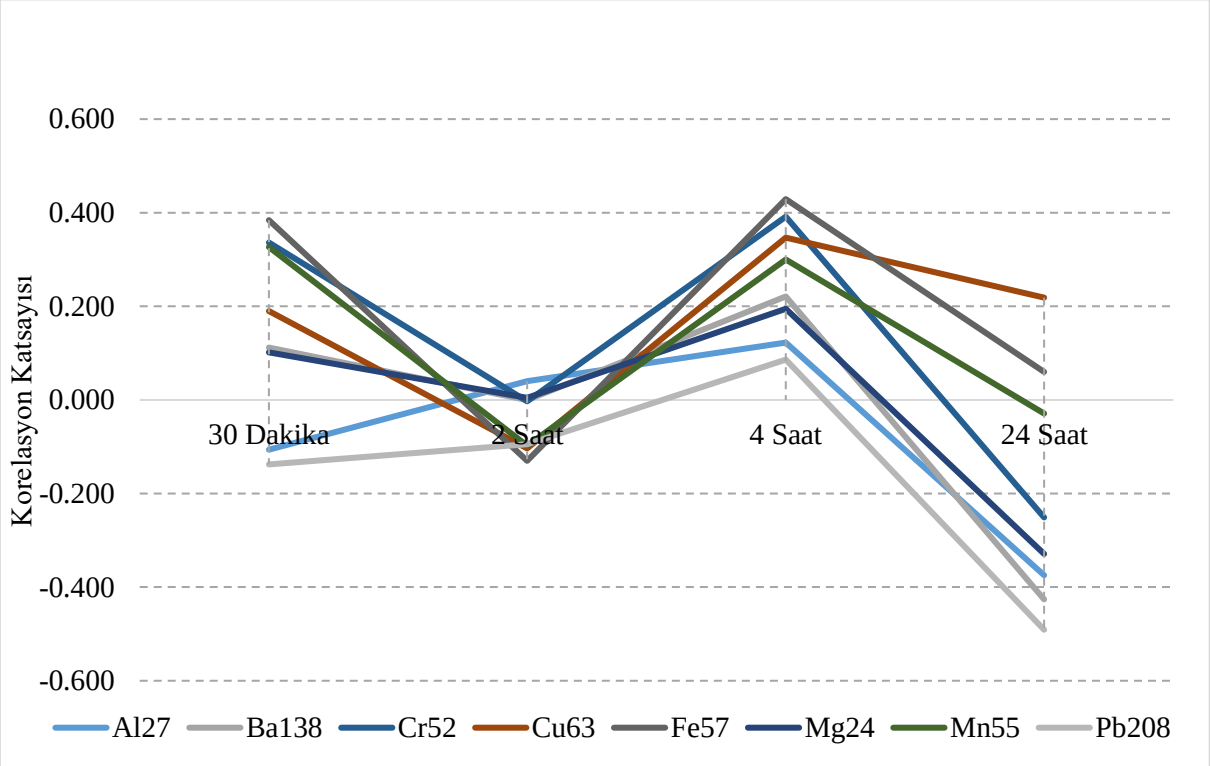


Şekil 4.11: *K. pneumoniae* ile metallerin tüm istasyonlar için canlılık parametresi üzerinde zamana bağlı ilişkisi.

Canlılık metabolizması ile elementlerin zamana bağlı ilişkisi incelendiğinde Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Mg, Cr ve Pb elementlerinin maruziyet süresi arttıkça korelasyon katsayısının azaldığı ve negatif ilişki içerisine geçtiği, 4 saat süre maruziyette ilişkinin tersine dönüp elementlerin canlılık metabolizmasını indüklediği tespit edilmiştir. Elementlerin 4 saat süre maruziyetten sonra tekrar *K. pneumoniae* ile negatif ilişkili olma eğilimine sahip olduğu tespit edilmiştir.

4.4.2. ***K. pneumoniae*** Protein Parametresi ile Elementler Arasındaki İlişki

Tüm istasyonlar için *K. pneumoniae* bakterisinin protein parametresi ile çalışma kapsamında analiz edilen Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Mg, Cr ve Pb elementlerinin zamana bağlı ilişkisi 4.12'de verilmiştir.



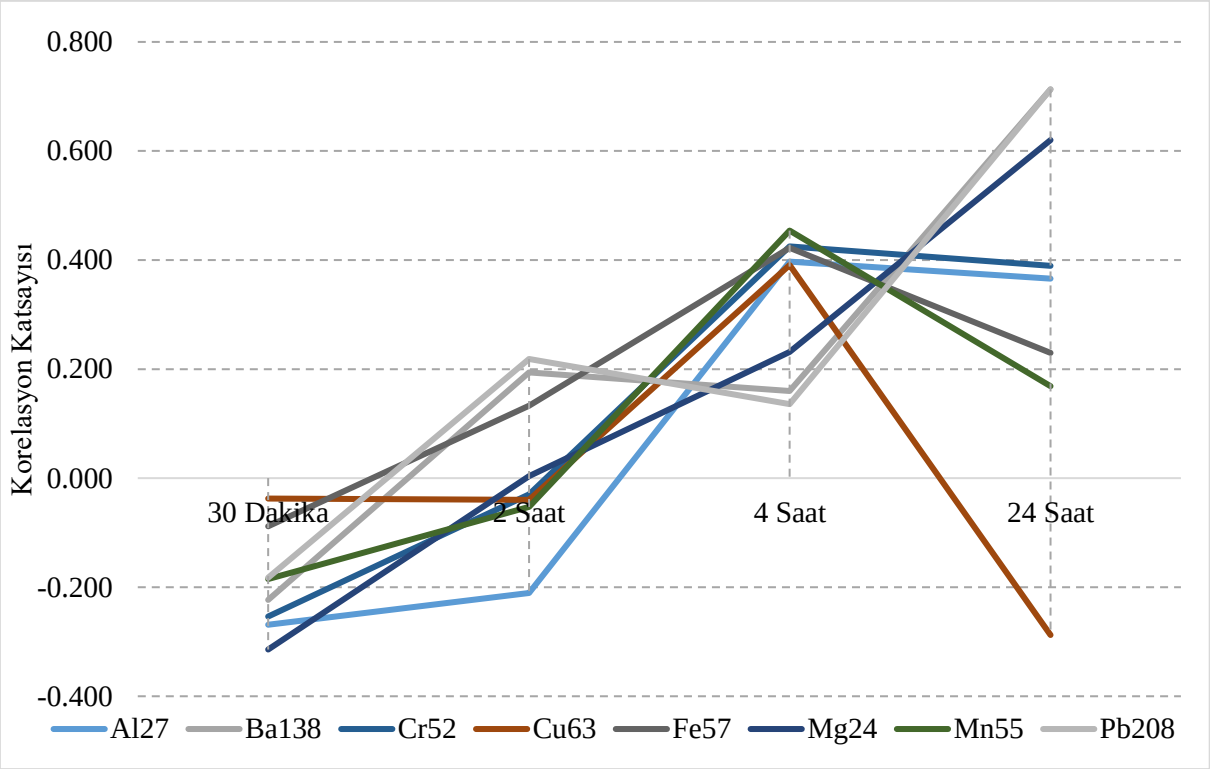
Şekil 4.12: *K. pneumoniae* ile metallerin tüm istasyonlar için protein parametresi üzerinde zamana bağlı ilişkisi.

Protein mekanizması ile elementlerin zamana bağlı ilişkisi incelendiğinde Ba, Cu, Fe, Mn, Mg ve Cr elementlerinin maruziyet süresi arttıkça korelasyon katsayısının azaldığı ve negatif bağımlılığın artışa geçtiği, 4 saat süre maruziyette ilişkinin tersine dönüp elementlerin protein metabolizmasını indüklediği tespit edilmiştir. Bu elementlerin 4 saat süre maruziyetten sonra tekrar negatif bağımlılık gösterme eğilimine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Al ve Pb elementlerinin maruziyet süresi arttıkça korelasyon katsayısının arttığı ve protein metabolizmasını indüklediği tespit edilmiştir. Bu iki elementin 4 saat süre maruziyette negatif bağımlılığı gösterme eğilimine sahip olduğu tespit edilmiştir.

4.4.3. *S. aureus* Canlılık Parametresi ile Elementler Arasındaki İlişki

Tüm istasyonlar için *S. aureus* bakterisinin canlılık parametresi ile çalışma kapsamında analiz edilen Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Mg, Cr ve Pb elementlerinin zamana bağlı ilişkisi 4.13'te verilmiştir.



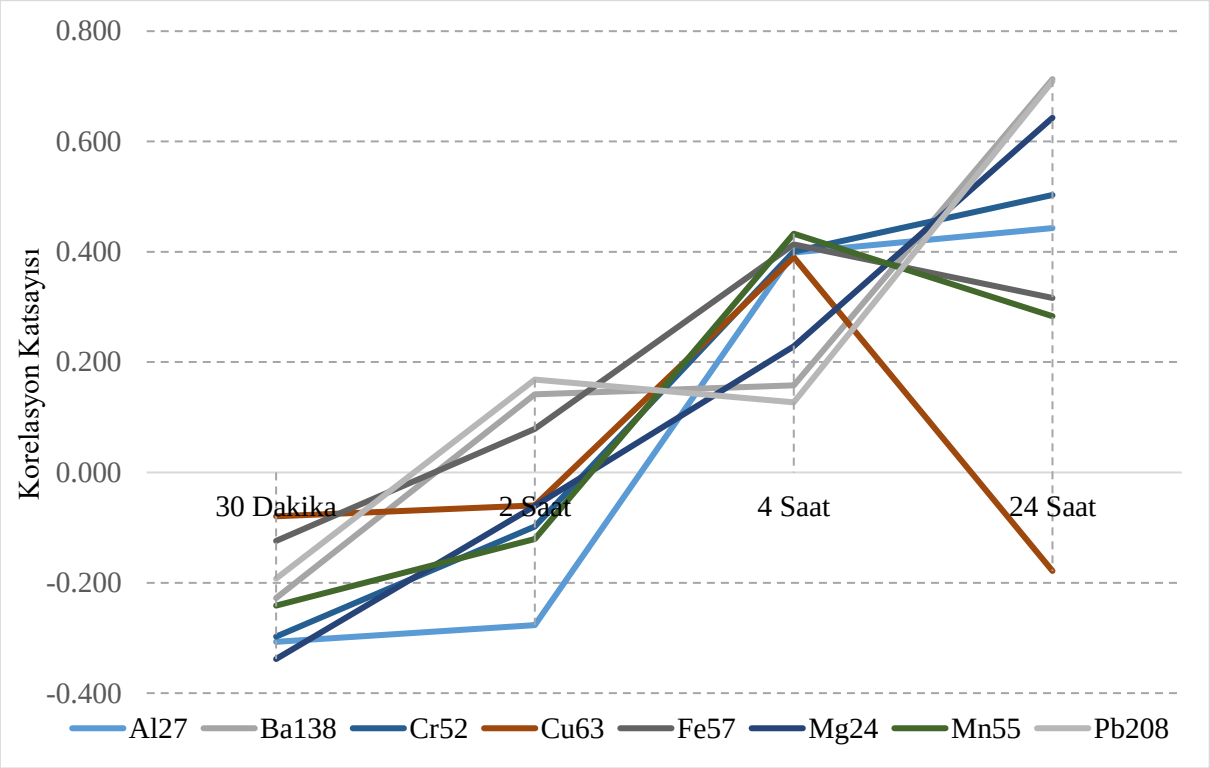
Şekil 4.13: *S. aureus* ile metallerin tüm istasyonlar için canlılık parametresi üzerinde zamana bağlı ilişkisi.

Canlılık metabolizması ile elementlerin zamana bağlı ilişkisi incelendiğinde Al, Fe, Mn, Cr, Cuve Mg elementlerinin maruziyet süresi arttıkça korelasyon katsayısının arttığı canlılık metabolizmasını indüklediği tespit edilmiştir. Mg hariç diğer Al, Fe, Mn, Cr, Cu elementlerinin 4 saat süre maruziyetten sonra tekrar toksik etki gösterme eğilimine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ba ve Pb elementlerinin korelasyon katsayıları zamanla arttığı ve aktivasyonun artışa geçtiği, 2 saat sonunda ilişkinin tersine döndüğü ve toksik etkinin atışa geçtiği tespit edilmiştir.4 saat süre maruziyet sonucunda ise toksik etkinin azaldığı ve pozitif korelasyonda olduğu gözlemlenmiştir.

4.4.4. *S. aureus* Protein Parametresi ile Elementler Arasındaki İlişki

Tüm istasyonlar için *S. aureus* bakterisinin protein parametresi ile çalışma kapsamında analiz edilen Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Mg, Cr ve Pb elementlerinin zamana bağlı ilişkisi 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14: *S. aureus* ile metallerin tüm istasyonlar için protein parametresi üzerinde zamana bağlı ilişkisi.

Protein mekanizması ile elementlerin zamana bağlı ilişkisi incelendiğinde Al, Ba, Cr ve Mg elementlerinin maruziyet süresi arttıkça korelasyon katsayısının arttığı protein metabolizmasını indüklediği tespit edilmiştir.

Mn, Cu ve Fe elementlerinin maruziyet süresi arttıkça korelasyon katsayısının arttığı protein metabolizmasını indüklediği ve 4 saat maruziyetten sonra tekrar negatif ilişkili olduğu ve aktivasyonu inhibe etki gösterme eğilimine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Pb elementi korelasyon katsayıları zamanla arttığı ve aktivasyonun artışa geçtiği, 2 saat süre maruziyette ilişkinin tersine döndüğü ve inhibisyonu etkilediği tespit edilmiştir. 4 saat süre maruziyet sonucunda ise toksik etkinin azaldığı ve aktivasyonun artışa geçtiği gözlemlenmiştir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada 22.10.2021 - 11.01.2022 tarihleri arasında İstanbul metrosunda yer alan M2 (Yenikapı-Hacıosman), M4 (Kadıköy-Sabiha Gökçen Havalimanı), M5 (Üsküdar-Çekmeköy) ve M7 (Mecidiyeköy-Mahmutbey hatlarında seçilen Şişli, Levent, Yenikapı, Ünalan, Kadıköy, Ümraniye ve Nurtepe istasyonlarında ortam havasından filtre üzerine $PM_{2.5}$ örneklemesi yapılmış ve PM örneklerine maruz bırakılan *K. pneumoniae* ve *S. aureus* türü bakterilerin 30 dakika, 2 saat, 4 saat ve 24 saatlik süreler sonunda canlılık, protein, karbonhidrat ve antioksidan biyokimyasal tepkileri ölçülmüştür. Canlılık ile biyokimyasal parametreler arasındaki ilişki ve PM içeriğinde bulunan elementler ile biyokimyasal parametreler arasındaki ilişki incelenmiş, PM varlığında bakterilerin canlılıkları üzerine etkisi değerlendirilmiştir.

İstasyonlarda ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının en yüksekten en düşüğe doğru; 206±18 $\mu g/m^3$ (Ümraniye), 187±44 $\mu g/m^3$ (Levent), 130±9 $\mu g/m^3$ (Yenikapı), 119±12 $\mu g/m^3$ (Ünalan), 118±23 $\mu g/m^3$ (Şişli), 96±23 $\mu g/m^3$ (Nurtepe) ve 72±10 $\mu g/m^3$ (Kadıköy) olarak sıralandığı görülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun genellikle 60-90 $\mu g/m^3$ aralığında olduğu görülmektedir. Bu çalışmada Kadıköy ve Nurtepe istasyonları dışında diğer tüm istasyonların PM konsantrasyonlarının bu değer aralığından çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ümraniye istasyonu konsantrasyonunun bu değer aralığından yaklaşık 3 kat daha fazla olması gözlemlenen en kritik bulgulardan biridir.

Ümraniye istasyonu yeni yapılan bir hat üzerinde bulunmasına rağmen en yüksek $PM_{2.5}$ konsantrasyonuna sahip olan istasyon olarak belirlenmiştir. Derinliği en fazla olan ve yarım PAKS ile donatılmış Ümraniye istasyonu, PAKS'a sahip olmayan ve yaklaşık iki kat fazla günlük yolcu ve sefer sayısına sahip olan Yenikapı, Şişli ve Levent istasyonları ile kıyaslandığında çok daha yüksek $PM_{2.5}$ konsantrasyonuna sahiptir. Yolcu sayısının ve sefer sıklığının fazla olması, metro ağının açılış tarihinin eski olması normal koşullarda $PM_{2.5}$ konsantrasyonunu arttırıcı yönde etkilemektedir. Ancak Ümraniye istasyonu konsantrasyonunun fazla olmasının sebebi otomatik sürücü ile hareket ettirilen trende, tren rayı ve tekerlek sürtünmesi ve aşınması sonucu açığa çıkan PM, rayların viraj durumu, fren sistemi gibi operasyonel faktörler dolayısıyla olabilmektedir.

Ünalan ve Kadıköy istasyonları aynı hatta yer almalarına ve yolcu kapasitesi, araç sayısı gibi parametreler bakımından aynı verilere sahip olmalarına karşın Kadıköy istasyonunda $PM_{2.5}$ konsantrasyonu daha az olarak gözlemlenmektedir. Ünalan istasyonu metrobüs ile aktarma yapılan bir istasyon olması sebebiyle yolcu iniş-biniş sıklığı çok daha fazladır. Ayrıca Kadıköy hattın ilk istasyonudur ve PAKS'a sahip olmayan bu hatta trenin piston etkisiyle oluşan havalandırma Ünalan ve sonraki diğer istasyonlar boyunca etki göstermektedir. Belirtilen bu etkenler Ünalan istasyonunda $PM_{2.5}$ konsantrasyonun daha fazla olmasına sebep olabilmektedir. Nurtepe istasyon yolcu sayısı ve hat derinliği gibi parametreler açısından Kadıköy istasyonuna benzer özelliklere sahip olmasına karşın daha fazla $PM_{2.5}$ konsantrasyonuna sahip olduğu gözlemlenmektedir. Yarım PAKS ile donatılan bu istasyonda ortalama yolcu sayısının daha fazla olması, istasyonun operasyonel koşulları ile birlikte, tren rayı ve tekerlek gibi bileşenlere ait malzemeler bu iki istasyon için PM kosantrasyonları arasında farklılığa yol açmış olabileceği düşünülmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalarda istasyonlarda Fe konsantrasyonu Helsinki metrosunda 29±7 $\mu g/m^3$ ($PM_{2.5}$'un % 60'ı) (Aarnio ve diğ., 2005), New York metrosunda 194 $\mu g/m^3$ ($PM_{2.5}$'un % 52'i) (Azad ve diğ., 2023), Ca konsantrasyonu 1.7 $\mu g/m^3$ ve Al konsantrasyonu 0.7 $\mu g/m^3$ (Querol ve diğ., 2012), Ba konsantrasyonu 54.1 ng/m^3, Pb konsantrasyonu 1.1 ng/m^3, Mn konsantrasyonu 136.4 ng/m^3, Cr konsantrasyonu 36.6 ng/m^3, Al konsantrasyonu 657 ng/m^3, Cu konsantrasyonu 38.5 ng/m^3 ve Mg konsantrasyonu 106.8 ng/m^3 bulunmuştur (Guo ve diğ., 2014). Bu sonuçlar ile çalışmada seçilen istasyonların konsantrasyonları kıyaslandığında Al konsantrasyonun daha az olduğu, Ba konsantrasyonu sadece Ünalan, Kadıköy ve Ümraniye istasyonları için daha az olduğu ve Mn, Cu, Mg, Cr, Pb ve Fe konsantrasyonlarının çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

S. aureus bakterisi üzerinde yapılan çalışmalarda kullanılan örneklere ait elementel analiz sonuçlarının ortalama 3 farklı filtre konsantrasyonlarının Fe elementi için 17008.3 ng/m^3 ile 118233.0 ng/m^3; Al elementi için 246.7 ng/m^3 ile 5856.3 ng/m^3; Ba elementi için 25.8 ng/m^3 ile 2232.0 ng/m^3; Mn elementi için 270.4 ng/m^3 ile 1127.0 ng/m^3; Cu elementi için 111.4 ng/m^3 ile 3048.4 ng/m^3; Mg elementi için 135.5 ng/m^3 ile 1,492.3 ng/m^3; Cr elementi için 52.1 ng/m^3 ile 332.6 ng/m^3 ve Pb elementi için 10.1 ng/m^3 ile 68.4 ng/m^3 aralığında olduğu tespit edilmiştir. En yüksek Mn, Cu ve Fe konsantrasyonlarına sahip olan istasyon Ümraniye olurken, Al, Ba, Mg, Cr, Pb konsantrasyonlarına sahip olan istasyonun Levent olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada PM konsantrasyonlarının en yüksek olduğu istasyonların Ümraniye ve Levent olduğu belirlenmiştir. PM içeriğinde bulunan bu elementlerin konsanrasyonlarının da PM konsantrasyonu ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir.

K.penumonia bakterisi üzerinde yapılan çalışmalarda kullanılan örneklere ait elementel analiz sonuçlarının ortalama 3 farklı filtre konsantrasyonlarının Fe elementi için 18405.2 ng/m^3 ile 95295.6 ng/m^3; Al elementi için 107.9 ng/m^3 ile 488.3 ng/m^3; Ba elementi için 17.7 ng/m^3 ile 1451.8 ng/m^3; Mn elementi için 290.9 ng/m^3 ile 895.5 ng/m^3; Cu elementi için 197.5 ng/m^3 ile 2564.2 ng/m^3; Mg elementi için 108.5 ng/m^3 ile 948.6 ng/m^3; Cr elementi için 55.2 ng/m^3 ile 239.8 ng/m^3 ve Pb elementi için 6.4 ng/m^3 ile 98.9 ng/m^3 aralğında olduğu tespit edilmiştir. En yüksek Mn, Cu ve Fe konsantrasyonlarına sahip olan istasyon Ümraniye olduğu, Ba, Mg, Cr, konsantrasyonlarına sahip olan istasyonun Levent olduğu, Pb konsantrasyonu için Şişli istasyonu ve Al konsantrasyonu için Yenikapı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu konsantrasyonların istasyon bazından dağılımı *S. aureus* bakterisi için kulanılan örneklere benzemektedir, yalnızca Pb ve Al elementlerinin konsantrasyonlarının en yüksek olduğu istasyonlar sırasıyla Şişli ve Yenikapı olarak tespit edilmiştir. Ancak bu konsantrasyon değerlerinin Levent istasyonundan elde edilenlere yakın olduğu gözlemlenmiştir.

K. pneumoniae ve *S. aureus* bakterilerinin PM maruziyetindeki canlılık davranışları incelenmiştir. Her iki bakteri türü için bu davranışlar 30 dakika, 2 saat, 4 saat ve 24 saatlik periyotlarda temel biyokimyasal indikatör olan protein, antioksidan ve karbonhidrat ile analiz edilmiştir. İncelenen bakterilerin canlılıkları ile protein arasında önemli derecede ilişki tespit edilirken, diğer temel parametrelerle anlamlı ilişkiler elde edilmemiştir. Bu sonuçlar literatürde bulunan bakteriler ile toz ve PM arasındaki diğer çalışmalarla değerlendirilmiş olup, Bado ve diğ. (2017) tarafından standard referens maddeleri kullanarak ev ve yol tozlarının metal kimyasal yapısının *E. coli* K-12, *P. aeruginosa* PA01, ve *K.pneumoniae* bakterileri üzerine etkilerini incelemiştir. Canlılık ve protein mekanizmaları önemli derecede değişiklik göstermezken biyofilm oluşumunda farklılıklar gözlenmiştir. Diğer yandan White ve diğ. (2020) yaptığı çalışmada *S. aureus* bakterisinin canlılık, inflammogenicity, ve biyofilm kapasitesi üzerine toz etkisini incelemiş ve canlılıkta oluşan değişimleri farklı stres şartlarında kendilerini korumaya almaları şeklinde yorumlamıştır. Suraju ve diğ. (2015) ise *E. faecalis, E. coli, and P. aeruginosa* bakterileri üzerine iç hava tozlarının etkisini incelemiştir. İç hava (ev) tozu dozuna bağlı olarak bakteri aktivitesinde artış gözlemlemiş ve bunun temel mekanizmasının protein ile ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. Saygın ve diğ. (2023) tarafından

S. aureus ve *E.coli* bakterilerinin PM maruziyetinde biyokimyasal tepkisini tespit etmek amacıyla yapılan çalışmada PM maruziyetinin protein tükenmesine sebep olduğunu ve antioksidan tepkisini azaldığını gözlemlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar neticesinde protein içeriğinin patojen bakterilerin canlılığı ile ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Literatürde PM içerisinde yer alan elementlerin bakteriler üzerinde etkisinin araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu sebeple yapılan çalışmada elde edilen sonuçların literatürle karşılaştırması yapılamamıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen veriler sonucunda M2, M4, M5 ve M7 metro hatları Şişli, Levent, Yenikapı, Ünalan, Kadıköy, Ümraniye ve Nurtepe istasyonlarında ölçülen 24 saatlik ortalama PM konsantrasyonlarının 72 ± 10 g/m^3 ve 206 ± 18 µg/m^3 arasında değiştiği görülmüştür.

EPA tarafından 35 µg/m^3 ve DSÖ tarafından 15 µg/m^3 olarak belirlenen $PM_{2.5}$ için verilen sınır değerleri dış ortamda 24 saat süre maruziyette aşılmaması gereken değerleri nitelemektedir. Ülkemizde ve dünya genelinde kabul görmekte olan DSÖ ve EPA gibi uluslararası kurumlar tarafından henüz iç ortam sınır değerleri tanımlanmamıştır, bu tanımların yapılması ve iç ortam hava kalitesini iyileştirici önlemler ve aksiyonların alınması genel halk ve çevre sağlığını korumak için önem teşkil etmektedir.

Elementel analiz sonucu $PM_{2.5}$ içinde tespit edilen Mn, Cu, Mg, Cr, Pb ve Fe element konsantrasyonlarının dünyanın çeşitli istasyonlarındaki konsantrasyonlardan daha yüksek olduğu, Al ve Ba için ise yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bu elementler tekerlekler, fren balataları gibi hareketli tren parçaları ile çelik raylar arasındaki sürtünmeden, pantograf kullanımından veya katener aşınması gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır. İstasyonlardaki $PM_{2.5}$ konsantrasyonun yüksek olması bu elementlerin konsantrasyonlarının yüksek olmasını etkilemektedir.

Canlılık analizlerindee istasyonlardaki $PM_{2.5}$'un her iki bakteri türü için 1'den büyük değerler vermesi sonucu $PM_{2.5}$'un canlılığı indüklediği görülmüştür. En yüksek veriler 24 saat süre maruziyette elde edilirken en düşük veriler 4 saat süre maruziyette elde edilmiştir. Protein ve karbonhidrat mekanizmalarının genel olarak canlılığı indüklediği, antioksidan mekanizmasının ile negatif ilişki gösterdiği ve inhibisyona yol açtığı görülmüştür.

K. pneumoniae bakterisi canlılık ve protein mekanizmaları ile Al, Ba, Mn, Cu, Mg, Cr, Pb, Fe elementlerinin arasındaki ilişki incelendiğinde bu elementlerin zamana bağlı olarak canlılık ve protein mekanizması üzerinde negatif bağımlılık gösterdiği tespit edilmiştir. *S. aureus* bakterisi canlılık ve protein mekanizmaları ile Al, Ba, Mn, Cu, Mg, Cr, Pb ve Fe elementlerinin

arasındaki ilişki incelendiğinde bu elementlerin zamana bağlı olarak canlılık ve protein mekanizmasını aktive ettiği tespit edilmiştir.

Gram negatif olan *K. pneumonia* ve gram pozitif *S. aureus* bakterisinin genel tepkisinin aktivasyon olduğu görülmüştür. Bakteriler arasındaki farklı canlılık oranları bakterilerin gram (+) ve gram (-) olmaları yani hücre duvarlarıyla temelde ilgili olduğunu ortaya koymaktadır.

Canlılık ve protein mekanizmasının indüklenmesi insan sağlığı açısından önemli riskler taşıyan bu bakteri türlerinin yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için uygun koşulların sağlandığını göstermektedir. Bu çalışmada her iki bakteri türü için de canlılık mekanizmalarının kısa süreli maruziyetlerde artma eğilimi gösterdiği ve daha sonra azalıp geçirilen zamanın 24 saate yaklaşması ile tekrar artışa geçtiği gözlemlenmiştir. Metro istasyonlarında çalışan personeller haricinde yolcuların metrolarda kısa süreli vakit geçirdiği göz önünde bulundurulduğunda bakterilerin canlılığının artması ile ilişkili olarak artan hastalık yapıcı etkiye sahip bu bakterilere maruz kalınması yolcular açısından çeşitli olası sağlık problemlerine sebep olma ihtimali bulunmaktadır. Bununla birlikte, maruziyet süresinin 24 saate yaklaşması ile tekrar artışa geçen canlılık mekanizmasına ait sonuçlar istasyonlarda uzun vardiya sürelerinde çalışanların sağlığının etkilenebileceğini ortaya koymaktadır. Canlılık özelliği artmakta olan bakterilere maruz kalmak, çalışanlar açısından kısa sürede sağlık problemlerine sebep olmasa dahi uzun saatler çalışma sonucu etki gösterme ihtimalinden endişelenilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak metro $PM_{2.5}$'unun bakterilerin canlılık metabolizmalarını indüklediği görülmüştür. Genel halk sağlığı açısından her metro istasyonunun yerel şartları ve özellikleri dikkate alınarak gerekli önlemlerin alınması, metrolardaki PM konsantrasyonunu azaltıcı faaliyetlerin hayata geçirilmesi önem arz etmektedir. Bunun için partiküllerin yayılmasına sebep olan aktivitelerin önlenmesi gerekmektedir. Uygun olan son teknolojilerin tercih edilmesi, tünel temizliğinin belirli periyotlarda yapılması, istasyon platformlarına hava temizleyicilerin yerleştirilmesi, hava perdesinin kullanılması ve HVAC sisteminin kullanılması gibi önlemler alınarak metro istasyonlarında hava kalitesi iyileştirilmelidir.

KAYNAKLAR

Aarnio, P., Yli-Tuomġ,T., Kousa, A., Makela, T., Hirsikko, A., Hameri, K., Raisanen, M., Hillamo, R., Koskentalo, T., Jantunen, M., 2005, The concentrations and composition of and exposure to fine particles ($PM_{2.5}$) in the Helsinki subway system, Atmospheric Environment 39, 5059-5066.

Alemeyahu, Y.A., Asfaw, S.L., Terfie, T.A., 2020, Exposure to urban particulate matter and its association with human health risks, Environmental Science and Pollution Research, 27, 27491–27506.

Alay, E., Duran, K., Körlü, A., Yurdakul, B., 2014, Biyobozunur Liflerin Antibakteriyel Özellikleri, XIII. Uluslararası İzmir Tekstil ve Hazır Giyim Sempozyumu, 1099, 2011-2.

Altınok, U.B., Göktepe, F., 2008, Tekstil Yüzeylerinin Antibakteriyel Özelliklerinin Araştırılması,Süleyman Demirel Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

An, H.A., Mainelis, G., Yao, M., 2004, Evaluation of a high-volume portable bioaerosol sampler in laboratory and field environments, Indoor Air, 14, 385–393.

Anderson, H.R., Peacock, J.L. Bremner, S.A., Marston, L., Seemungal, T.A., Strachan, D.P., Wedzicha, J.A., 2011, Outdoor Air Pollution and Respiratory Health in Patients with COPD, Thorax 66, 591–596.

Anonymous., 2011, "Particulate Matter | Air & Radiation | US EPA", US Environmental Protection Agency, http://www.epa. gov/pm/ [Erişim Tarihi: 22 Temmuz 2011].

ASHRAE Standard 62.2-2022 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings, 2022.

Ashurst, J. V., Dawson, A., 2023, *Klebsiella Pneumonia*, NCBI Bookshelf, A service of the National Library of Medicine, National Institutes of Health, Bookshelf ID: NBK519004.

Atalay O., 2006, Magnezyum ve Alaşımlarının Konstrüksyon Malzemesi Olarak Otomotivde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Azad, S., Luglio, D.G., Gordon, T., Thurson, G., Ghandehari, M., 2023, Particulate matter concentration and composition in the New York City subway system, Atmospheric Pollution Research 14, 101767.

Ustabaşı, G., Baysal, A., 2019, Bacterial interactions of microplastics extracted from toothpaste under controlled conditions and the influence of seawater, Science of the Total Environment, 703, 135024.

Birenzvige, A., Eversole, J., Seaver, M., Francesconi, S., Valdes, E., Kulaga, H., 2003, Aerosol characteristics in a subway environment, Aerosol Science and Technology, 37, 210-220.

Boudia, N., Halley, R., Kennedy, G., 2006, Manganese concentrations in the air of the Montreal (Canada) subway in relation to surface automobile traffic density, Science of the Total Environment, 366, 143-147.

Bado, M., Kwende, S., Shishodia, S., Rosenzweig, J.A., 2017, Impact of dust exposure on mixed bacterial cultures and during eukaryotic cell co-culture infections, Applied Microbiology and Biotechnology, 101, 7027–7039.

Barlas, N., 2010, Adapte Bakteri Kültürleri Kullanımının Deşarj Noktalarında Su Kalitesi Üzerinde İyileştirici Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Boztepe, H., 1999, Anorganik Kimya Prensip ve Uygulamaları, Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Adana.

Biswas, S.K., Tarafdar, S.A., Islam, A., Khaliquzzaman, M., 2001, Investigation of sources of atmospheric particulate matter (APM) at an urban area in Bangladesh, AECD/CH/ 55. Bangladesh Atomic Energy Commission, Dhaka, Bangladesh.

Brągoszewska, E., Biedroń, I., Hryb, W., 2020, Microbiological air quality and drug resistance in airborne bacteria isolated from a waste sorting plant located in Poland-A case study, Microorganisms, 8(2), 202.

Brągoszewska, E., Biedroń, I., 2018, Indoor air quality and potential health risk ımpacts of exposure to antibiotic resistant bacteria in an office rooms in southern Poland, International Journal of Environmental Research Public Health, 15(11), 2604.

Brooks, S., 1986, Pulmonary reactions to miscellaneous mineral dusts, man-made mineral fibers, and miscellaneous pneumoconioses, In J. A. Merchant (Ed.), Occupational respiratory diseases, 86–102.

Brunekreef, B., Holgate, S.T., 2002, Air pollution and health, The lancet, 360 (9341), 1233-1242.

Burger, A., Lichtscheidl, I., 2019, Strontium in the environment: Review about reactions of plants towards stable and radioactive strontium isotopes, Science of the Total Environment, 653, 1458–1512.

Calvert, J.G., Stockwell, W.R., 1987,Acid generation in the troposphere by gasphase chemistry, Environmental Science and Technology, 17, 428.

Chao, C.Y.,Wong, K.K., 2002, Residential indoor PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Hong Kong and the elemental composition, Atmospheric Environment, 36, 265.

Chmiel, M.J., Frączek, K., Grzyb, J., 2015, Problemy monitoringu zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 49, 17–27.

Chow, J.C., 1995, Measurement Methods to Determine Compliance with Ambient Air Qulaity Standards for Suspended Particles, Journal of the Air & Waste Management Association, 45, 320–382.

Churkina, G., Kuik F., Bonn, B., Grote, R., Tomiak, K., Butler, T.M., 2017, Effect of VOC Emissions from Vegetation on Air Quality in Berlin during a Heatwave, Environmental Science & Technology, 51, 11, 6120–6130.

Cucarella, C., Solano, C., Valle, J., Amorena, B., Lasa, I., Penadés, JR. Bap, 2001, Staphylococcus aureus surface protein involved in biofilm formation, J Bacteriol, 183, 2888-2896.

Cullen, L. and McClean, S., 2015, Bacterial adaptation during chronic respiratory infections. Pathogens 4, 66–89.

Çalışkan, N., 2017, Bir Metal Kaplama Tesisinde İşyeri Hava Kalitesinin Araştırılması, Yüksek Lisana Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 480586.

Çavuşoğlu, K., Çakır, Ş., Kırındı, T., 2006, Kırıkkale İlinin Çeşitli Bölgelerinde Yol Kenarlarından Toplanan Pinus Nigra (J.F. Arnold) Subsp. Nigra Var.Caramanica (Loudon) Rehder Türündeki Kurşun (Pb) Kirliliğin Araştırılması, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11, 11-26.

De Vos, P., Garrity, G., Jones, D., Krieg, N.R., Ludwig, W., Rainey, F.A., Schleifer, K.H., Whitman, W.B., 2009, Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, 2th ed., Volume 3, New York: Springer.

Dominici, F., Peng, R.D., Bell, M.L., Pham, L., McDermott, A., Zeger, S.L., Samet, J.M., 2006, Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases, JAMA 295(10):1127–1134.

Dündar, MS., Deryaoglu, N., 2005, Heavy Metal Determinations in Outdoor Atmospheric Dust Depositions, Fresenius Environmental Bulletin by PSP Volume 14 – No 3.

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., Smith, F., 1956, Colorimetric method for determination of sugars and related substances, Analytical Chemistry 28(3), 350–356.

Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer K.H., Stackebrandt, E., 2007, The Prokaryotes, Archaea, Bacteria: Firmicutes, Acti-nomycetes, 3th ed., New York Springer-Verlag.

Efeçınar, M., 2009, Atomik Absorpsiyon Spektrometresi ile Metal İyonlarının Tayini İçin Bulutlanma Noktası Ekstraksiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Erkol, A.Y., Öztürk, S., Yılmaz, Y.Z., Göçer, B., Kopuz, B., Apak, V., 1988, Sahil Kumlarının Zirkonyum Açısından Değerlendirilmesi, ÇNAEM, İstanbul.

European Environment Agency, Air quality in Europe – 2018 report, 2018.

Fontenot, B.E., Hunt, L.R., Hildenbrand, Z.L., Carlton, D.D., Oka, H., Walton, J.L., 2013, An evaluation of water quality in private drinking water wells near natural gas extraction sites in the Barnett Shale Formation, Environmental Science Technology, 47, 10032–10040.

Franklin, D., ve Lowy, M.D., 1998, *Staphylococcus aureus* infections, The New England Journal of Medicine, 339, 520–532.

Gomez-Perales, J.E., Colvile, R.N., Neuwenhuijsen, M.J., Bremautnz, A.F., Avedoy, G.V.J., Figueroa, V.H.P., Jimenez, S.B., Lopez, E.B., Mandujano, F., Cabanillas, R.B., Segovia, E.O., 2004, Commuters' exposure to $PM_{2.5}$, CO and Benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico City, Atmospheric Environment 38, 1219-1229.

Grinholc, M., Wegrzyn, G., Kurlenda, J., Evaluation of biofilm production and prevalence of the icaD gene in methicilin-resistant and methicilin-susceptible *Staphylococcus aureus* strains isolated from patients with nosocomial infections and carriers, 2007, FEMS Immunol Med Microbiol, 50, 375-9.

Guo, l., Hu, Y., Lin, Q., Chen, J., Li, L., Fu, H., Characteristics and chemical compositions of particulate matter collected at the selected metro stations of Shanghai, China, 2014, Science of the Total Environment, 496, 443–452.

Gürbüz, G., Görmüş, K.S., Altan, U., Atmosferdeki Partikül Madde (PM_{10}) Miktarındaki Değişimin GNSS ile Kestirilen Islak Zenit Gecikmesi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, 2020, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, AKU J. Sci. Eng., Cilt 20, 472-478.

Hussey, S.J.K., Purves, J., Allcock, N., Fernandes, V.E., Monks, P.S., Ketley, J.M., Andrew, P.W., Morrissey, J.A., 2017, Air pollution alters Staphylococcus aureus and Streptococcus pneumoniae biofilms, antibiotic tolerance and colonisation, Environmental Microbiology, 19(5), 1868–1880.

International Agency Research on Cancer (IARC), 1990, Chromium (III) compounds, IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 16065-83-1.

International Agency Research on Cancer (IARC), 2012, Chromium (VI) compounds, IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 18540-29-9.

Jackson, R.B., Vengosh, A., Darrah, T.H., Warren, N.R., Down, A., Poreda, R.J., 2013,. Increased stray gas abundance in a subset of drinking water wells near Marcellusshale gas extraction. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110, 11250–11255.

Johansson, C., Johansson, P., 2003, Particulate matter in the underground of Stockholm, Atmospheric Environment, 37, 3–9.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2007, Metallerin Cçevresel etkileri-I, II, III, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 11, 38-53.

Kappelt, N., Russell, H.S., Fessa, D., Van Ryswyk, K., Hertel, O., Johnson, M.S., 2022. Particulate air pollution in the Copenhagen metro Part 1: Mass concentrations and ventilation, Environment International, 171, 107621.

Karakaş, B., 2015, Assessment Of Particulate Matter (PM_{10}, $PM_{2.5}$ And PM_1) Concentrations In Indoor and Outdoor Environments, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Karanasiou, A., Moreno, N., Moreno, T., Viana, M., De Leeuw, F., And Querol, X., 2012, Health effects from Sahara dust episodes in Europe: literature review and research gaps, Environment International, 47, 107-114.

Karr, C., Lumley, T., Achreuder, A., Davis, R., Larson, T., 2006, Effects of subchronic and chronic exposure to ambient air pollutants on infant bronchiolitis, Am J Epidemiol 165, 553–560.

Kelen F., 2013, Magnezyum ve Magnezyum Esaslı Malzemelerde Korozyon, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11, 41-56.

Koneman, E.W., Allen, S.D., Janda W.M., Schreckenberger P.C., Winn W.C., 1997, Gram-positive cocci: Part–1: Staphylococci and related organisms. Color Atlas and text book of diagnostic microbiology, 5th ed. Philadelphia, JB Lippincott Co, 550-649.

Kovats, S., Deledge, M., Haines, A., Fleming, L. E., Wilkinson, P., Shonkoff, S. B., 2014, The health implications of fracking, The Lancet, 383, 757–758.

Kresse, R., Baudis, U., Ja¨ger, P., Riechers, H. H., Wagner, H., Winkler, J., 2007, Barium and barium compounds, Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, New York, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Kwon, S.B., Jeong, W., Park, D., Kim, K.T., Cho, K.H., 2015, A multivariate study for characterizing particulate matter (PM_{10}, $PM_{2.5}$, and PM_1) in Seoul metropolitan subway stations, Korea, J. Hazard Mater, 297, 295–303.

Lidia, M., Junfeng, J.Z., 2002, Combustion sources of particles, 1. Health relevance and source signatures, Chemosphere, 49, 1045.

Lin, M., Stieb, D., Chen, Y., 2005, Coarse particulate matter and hospitalization for respiratory infections in children younger than 15 years in Toronto: a case crossover analysis, Pediatrics, 116, 235–240.

Loxham, M., Nieuwenhuijsen, M. J., 2019, Health effects of particulate matter air pollution in underground railway systems – a critical review of the evidence, Particle and Fibre Toxicology, 16, 12.

Mannerstrom, M., Dvorakova, M., Svobodova, L., Rucki, M., Kotal, F., Vavrous, A., Vrbíkova, V., Kejlova, K., Jirova, D., Heinonen, T., 2002, New approach methods for assessing indoor air toxicity, Current Research in Toxicology 3, 100090.

Menetrez M.Y., Foarde K.K., Dean T.R., Betancourt D.A., Moore S.A., 2007, An evaluation of the protein mass of particulate matter, Atmospheric Environment, 41, 8264-8274..

Menteşe, S., ve Güllü, G.,2009, Organik bileşiklerin farklı iç ortamlardaki seviyeleri, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (TESKON). İzmir, Turkey, 673-679.

Minguillón, M.C., Reche, C., Martinsa, V., Amatoa, F., Miguel, E., Capdevilab, M., Centelles, B., Querola, X., Morenoa, T., 2018, Aerosol sources in subway environments, Barcelona, Spain, Environmental Research, 167, 314–328.

Moreno, T., Pérez, N., Reche, C., Martins, V., Miguel, E., Capdevila, Metal, 2014, Subway platform air quality : assessing the influences of tunnel ventilation, train piston effect and station design, Atmospheric Environment, 92, 461–468.

Müezzinoğlu, A., Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Yayınları, İzmir, 2005.

Mukherjee, A., Agrawal, M., World air particulate matter: sources, distribution and health effects, 2017, Environ Chem Lett, 15, 283–309.

Murray, P.R., Rosenthal, K.S., Pfaller, M.A., 2012, Medical Microbiology, Elsevier Health Sciences, China, 174-87, ISBN 978-0-323-08692-9.

Nemery, B., Hoek, P., Nemmar, A., 2001, The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster, Lancet, 357, 704–708.

Novak Babič, M., Gostinčar, C., Gunde-Cimerman, N., 2020, Microorganisms populating the water-related indoor biome, Appl Microbiol Biotechnol., 104(15), 6443–6462.

Onat, B., Şahin, Ü., Ayvaz, C., Uzun, B., 2022, İstanbul Metrosu İç Hava Kalitesi Ölçüm ve Raporlaması Hizmeti, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Araştırma Final Raporu.

Oeder, S., Detrich, S., Weichenmeier, I., Schober, W., Pusch, G., Jörres, R.A., Schier, R., Nowak, D., Fromme, H., Bahrendt, H., Buters, J.T.M., 2012, Indoor Air, 22: 148–158.

Ostro, B., Roth, L., Malig, B., Marty, M., 2009, The effects of fine particle components on respiratory hospital admission in children, Environ Health Perspect, 117(3), 475–480.

Özkan, G., 2009, Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyısal Kırsal Alandaki Hava Kalitesi; Muallimköy'de Partikül Maddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İstanbul.

Park, E., J., Kim D., S., Park, K., 2008, Monitoring and ambient particles and heavy metals in a residental area of Seoul, Korea, Environmental monitoring and assessment, 137, 441-449.

Peng, R.D., Chang, H.H., Bell, M.L., McDermott, A., Zeger, SL., 2008, Coarse particulate matter air pollution and hospital admissions for cardiovascular and respiratory diseases among Medicare patients, JAMA, 299(18), 2172–2179.

Pompilio, A., Di Bonaventura, G., 2020, Ambient air pollution and respiratory bacterial infections, a troubling association: epidemiology, underlying mechanisms, and future challenges, Crit Rev Microbiol., 46(5),600–630.

Poschl, U., 2005, Atmospheric Aerosols: Composition, Transformation, Climate and Health Effects, Angewandte Chemie International Edition Volume 44, Issue 46, 7520-7540.

Pratt, LA., Kolter, R., Genetic analyses of bacterial biofilm formation, 1999, Curr Opin Microbiol., 2, 598603.

Ripanucci, G., Grana, M., Vicentini, L., Magrini, A., and Bergamaschi, A., 2006: Dust in the underground railway tunnels of an Italian town, J. Occup. Environ. Hyg., 3, 16–25.

Safder, U., Nam, K., Kim, D., Heo, S., Yoo, C., 2019, QSAR-driven toxicity evaluation and monitoring of iron containing fine particulate matters in indoor subway stations, Ecotoxicology and Environmental Safety, 169, 361–369 .

Salma, I., Weidinger, T., and Maenhaut, W., 2007, Time-resolved mass concentrationcomposition and sources of aerosol particles in a metropolitan underground railwaystation, Atmospheric Environment, 41, 8391–8405.

Samoli, E,, Nastos, P.T,, Paliatsos, A.G., Katsouyanni, K., Priftis K.N., 2011, Acute effects of air pollution on pediatric asthma xacerbation: evidence of association and effect modification, Environ Research, 111(3), 418–424.

Saygın., H., Baysal, A., Onat, B., Tarakçı Zora, S., 2023, Oxidative stress and chemical characteristics of indoor $PM_{2.5}$: a case study in an underground (-3rd) floor, Air Quality, Atmosphere & Health.

Saygın, H., Baysal, A., 2020, Insights into the Degradation Behavior of Submicroplastics by *Klebsiella pneumoniae*, Journal of Polymers and the Environment,) 29, 958–966.

Saygın, H., Baysal, A., 2020, Similarities and Discrepancies Between Bio-Based and Conventional Submicron-Sized Plastics: In Relation to Clinically Important Bacteria, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 105, 26–35.

Schroeder, W.H., Dohson, M., Kane, D.M., Johnson, N.D., 1987, Toxic Trace Elements Associated With Air Borne Particulate Matter: A Review, Journal Of Air Pollution Control Association, 37 (11), 1267-85.

Seaton, A., Cherrie, J., 2005, The London underground: dust and hazards to health, Occupational and Environmental Health, 62, 355-362.

Seinfeld, J., Pandis, S., 1998, Atmospheric Chemistry And Physics Of Air Pollution: From Air Pollution To Climate Change, New York, Wiley, ISBN: 978-1-118-94740-1.

Shimizu, K., Yoshii, Y., Morozumi, M., Chiba, N., Ubukata, K., Uruga, H., Hanada, S., Saito, N., Kadota, T., Wakui, H., Ito, S., Takasaka, N., Minagawa, S., Kojima, J., Numata, T., Hara, H., Kawaishi, M., Saito, K., Araya, J., Kaneko, Y., Nakayama, K., Kishi, K., Kuwano, K., 2015, Pathogens in COPD exacerbations identified by comprehensive real-time PCR plus older methods, International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, 10, 2009-2016.

Sırrı, İ., 1975, Kalitatif Analitik Kimya, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınlarından Sayı: 22, 251-252.

Smeltzer, MS., Gillaspy, AF., 2000, Molecular pathogenesis of staphylococcal osteomyelitis, Poultry Sci; 79, 1042-9.

Sternbeck, J., Sjödin, A., Andreasson, K., 2002, Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension - results from two tunnel studies, Atmospheric Environment, 36, 4735.

Stetzenbach, L.D., Buttner, M.P., Cruz, P., 2004, Detection and enumeration of airborne biocontaminants, Current Opinion in Biotechnology, 15, 170–174.

Strickland, M., Darrow, L.A, Klein, M., Flanders, W.D., Sarnat, J., Waller, L.A., Sarnat, S.E., Mulholland, J.A., Tolbert, P.E., 2010, Short-term associations between ambient air pollutants.

Suraju, M.O., Lalinde-Barnes, S., Sanamvenkata, S., Esmaeili, M., Shishodia, S., Rosenzweig, JA., 2015, The effects of indoor and outdoor dust exposure on the growth, sensitivity to oxidative-stress, and biofilm production of three opportunistic bacterial pathogens, The Science of the Total Environment, 538, 949–958.

Süpüren, G., Kanat Z.E., Çay, A., Tarakçıoğlu, I., 2006, Antimikrobiyal Lifler , Tübitak Tekstil Araştırma Merkezi, Tekstil Ve Konfeksiyon, 2, 16, 80-89.

Tel, E., Durgu, C., Aktı, N.N., Okuducu, Ş., 2010, Calculations of Excitation Functions of Some Structural Fusion Materials for (n,t) Reactions up to 50 MeV Energy, J. Fusion Energy, 29, 290-294.

Topuz P., 2007, Kompozit Demiryolu Fren Balatalarının Sürtünme Ve Isınma Özellikleri Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 8. Uluslararası Kırılma Konferansı, istanbul, 619-627.

TUBİTAK (Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırma Kurumu) [online], www.tubitak.gov.tr, (Ziyaret Tarihi: 21 Ekim 2010).

Tüfekçi, S., 1994, Zirkonyum ve hafniyum, İ.T.Ü, İstanbul.

URL1. https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics, 2022 [Ziyaret Tarihi: 20 Nisan 2023].

URL2. http://www.metro.istanbul , 2023 [Ziyaret Tarihi: 15 Şubat 2023].

US-EPA., Air Quality criteria Document for Particulate Matter (Fourth external Review Draft). Research Triangle Park, NC, US Environmental Protection Agency Office os research and Development, National Center for Environmental Assessment, 2003, Finlayson - Pitts, B.J., Pitts, JN., Atmospheric Chemistry Fundamentals and Experimental Techniques, Wiley.

Ün, R., 1968, Metal Kimyası, 220-627.

Vallius M., 2005, Characteristics and Sources of Fine Particulate Matter in Urban Air, University of Kuopio Department of Environmental Sciences National Public Health Institute, Finland.

Wang, Y., Wang, C., HSU, K., 2010, Size and seasonal distributions of airborne bioaerosols in commuting trains, Atmospheric Environment, 44, 4331-4338.

Watson, J.G., Chow, J.C., 2001, Source characterization of major emission source in the Imperial and Maxicali valleys along the US/Mexico boarder, Science of the Total Environment, 276, 33.

White, J.K., Nielsen, J.L., Larsen, C.M., Madsen, A.M., 2020, Impact of dust on airborne *Staphylococcus aureus* viability, culturability, inflammogenicity, and biofilm forming capacity, Int. J. Hyg. Environ Health, 230, 113608.

Wilson, R., Spengler, J.D., 1996, Particles in our air: Concentrations and health effects, Harvard University Press, Cambridge.

World Health Organization, 2002 World health report, World Health Organization, Geneva.

Wu, Z., Lyu, H., Liang, W., Jing, X., Wang, Y., Ma, X., 2021, Microbial community in indoor dusts from university dormitories: Characteristics, potential pathogens and influence factors, Atmospheric Pollution Research., 12(3), 321–333.

Yalçın, N., Aydın, A.O., Sevinç, V., 1898, Tarım Alanlarında Motorlu Araç Trafiğinin Yol Açtığı Pb ve Zn Birikimi, TUBİTAK, Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, 3,13, 429-439.

Yang, D., Wang, J., Yan, Z., Liu, H., 2022, Subway air quality modeling using improved deep learning framework, Process Safety and Environmental Protection, 163, 487–497.

Yılmazcan, Ö., 2010, Partiküler Maddelerin (PM_1 ve PM_{10}) Elementel İçeriklerinin Belirlenmesi.

Yüksekdağ, Z., Baltacı, N., 2013, *Staphylococcus aureus* Türlerinde Biyofilm ve Biyofilm Oluşumundan Sorumlu Genler, Türk Mikrobiyol. Cem. Derg. 43(3), 77-83.

Zaman, S. U., Yesmin, M., Pavel, M. R. S., Jeba, F., Salam, A., 2021, Indoor air quality indicators and toxicity potential at the hospitals environment in Dhaka, Bangladesh, Environmental Science and Pollution Research, 28, 37727–37740.

EKLER

EK 1. *S. aureus* Bakterisi İçin Yapılan Çalışmalarda Kullanılmış Olan PM Örneklerine Ait Elementel Analiz Sonuçları.

Örnekleme Yapılan İstasyon	Örnekleme Tarihi	Al (ng/m^3)	Ba (ng/m^3)	Mn (ng/m^3)	Cu (ng/m^3)	Mg (ng/m^3)	Cr (ng/m^3)	Pb (ng/m^3)	Fe (ng/m^3)
Şişli	22.10.2021	254.9	1172.7	323.9	111.7	425.4	94.4	60.1	53159.1
Şişli	23.10.2021	189.9	920.9	266.5	87.2	309.8	77.3	23.5	37472.3
Şişli	28.10.2021	295.2	1324.2	390.3	135.3	498.6	123,6	53.9	58716.9
Levent	04.11.2021	673.2	2798.3	1148.7	397.2	1836.1	379.0	78.6	82197.9
Levent	05.11.2021	606.1	2100.0	1002.7	285,0	1370.2	318.6	87.3	100903.3
Levent	08.11.2021	479.6	1797.6	904.2	272.1	1270.6	300.3	39.2	77580.6
Yenikapı	17.11.2021	283.5	1019.3	421.6	245.7	749.7	169.2	18.4	51248.6
Yenikapı	18.11.2021	485.4	948.8	550.4	444.0	882.0	253.4	29.0	55864.3
Yenikapı	23.11.2021	274.4	725.2	430.2	462.5	591.6	133.1	44.3	50122.5
Nurtepe	01.12.2021	263.4	231.7	217.9	143.0	335.8	52.9	9.6	27681.5
Nurtepe	04.12.2021	216.9	109.9	209.5	133.1	270.3	34.9	24.1	22735.4
Nurtepe	06.12.2021	423.6	219.1	383.9	216.1	463.8	68.4	13.8	42635.3
Ünalan	11.12.2021	350.6	63.6	569.0	578.1	186.8	140,9	18.0	58550.7
Ünalan	12.12.2021	211.7	36.4	372.9	352.6	124.5	85,8	16.3	42750.3
Ünalan	13.12.2021	180.7	20.5	489.2	469.7	95.3	109.9	16.0	61699.5
Kadıköy	21.12.2021	681.1	40.2	602.7	414.9	746.6	131.0	13.8	23975.6
Kadıköy	22.12.2021	292.7	28.5	322.3	291.4	290.2	84.1	7.2	13497.9
Kadıköy	23.12.2021	180.7	9.4	466.4	367.8	311.5	99.2	9.3	13551.4
Ümraniye	05.01.2022	471.2	46.2	1104.3	2807.7	244.9	290.8	11.2	1167404
Ümraniye	10.01.2022	317.9	17.9	1127.7	3324.6	179.7	281.3	20.3	120302.6
Ümraniye	11.01.2022	294.0	13.4	1149.0	3013.5	164.1	283.1	8.6	117656.1

EK 2. *K. pneumoniae* Bakterisi İçin Yapılan Çalışmalarda Kullanılmış Olan PM Örneklerine Ait Elementel Analiz Sonuçları.

Örnekleme Yapılan İstasyon	Örnekleme Tarihi	Al (ng/m^3)	Ba (ng/m^3)	Mn (ng/m^3)	Cu (ng/m^3)	Mg (ng/m^3)	Cr (ng/m^3)	Pb (ng/m^3)	Fe (ng/m^3)
Şişli	25.10.2021	506.8	1389.5	506.4	200.9	684.8	149.9	100.8	61313.3
Şişli	26.10.2021	415.1	1334.2	534.2	237.8	624.1	145.5	129.2	58932.8
Şişli	27.10.2021	333.8	1301.6	530.0	178.4	682.1	162.5	66.6	60535.9
Levent	06.11.2021	359.3	1572.1	678.8	213.2	980.4	235.6	48.1	64437.8
Levent	07.11.2021	320.0	1292.0	575.6	162.2	845.6	225.7	18.1	59547.8
Levent	10.11.2021	432.2	1491.4	669.3	217.2	1019.8	258.2	35.8	44616.2
Yenikapı	19.11.2021	468.7	794.4	447.7	447.4	631.3	218.3	31.3	55028.1
Yenikapı	20.11.2021	522.3	722.8	442.7	517.8	609.9	203.5	34.7	55436.9
Yenikapı	22.11.2021	473.9	822.8	392.4	419.2	611.7	198.7	26.1	45340.1
Nurtepe	02.12.2021	335.4	189.9	238.4	171.8	400.3	45.0	5.4	29773.7
Nurtepe	03.12.2021	315.6	210.2	305.3	242.4	522.6	64.7	4.3	31541.4
Nurtepe	05.12.2021	400.1	146.2	329.0	192.5	374.1	55.9	9.5	34099.1
Ünalan	14.12.2021	30.6	62.3	4209	447.4	86.5	73.9	14.1	50229.9
Ünalan	15.12.2021	175.0	33.3	559.8	583.5	128.3	141.2	20.0	63103.0
Ünalan	16.12.2021	118.0	25.8	471.8	519.0	110,6	115.2	18,2	49762.7
Kadıköy	24.12.2021	438.1	52.0	679.1	312.5	241.1	100.0	18.0	15832.9
Kadıköy	26.12.2021	39.6	1.3	390.1	334.1	129.8	91.9	6.9	15760.1
Kadıköy	27.12.2021	154.6	19.0	615.6	439.0	223.5	154.1	5.3	23622.5
Ümraniye	07.01.2022	248.4	21.1	954.4	2877.6	149.7	213.3	17.5	100695.6
Ümraniye	08.01.2022	202.4	15.7	848.4	2480.7	124.1	195.4	16.0	91355.3
Ümraniye	09.01.2022	240.3	16.4	883.7	2334.3	138.6	202.6	13.1	93836.0

EK 3. *K. Pneumoniae* Canlılık ve Biyokimyasal Parametrelerinin Birbiri İle Karşılaştırılması.

1. Parametre - Maruziyet Süresi	2. Parametre - Maruziyet Süresi	Korelayon Katsayısı	p Değeri
Canlılık – 24 Saat	Protein – 24 Saat	0.989	4.5682E-17
Canlılık – 4 Saat	Protein – 4 Saat	0.950	4.8057E-11
Canlılık –30 Dakika	Protein – 30 Dakika	0.913	7.6306E-09
Canlılık – 2 Saat	Protein – 2 Saat	0.811	8.1369E-06

1. Parametre - Maruziyet Süresi	2. Parametre - Maruziyet Süresi	Korelayon Katsayısı	p Değeri
Canlılık – 2 Saat	Antioksidan – 2 Saat	0.671	8.7964E-04
Canlılık – 4 Saat	Antioksidan – 4 Saat	0.147	5.2400E-01
Canlılık – 24 Saat	Antioksidan – 24 Saat	-0.043	8.5200E-01
Canlılık – 30 Dakika	Antioksidan – 30 Dakika	-0.064	7.8393E-01

1. Parametre - Maruziyet Süresi	2. Parametre - Maruziyet Süresi	Korelayon Katsayısı	p Değeri
Canlılık – 30 Dakika	Karbonhidrat – 30 Dakika	-0.133	0.566
Canlılık – 2 Saat	Karbonhidrat – 2 Saat	0.476	2.9004E-02
Canlılık – 4 Saat	Karbonhidrat – 4 Saat	0.052	0.823
Canlılık – 24 Saat	Karbonhidrat – 24 Saat	-0.204	0.374

EK 4. *S. Aureus* Canlılık ve Biyokimyasal Parametrelerinin Birbiri İle Karşılaştırılması.

1. Parametre - Maruziyet Süresi	2. Parametre - Maruziyet Süresi	Korelayon Katsayısı	p Değeri
Canlılık – 30 Dakika	Protein – 30 Dakika	0.991	7.4229E-18
Canlılık – 2 Saat	Protein – 2 Saat	0.987	1.0526E-16
Canlılık – 4 Saat	Protein – 4 Saat	0.986	2.6196E-16
Canlılık – 24 Saat	Protein – 24 Saat	0.949	5.4209E-11

1. Parametre - Maruziyet Süresi	2. Parametre - Maruziyet Süresi	Korelayon Katsayısı	p Değeri
Canlılık – 30 Dakika	Antioksidan – 30 Dakika	-0.244	2.8731E-01
Canlılık – 2 Saat	Antioksidan – 2 Saat	0.360	1.0873E-01
Canlılık – 4 Saat	Antioksidan – 4 Saat	0.254	2.6692E-01
Canlılık – 24 Saat	Antioksidan – 24 Saat	0.491	2.3655E-02

1. Parametre - Maruziyet Süresi	2. Parametre - Maruziyet Süresi	Korelayon Katsayısı	p Değeri
Canlılık – 30 Dakika	Karbonhidrat – 30 Dakika	-0.130	5.7316E-01
Canlılık – 2 Saat	Karbonhidrat – 2 Saat	-0.051	8.2749E-01
Canlılık – 4 Saat	Karbonhidrat – 4 Saat	-0.054	8.1457E-01
Canlılık – 24 Saat	Karbonhidrat – 24 Saat	0.581	5.7049E-03

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

4801200116-Betül BAYHATUN

ORİJİNALLİK RAPORU

%13	%12	%2	%5
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%4
2	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%2
3	www1.mmo.org.tr İnternet Kaynağı	%1
4	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	%1
5	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<%1
6	vdocuments.mx İnternet Kaynağı	<%1
7	www.researchgate.net İnternet Kaynağı	<%1
8	tmc.dergisi.org İnternet Kaynağı	<%1
9	www.mmo.org.tr İnternet Kaynağı	<%1