



T.C.  
**ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK  
BAKANLIĞI**

KUZEY İÇ ANADOLU  
TEMİZ HAVA  
MERKEZ MÜDÜRLÜĞÜ

ESKİŞEHİR



**ESKİŞEHİR İLİ  
HAVÁ KALİTESİ**  
ANALİZ RAPORU  
(2010-2016)



**ESKİŞEHİR İLİ**  
**HAVA KALİTESİ**  
ANALİZ RAPORU  
(2010-2016)



KUZEY İÇ ANADOLU  
TEMİZ HAVA MERKEZİ MÜDÜRLÜĞÜ

[www.kiathm.csb.gov.tr](http://www.kiathm.csb.gov.tr)

**Yasal uyarı**

Bu yayının içeriği **Kuzey İç Anadolu Temiz Hava Merkez Müdürlüğüne** ait olup, Kurumun izni olmadan herhangi bir şahıs veya şirket bu raporda yer alan bilgilerin kullanım hakkına sahip değildir.

**Telif hakkı uyarısı**

**Kuzey İç Anadolu Temiz Hava Merkez Müdürlüğüne** ait olup; Aksi belirtilen durumlar dışında, kaynağı belirtilmek koşulu kaydıyla çoğaltılmasına izin verilmiştir.

## Biz Kimiz?

Kuzey İç Anadolu Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü; 10 Temmuz 2015 tarih ve 29412 sayılı Resmi Gazete’nde yayımlanan Bakanlar Kurulunun 15.06.2015 tarih ve 2015/7754 sayılı Kararı gereği 27.09.1984 tarih ve 3046 sayılı Kanununun 17 nci maddesine istinaden kurulmuştur.

Ankara, Kırıkkale, Yozgat, Kırşehir, Çankırı, Kastamonu, Karabük, Zonguldak, Bartın, Bolu, Düzce, Eskişehir ve Kütahya illerini kapsayan Ankara merkezli Müdürlüğümüz, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü’ne doğrudan bağlı olmakla birlikte, ihtisas alanı hava olan icracı Bölgesel bir kuruluştur.

Görevimiz; hava kirliliği boyutu hakkında doğru ve bağımsız bilgi sunarak, kirlilik kaynağının tespiti ile alınacak tedbirlerin uygulanmasını etkinleştirmektir.

Çevre alanında politika, karar, plan, uygulama ve değerlendirme çalışmalarını yürütmenin yanı sıra, halkın, soluduğu havanın sağlığa olan etkisini bulabileceği bilgi kaynaklarından biriyiz.



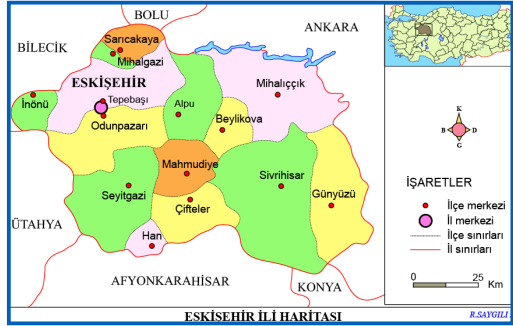
## GİRİŞ

Kuzey İç Anadolu Temiz Hava Merkezine bağlı iller arasında yer alan Eskişehir, İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatısında 39° 47'K 30° 31'D boylamları arasında olup, Eskişehir'in yüz ölçümü 13.925 km<sup>2</sup>'dir. [1]

Kuzey'den Bozdağ ve Sündiken Dağları, Güney'den Emirdağ, Doğu'dan Orta Asya Vadisi, Batı'dan Türkmen Dağı gibi doğal sınırlarla çevrilidir. Şehrin denizden yüksekliği 792 m'dir.

Eskişehir'in Güney'inde Afyonkarahisar'ın Emirdağ ve İnsaniye; Güneydoğu'sunda Konya'nın Yunak; Doğu'sunda Ankara'nın Polatlı, Nallıhan ve Beypazarı; Kuzeybatısında Bolu'nun Göyök; Batı'sın da Bilecik'in Gölpaazarı, Söğüt, Bozüyük ilçeleri ve Kütahya bulunmaktadır.

Eskişehir'in genel coğrafi yapısı Sakarya ve Porsuk havzaları ile bu havzaları çevreleyen dağlardan oluşur. Bu nedenle, il sınırları içerisinde yer alan araziler ana vadiler ve bu vadilerle birleşen çok sayıda küçük vadilerce parçalanmış durumdadır. İç Anadolu'nun kuzeybatısında yer alan Eskişehir' in topoğrafik yapısını, Sakarya ve Porsuk havzalarındaki düzlükler ile bunları çevreleyen dağlar oluşturur. Havza düzlüklerini, Kuzey'den Bozdağ-Sündiken Sıradağları, Batı ve Güney'den ise İç Batı Anadolu eşiğinin Foğu kenarında yer alan Türkmen Dağı, Yazılıkaya Yaylası ve Emirdağ kuşağıdır. [1]



Şekil 1 Eskişehir Fiziki İl Haritası

Eskişehir, coğrafi şartları, yükseltileri, yeryüzü şekilleri, denize olan uzaklığı gibi nedenlerden dolayı kara iklimi özelliğine sahiptir. Genellikle Eskişehir'de kışlar parçalı bulutlu, kar yağışlı, baharlar orta derecede yağışlı ve yazlar ise az bulutlu ve açık geçer. En sıcak ay Temmuz-Ağustos ve en soğuk ay Ocak'tır.

Bugünkü Eskişehir ili, Eski ve Orta Çağlarda Yunanca Dorylaion, Latince Dorylaeum ismi ile tanınan bir kentti. Arap kaynaklarında ise şehrin adı Darauliya, Adruliya ve Drusilya olarak verilmiştir. Dorylaion, antik kaynaklarda önemli yolların kavşak noktasında kaplıcaları ile ünlü, ticaret ile zenginliğe

kavuşmuş bir Frigya (Phrygia) şehri olarak geçer ve şehrin kurucusu olarak Eretrialı Doryleos gösterilir. Cumhuriyetin ilanından sonra, sancak ve muhtarlıkların il yapılması üzerine, Eskişehir’de 1923 yılında il olmuştur.(1)

Eskişehir nüfusu 2016 yılına göre 844.842’dir. Eskişehir İlçeleri nüfus yoğunluğu bakımından sırayla; Odunpazarı, Tepebaşı, Sivrihisar, Çifteler, Seyitgazi, Alpu, Mihaliççık, Mahmudiye, Beylikova, İnönü, Sarıcakaya, Günyüzü, Mihalgazi, Han’dır. Bu nüfus, 421.580 erkek, 423.262 kadından oluşmaktadır. Yüzölçümü 13.925 km<sup>2</sup> olan Eskişehir ilinde nüfus yoğunluğu 61/km<sup>2</sup> nüfus artışı %2.19’dur. (2)



# İçindekiler

Biz Kimiz? .....	3
Giriş .....	4
<b>1. Kavramlar .....</b>	<b>7</b>
1.1. Hava Bileşenleri ve Hava Katmanları .....	7
1.2. Hava Kalitesi ve Yasal Yükümlülükler .....	10
1.3. Hava Kirliliği Kaynakları .....	16
1.4. Kirlletici Parametreler .....	19
1.5. Hava Kirliliğinin Etkileri .....	23
1.6. Hava Kirliliğine Etki Eden Faktörler .....	28
<b>2. Eskişehir İlinde Hava Kirlilik Kaynaklarının Mevcut Durumu .....</b>	<b>35</b>
2.1. Isınma kaynağı .....	35
2.2. Ulaşım sektörü .....	46
2.3. Sanayi Sektörü .....	49
2.4. Meteorolojik Faktörler .....	50
<b>3. Hava Kalitesi Ölçüm Sonuçlarının Analizi .....</b>	<b>54</b>
3.1. İstasyon Hakkında Genel Bilgi .....	54
3.2. Ölçüm Sonuçlarının Analizi .....	58
3.3. Meteorolojik Faktörlere Göre Ölçüm Sonuçlarının Analizi .....	66
<b>4. Ölçüm Sonuçlarının Mevzuat Esaslarına Göre Analizi .....</b>	<b>71</b>
<b>5. Episot Dönemlerinin Analizi .....</b>	<b>76</b>
<b>6. Hava Kirliliğinde Etken Kaynağın Belirlenmesi .....</b>	<b>79</b>
<b>7. Kaynaklar .....</b>	<b>82</b>

## 1.KAVRAMLAR

### 1.1. Hava Bileşenleri ve Hava Katmanları

Yerçekimi sayesinde dünyayı çepeçevre saran ve güneşten gelen enerjinin hızlı bir biçimde uzaya geri dönmesini engelleyen ve canlıların yaşamsal faaliyetlerini sürdürmesi için önemli olan buhar ve gaz tabasına atmosfer, atmosferi oluşturan maddelere de hava denir.

Hava başlıca azot ve oksijen gazlarının bir karışımıdır. Bu karışımında az miktarda argon, karbondioksit, argon, neon, helyum, kripton, metan ve hidrojen maddeleri vardır.

Gazların dış ortamda belirli bir hacim ve şekilleri yoktur. Buldukları kapalı kabın içini tamamen doldururlar ve hacimleri kapalı kabın hacmine eşit olur. Atmosferi oluşturan gazların Dünya'yı sarmasının nedeni gaz moleküllerine etki eden yerçekimi kuvvetidir. Atmosfer Güneş'ten gelen ışınlar ile ısınır ve genişler. Bu durumda havayı oluşturan moleküller yer çekimi kuvveti ve Güneş enerjisi ile belli bir dengede durur.

Atmosferde bulunan gazları iki grupta incelemek mümkündür.

**Atmosferde bulunan ve oranı değişmeyenler gazlar:** Havanın %78'i azot, %21'i oksijen ve %1'lik kısmında asal yani serbest halde dolaşan gazlar (helyum, hidrojen, kripton, argon, neon, ksenon)'dır. **Atmosferde bulunan gazlar ve oranları değişen gazlar ise:** karbondioksit ve su buharıdır. Atmosferde her daim bulunmayan gazlar ise tozlar ve ozondur.

**Karbondioksit:** Karbondioksit, (CO<sub>2</sub>) renksiz, kokusuz ve zehirsiz bir gazdır. Normal atmosfer şartlarında %0.03-%0.06 arasında değişen konsantrasyonlarda, kaynak sularında da çözülmüş halde bulunur. Bir milyon hava molekülünde yaklaşık 350 karbondioksit molekülü bulunur. Çevrede önemli görevi vardır. Örneğin, bitkiler karbon dioksit alırlar ve fotosentez yapımında kullanarak yaşamlarını sürdürürler. Karbondioksitin diğer bir özelliği de güneşten gelen ışınların değişmeden yeryüzüne ulaşmasını sağlamaktır. Karbondioksit doğal veya yapay olarak yanma ya da oksidasyon sonucunda oluşur. CO<sub>2</sub>'nin kendisi toksik bir gaz değildir. Ancak atmosferdeki CO<sub>2</sub> kon-



Şekil 2: Atmosferi Oluşturan Bileşenler

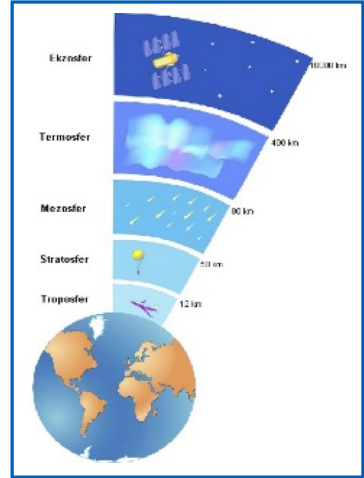
santrasyonun yükselmesi sonucu, güneşten gelen kısa boylu dalgaların atmosferde tutulması söz konusu olduğunda, yeryüzü sıcaklığının artmasına, yani sera etkisine neden olur.

**Su buharı:** Havada değişen oranlarda su buharı bulunur. Toz parçacıkları, bakteriler ve bitkilerden uçuşan sporlar her zaman havada mevcuttur.

**Ozon:** Simgesi O<sub>3</sub> olan ozon keskin kokulu, solunumu tehlikeli, mavi renkli bir gazdır. Aynı zamanda oksijenin kimyasal bir bileşenidir. Yer yüzeyi yakınlıklarında zehirli bir kirlenici olmasına rağmen, üç oksijen atomunun birleşmesinden oluşuşan ozon (O<sub>3</sub>) stratosfer tabakasında yaşamsal önem taşır.

Bunun yanında atmosfer yerküreyi yerçekiminin etkisiyle çepeçevre saran gazların bileşimleri ve yoğunluklarının farklı olmasından dolayı atmosfer katmanları oluşmuşştur. **Bu katmanlar 5 gruptan oluşmaktadır.**

**Troposfer (10 ile -60 °C):** Dünya'ya en yakın katman olan troposfer 18 km kalınlığındadır. Atmosferi oluşturan gazların % 75-80'i bu tabaka içerisinde yer alır. Yapısı tamamen yer radyasyonuna bağılı olarak değişir. Su buharının %99'u troposfer tabakasında yer alır. Su buharı solar enerjiyi ve yerden gelen termal radyasyonu absorbe ederek sıcaklığın ayarlanmasında önemli rol oynar. Ayrıca meteorolojik olaylar bu katmanda gerçekleşir. Bu yüzden hava durumu bilgilerini almak için bu katmana cihazlar gönderilir. Troposferde sıcaklık 200 C° de bir derece azalmaktadır. Çünkü yerden yansıyan güneş ışınları ile ısınmaktadır. Ayrıca bu katmanın alt kısmı daha sıcak üst kısmı daha soğuktur. Kuvvetli hava akımları yani jet stream rüzgârları bu seviyeler civarındadır.



Şekil 3: Atmosfer Katmanları

**Stratosfer (10 ile -60 °C):** Bu katman troposferden sonra 50 km kadar daha yükselir. En önemlisi bu katmanda rüzgar oluşumu gözlenir. Bu katmanda su buharı hiç yoktur. Bundan dolayı da bu atmosfer katmanının da dikey hava harekâtı gözlenmez. Sadece yatay hava harekâtı görüldüğü için de diğer tabakalar ile stratosfer arasında herhangi bir taşıma yol açmamaktadır. Buda birçok facianın ortaya çıkmasını engellemektedir.

**Mezosfer:** Mezosferdeki hava basıncı ve yoğunluğu en düşük seviyededir (1/1000 yere göre). N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> gazları bulunur ancak O<sub>3</sub> oldukça azdır. Atmosferin en soğuk bölgesidir, sıcaklık -100 dereceye kadar düşer. Mezosfer tabakası yeryüzünü uzaydan gelen meteorlardan korur, meteorlar bu tabakaya girdiklerinde yanarlar. Bu seviyede nefes alacak oksijen yoktur. Oksijenin atmosferdeki yüzdesi hava ile aynıdır. Mezosferin en alt seviyesini stratosfer ısıtır, ısı yavaş dönüşümle mezosfere geçmektedir.

**Termosfer:** Termosfer 80- 90 km'nin üzerinde uzanır. Hava çok incedir. Sıcaklık yükseklikle artar, sıcaklık çok yüksektir, burada ultraviyole radyasyonu ısıya dönüşmektedir. Bu tabakada sıcaklık 2000 dereceye kadar ulaşmaktadır. 100-200 km. 'lerde atmosferdeki temel bileşenlerden nitrojen ve oksijen bulunmaktadır. Oksijen UV radyasyonunu absorbe etmektedir ve büyük miktarda kinetik enerji ortaya çıkmaktadır. Mezosfer katmanından itibaren 400 km uzunluğuna ulaşan katmandır. Atmosferin en kalın katmanlarından birisidir. Termosfer katmanında güneş ışınları yoğun olarak hissedilmektedir. Bu katman radyo dalgalarını ve haberleşme sinyallerini çok iyi iletmektedir. Troposfer ve stratosferin aksine termosferdeki sıcaklık, solar aktivite miktarına bağlı olarak yüzlerce derece olarak değişebilmektedir. Bu ekstrem yükseklikte gaz molekülleri ayrışmaktadır, burada moleküler oksijen ve nitrojenden oldukça fazla atomik oksijen vardır. Termosfer tabakası ikiye ayrılır: İyonosfer ve Eksosfer.

**İyonosfer:** Bu tabaka termosferin alt bölümüdür, 80 ila 550 km arasında yer alır. Gaz partikülleri güneşten gelen ultraviyole ve X-ray radyasyonunu absorbe eder. Gaz partikülleri elektrik yüklenir (ionlar). Radyo dalgaları bu seviyeden yeryüzüne döner. Elektron yoğunluğuna bağlı olarak iyonosfer tabakası üçe ayrılır: D tabakası (60-90 km), E tabakası (90-140), F tabakası (140 km. nin üzerinde)

**Ekzosfer:** Yeryüzeyinden oldukça uzak mesafede bir bölgedir. 550 km'den binlerce kilometreye kadar uzanır, genellikle uydular bu bölgede bulunur. Bu bölge yeryüzü atmosferi ile gezegenler arası uzayda bir geçiş zonu olarak adlandırılır.

## 1.2. Hava Kalitesi ve Yasal Yükümlülükler

Atmosferi meydana getiren gazların karışımlarından oluşan hava, canlı organizmanın yaşam sürecindeki en önemli öğelerden biridir. Bir insanın günde yaklaşık olarak 2.5 lt. su, 1.5 kg. besin, 10 – 20 m<sup>3</sup> hava gereksinimi vardır. Açlığa 60 gün, susuzluğa 6 gün dayanabilen insan, havasızlığa ancak 6 dakika dayanabilmektedir. (1) Atmosferde toz, duman, gaz, koku ve saf olmayan su buharı şeklinde bulunabilecek kirlleticilerin, insanlar ve canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyecek ve/veya maddi zararlar meydana getirecek miktarlara yükselmesi, "Hava Kirliliği" olarak nitelenmektedir. İnsanların çeşitli faaliyetleri sonucu meydana gelen üretim ve tüketim aktiviteleri sırasında ortaya çıkan atıklarla hava tabakası kirlenerek, yeryüzündeki canlı hayatı olumsuz yönde etkilenmektedir. Havayı kirleten maddelerin sınır değerleri (havada zararlı olmayacak derecedeki en yüksek değerleri), her ülkenin ilgili kuruluşları tarafından yönetmeliklerle belirlenir. Kirleticili parametrelerin ilgili yönetmeliklerde tanımlanan sınır değerlerin altında olduğu durumlar ise hava kalitesi olarak tanımlanmaktadır. Hava kalitesi kavramı Ülkemizde ilk olarak 1986 yılında yürürlüğe giren Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği ile gündeme gelmiştir.

AB uyum sürecinde hava kalitesi alanındaki 96/62/EC, 99/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC ve 2004/107/EC sayılı direktiflerinin ulusal mevzuata aktarılması sonucu hazırlanarak 06.06.2008 tarih ve 26898 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanarak yürürlüğe giren Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi (HKDY) Yönetmeliği'nin amacı; hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini önlemek veya azaltmak için hava kalitesi hedeflerini tanımlamak ve oluşturmak, tanımlanmış metotları ve kirleticileri, esas olarak hava kalitesini değerlendirmek, hava kalitesinin iyi olduğu yerlerde mevcut durumu korumak ve diğer durumlarda iyileştirmek, hava kalitesi ile ilgili yeterli bilgi toplamak ve uyarı eşikleri aracılığı ile halkın bilgilendirilmesini sağlamaktır.

Hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini önlemek veya azaltmak için; hava kalitesinin düzeyini ölçmek amacıyla kurulan istasyonları doğru işleterek verinin güvenilirliğini sağlamak, hava kirliliğine neden olan kaynağı doğru tespit ederek ilgili kirleticileri kapsayacak şekilde entegre hava kalitesi kontrol planlarının hazırlanması gerekmektedir.

2008/50/EC sayılı CAFE direktifi ve 2004/107/EC ile Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğini içeren 96/62/EC, 99/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC ve 2004/107/EC sayılı direktiflerinde tanımlı kirleticili parametre-

ler; online ölçülen ve sahada toz örneklerinden alınacak numunelerin analize dayalı olmak üzere 2 grupta toplanmaktadır. Bu kirleticiler;

Birinci grupta; kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), azot dioksit (NO<sub>2</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), karbon monoksit (CO) ozon, partikül madde (PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub>),

İkinci Grupta ise; Kurşun (Pb), Benzen, arsenik, kadmiyum, nikel ve benzo(a) piren

Birinci grupta yer alan parametreler ile ikinci grupta yer alan kurşun ve benzenin limit değere esas birimleri µg/m<sup>3</sup>, ikinci grupta yer alan diğer parametrelerin limit değerlere esas birimleri ng/m<sup>3</sup> olup, kirletici parametreler bazındaki limit değerler insan sağlığını ve ekosistemi korumaya yönelik olarak tanımlanmıştır.

İnsan sağlığını koruyama yönelik limit değerler:

SO<sub>2</sub> için; saatlik limit değer, günlük limit değer, üç saatlik ardışık değerleri içeren uyarı eşiği ile bir yıl içerisinde saatlik ve günlük limit değerlere göre aşım sayısı

NO<sub>2</sub> için; saatlik limit değer, yıllık limit değer, ardışık değerleri içeren uyarı eşiği ile bir yıl içerisinde saatlik limit değere göre aşım sayısı,

PM<sub>10</sub> için; günlük limit değer, yıllık limit değer ile bir yıl içerisinde günlük limit değere göre aşım sayısı,

PM<sub>2.5</sub> için; 3 yıllık ortalama maruziyet aralığı, yıllık maruziyet konsantrasyonu (mevcut yönetimde yer almayı CAFE direktifinde tanımlanmıştır)

Kurşun, Benzen Arsenik, Kadmiyum, Nikel ve Benzo(a)Piren için; yıllık limit değer,

CO için; günlük sekiz saatlik ortalama limit değeri,

Ozon için; Günlük 8 saatlik ortalama limit değeri,

Vejetasyonun korunmasına yönelik limit değerler:

- SO<sub>2</sub> için; yıllık limit değer,
- NO<sub>x</sub> için; yıllık limit değer,
- Ozon için; Mayıs ayından Temmuz ayına kadar 1 saatlik değerlerden hesaplanacak AOT40, 1 saatlik bilgi ve 1 saatlik uyarı eşiği

HKDY Yönetmeliğinin yürürlüğe giriş tarihinden itibaren kirletici parametreler bazında uygulanacak limit değeraztım süreçleri ile CAFE direktifinde tanımlı olan ve azaltım takvimine tavi olmayan kirletici parametrelerin limit değerleri Şekil-4'te verilmektedir.

ESKİŞEHİR İLİ HAVA KALİTESİ ANALİZ RAPORU

Parametre	Periyot	SINIR DEĞERLER (µg/m <sup>3</sup> )																
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
SO <sub>2</sub>	Saatlik ortalama değer (İzlenim saati)	900	900	900	900	900	500	500	470	440	410	380	350	350	350	350	350	350
	Günlük ortalama değer (İzlenim saati)	400	370	340	310	280	250	250	225	200	175	150	125	125	125	125	125	125
	Kıyasetim ortalama değeri (1 Ekim-31 Mart)	250	250	250	250	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Yıllık ortalama değeri (Ekosistem)	-	-	-	-	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Hedef ortalama değeri	60	60	60	60	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Yüklenmiş ortalama değeri (İzlenim saati)	I. seviye:500 II. seviye:350 III. seviye:1500	I. seviye:500 II. seviye:350 III. seviye:1500	I. seviye:500 II. seviye:350 III. seviye:1500	I. seviye:500 II. seviye:350 III. seviye:1500	I. seviye:500 II. seviye:350 III. seviye:1500	I. seviye:500 II. seviye:350 III. seviye:1500	500*	500*	500*	500*	500*	500*	500*	500*	500*	500*	500*
	Yüklenmiş ortalama değeri (1 Ekim-31 Mart)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Yıllık ortalama değeri (İzlenim saati)	150	132	114	96	78	60	60	56	52	48	44	40	-	-	-	-	-
	Yüklenmiş ortalama değeri (İzlenim saati)	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Yüklenmiş ortalama değeri (1 Ekim-31 Mart)	300	280	220	180	140	100	100	90	80	70	60	50	50	50	50	50	50
Yıllık ortalama değeri (Ekosistem)	200	178	156	134	112	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PM <sub>10</sub>	Saatlik ortalama değer (İzlenim saati)	300	280	220	180	140	100	100	90	80	70	60	50	50	50	50	50	50
	Günlük ortalama değer (İzlenim saati)	300	280	220	180	140	100	100	90	80	70	60	50	50	50	50	50	50
	Kıyasetim ortalama değeri (1 Ekim-31 Mart)	200	178	156	134	112	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Yıllık ortalama değeri (Ekosistem)	150	132	114	96	78	60	60	56	52	48	44	40	-	-	-	-	-
	Hedef ortalama değeri	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	Yüklenmiş ortalama değeri (İzlenim saati)	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Yüklenmiş ortalama değeri (1 Ekim-31 Mart)	300	280	220	180	140	100	100	90	80	70	60	50	50	50	50	50	50
	Yıllık ortalama değeri (İzlenim saati)	150	132	114	96	78	60	60	56	52	48	44	40	-	-	-	-	-
	Yüklenmiş ortalama değeri (İzlenim saati)	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	I. seviye:260 II. seviye:400 III. seviye:520 IV. seviye:650	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Yüklenmiş ortalama değeri (1 Ekim-31 Mart)	300	280	220	180	140	100	100	90	80	70	60	50	50	50	50	50	50
Yıllık ortalama değeri (Ekosistem)	200	178	156	134	112	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
NO <sub>2</sub>	Saatlik ortalama değer (İzlenim saati)	300	300	300	300	300	300	300	290	280	270	260	250	240	230	220	210	200
	Günlük ortalama değer (İzlenim saati)	100	100	90	80	70	60	60	56	52	48	44	40	40	40	40	40	40
NO <sub>x</sub>	Saatlik ortalama değer (İzlenim saati)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Günlük ortalama değer (İzlenim saati)	30000	30000	20000	22000	18000	18000	16000	14000	12000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
CO	Saatlik ortalama değer (İzlenim saati)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Günlük ortalama değer (İzlenim saati)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kıyasetim ortalama değeri (1 Ekim-31 Mart)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Yıllık ortalama değeri (Ekosistem)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hedef ortalama değeri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Yüklenmiş ortalama değeri (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O <sub>3</sub>	Saatlik ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Günlük ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kıyasetim ortalama değeri (1 Ekim-31 Mart)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Yıllık ortalama değeri (Ekosistem)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hedef ortalama değeri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Yüklenmiş ortalama değeri (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kurşun	Saatlik ortalama değer (İzlenim saati)	2	2	1.7	1.4	1.1	1	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	-	-	-	-	
	Günlük ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	10	10	10	10	9	8	7	6	5	-	-	
Bakır	Saatlik ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Günlük ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Zinc	Saatlik ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Günlük ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Kadmium	Saatlik ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Günlük ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nikel	Saatlik ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Günlük ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Krom	Saatlik ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Günlük ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pb	Saatlik ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Günlük ortalama değer (İzlenim saati)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Not : \*3 saatlik aralık değerlerin ortalaması  
 \*\*Mayıs-Temmuz 1 saat ortalaması AOT40  
 \*\*\*µg/m<sup>3</sup>)

Şekil 4: Kirlenici Parametrelerin Azaltım Takvimine Göre Limit Değerleri

Ülkemizde yürürlükte olan Yönetmelikte; yukarıda tanımlanan ve maruziyet süresine göre konsantrasyon düzeyi belirlenen parametrelerin yanı sıra hava kirliliğinde etken kaynak emisyonunun saptamak, kaynak envanterinin tutarlılığını kontrol etmek ve emisyon azaltım stratejilerinin verimliliğini kontrol etmek izlemek amacıyla izlenmesi gereken parametreler tanımlanmıştır.

**Bunlar;**

- a) Hava kirliliğinin önemli kaynaklarından uzakta, kırsal arka fon yerlerinde yıllık ortalama bazda PM<sub>2.5</sub> parametresi için toplam konsantrasyonun yanı sıra Şekil-5’de tanımlı kimyasal bileşenlerine bakılması

SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Elementel karbon (EC)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K	Cl <sup>-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Organik karbon (OC)

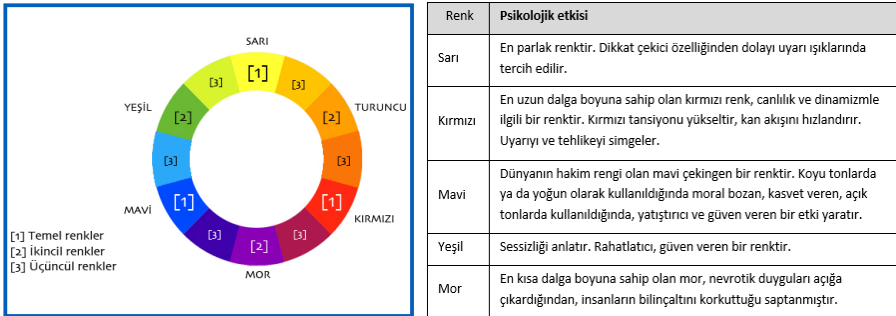
Şekil 5: PM<sub>2.5</sub> içinde bakılacak parametreler

b) Ozon öncül maddelerin ölçülmesi, bunun içinde en azından azot oksitler ve Şekil-6'da tanımlı uçucu organik bileşiklere bakılması

	1-Büten	İzopiren	Etil benzen
Etan	trans-2-Büten	n-Hekzan	m+p-Ksilen
Etilen	cis-2-Büten	i-Hekzan	o-Ksilen
Asetilen	1.3-Bütadien	n-Heptan	1,2,4-Trimet. benzen
Propan	n-Pentan	n-Oktan	1,2,3-Trimet. benzen
Propen	i-Pentan	i-Oktan	1,3,5-Trimet. benzen
n-Bütan	1-Penten	Benzen	Formaldehit
i-Bütan	2-Penten	Tolüen	Toplam metan içermeyen hidrokarbonlar

Şekil 6: Ozon Öncüllerin Değerlendirilmesi İçin Analiz Edilecek Uçucu Organik Bileşikler

Havadaki Benzo(a)piren seviyesini değerlendirmek için sınırlı sayıda ölçüm yerlerinde; benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(j)fluoranten, benzo(k)fluoranten, indeno(1,2,3-cd)piren, dibenz(a,h)antracene gibi polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) incelenmesi (ayrıca her 100.000 km<sup>2</sup> de bir fon örnekleme noktasında ise partikül ve gaz halindeki iki değerlikli cıva konsantrasyonunun tespiti de mevzuatta önerilmektedir) gerekmektedir. Hava kalitesi düzeyinin sağlıklı ilişkilendirilmesinde tüm dünyada kullanılan renkle ilişkili göstergeler kullanılmaktadır. Hava Kalitesi İndeksi olarak tanımlanan bu göstergede; hava kalitesi düzeyi izlenen her bir kirlenici parametrenin konsantrasyon değer aralığı ülkelerin politik kararları doğrultusunda belirlenerek renk skala aralıkları belirlenmektedir. İndeks göstergelerinde kullanılan renklerin temel grupları ile renklerin insan psikolojisi üzerine etkileri Şekil-7' de tanımlanmıştır.



Şekil 7: Renk Çarkı ve Renklerin İnsan Psikolojisi Üzerine Etkileri

Hava Kalitesi İndeksi sınıfları oluşturulurken, insanlar tarafından kolay anlaşılması hedef alınarak az sayıda kademe ve tanımlayıcı ifadelerin tercih edildiği, kademeler etiketlendirilirken, kişiden kişiye farklı algılamaya sebep olabilecek “mükemmel”, “uygun”, “yeterli”, “tatmin edici” gibi ifadeler ve “az”, “çok” gibi nicelik bildiren kelimelerin kullanılmasından sakınıldığı tespit edilmiştir.

EPA tarafından yayınlanan hava kalitesi indeksi tüm dünya ülkelerinde hava kalitesi düzeyinin kamuoyu bilgisine sunulmasında ortak taban olarak kullanılmaktadır. EPA hava kalitesi indeksi; 5 parametre için (Partikül madde (PM10), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO2), azot dioksit (NO2) ve ozon (O3)) oluşturulmuş olup, sadece belli bir yer ve zamanda sınır değeri en fazla aşan kirleticie göre raporlama yapmaktadır. Birden fazla kirleticinin standart değeri aşması durumunda (HKİ, 100 değerini aşarsa) ise indeks değeri en yüksek kirleticie göre belirlenmekte, ayrıca diğer kirleticiler de bilgilendirme amaçlı raporlanmaktadır. Bazı ülkeler tarafından EPA indeksinde verilen aralıklara ilave olarak hassas gruplar için de bir indeks tanımlanması yapılmaktadır. EPA hava kalitesi indeks aralığı ve her bir kirleticie parametrenin konsantrasyon aralığı Şekil-8 ve 9’da verilmektedir.

Hava Kalitesi İndeksi (AQI) Değerler	Sağlık Endije Seviyeleri	Renkler	Anlamı
0 - 50	İyi	Yeşil	Hava kalitesi memnun edici ve hava kirliliği az riskli veya hiç risk taşımayan.
51 - 100	Orta	Sarı	Hava kalitesi uygun fakat algılamadık şekilde hava kirliliğine hassas olan çok az sayıda insan için bazı kirleticiler açısından orta düzeyde sağlık endişesi oluşabilir.
101 - 150	Hassas Gruplar için Sağlıksız	Turuncu	Hassas gruplar için sağlık etkileri oluşabilir. Genel olarak kamunun etkilenmesi olası değildir.
151 - 200	Sağlıksız	Kırmızı	Herkes sağlık etkileri yaşamaya başlayabilir, hassas gruplar için ciddi sağlık etkileri söz konusu olabilir.
201 - 300	Çok Sağlıksız	Mor	Sağlık açısından acil durum oluşturabilir. Nüfusun tamamının etkilenmesi olasıdır.
301 - 500	Riskli	Kahverengi	Sağlık alarmı: Herkes daha ciddi sağlık etkileri ile karşılaşabilir.

Şekil 8: EPA Hava Kalitesi İndeks Aralığı ve Renk Skalası

O <sub>3</sub> (ppm) 8 saat	O <sub>3</sub> (ppm) 1 saat <sup>1</sup>	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24 saat	PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24 saat	CO (ppm) 8 saat	SO <sub>2</sub> (ppb) 1 saat	NO <sub>2</sub> (ppb) 1 saat	HKİ	Kategori
0 -0,059	-	0-54	0,0-12,0	0,0 – 4,4	0 – 35	0 – 53	0-50	İyi
0,060-0,075	-	55-154	12,1-35,4	4,5 – 9,4	36 – 75	54 – 100	51-100	Orta
0,076 -0,095	0,125-0,164	155-254	35,5-55,4	9,5 – 12,4	76 – 185	101 – 360	101-150	Hassas gruplar için sağlıksız
0,096-0,115	0,165 -0,204	255-354	(55,5-150,4) <sup>3</sup>	12,5 – 15,4	(186 – 304) <sup>4</sup>	361 – 649	151-200	Sağlıksız
0,116 – 0,374	0,205 – 0,404	355-424	(150,5-250,4) <sup>3</sup>	15,5 – 30,4	(305 – 604) <sup>4</sup>	650 – 1249	201-300	Çok sağlıksız
(2)	0,405 – 0,504	425-504	(250,5-350,4) <sup>3</sup>	30,5 – 40,4	(605 – 804) <sup>4</sup>	1250 – 1649	301-400	Tehlikeli
(2)	0,505 – 0,604	505-604	(350,5-500,4) <sup>3</sup>	40,5 – 50,4	(805 – 1004) <sup>4</sup>	1650 – 2049	401-500	Tehlikeli

(1) Bölgeden genellikle 8 saatlik ozon değerlerine göre HKİ oluşturulması beklenir. Fakat 44. sayıdaki bölgede 1 saatlik ozon değerlerine göre HKİ oluşturulmak daha ihtiyatlıdır. Bu durumlarda, indeks için 8 saatlik ozon değerlerinin hesaplanmasını yanında; 1 saatlik ozon değerlerinin de hesaplanması yapılır ve en yüksek iki değer raporlanır.  
(2) 1 saatlik ozon değerleri, 301'den daha büyük HKİ için tanımlanmamıştır. 301 ve daha büyük HKİ, 1 saatlik ozon değerlerine göre hesaplanır.  
(3) PM2.5 için özel farkı bir sınıfı ayırtılmadığı için, değerler buna göre değerlendirilmiştir.  
(4) 1 saatlik SO2 değeri 200'den büyük HKİ için tanımlanmamıştır. 200 ve daha büyük HKİ, 24 saatlik SO2 konsantrasyonları ile hesaplanır.

Şekil 9: EPA Hava Kalitesi Kirlenici Parametre Konsantrasyon Aralığı

## EPA indeks

aralığının belirlenmesinde; Belli bir noktada ve zamanda ölçülen her bir kirlenici için Şekil-10'da verilen kesme noktalarına göre ayrı ayrı alt-indeks değeri hesaplanmakta, en yüksek indeks değerini veren kirleniciye göre o noktadaki HKİ belirlenmektedir.

$$I_{high} - I_{low} = \frac{C_p - BP_{low}}{BP_{high} - BP_{low}} + I_{low}$$

Denklemden kullanılan:

$I$  = indeks değeri,

$C_p$  = kirlenici konsantrasyonu,

$BP_{low}$  =  $C_p$ 'na eşit veya daha küçük kesme noktası,

$BP_{high}$  =  $C_p$ 'na eşit veya daha büyük kesme noktası,

$I_{low}$  =  $BP_{low}$ 'a karşılık gelen indeks kesme noktası,

$I_{high}$  =  $BP_{high}$ 'a karşılık gelen indeks kesme noktasıdır.

Ancak, bu indeks tüm kirlenicilerin insan sağlığına bir arada muhtemel zararlı etkilerini hesaplamamaktadır. Bu amaçla bazı ülkelerde PM2.5, O3 ve NO2 kirlenici parametrenin birlikte değerlendirildiği hava kalitesi indeksi kullanılmaktadır.

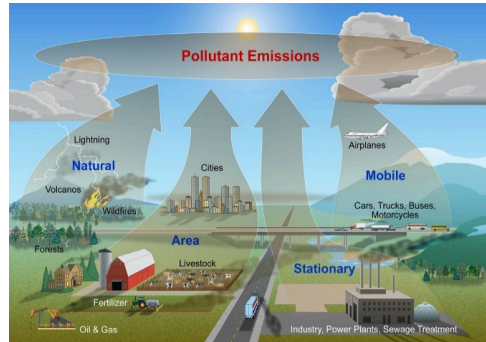
Genel amacı yaşam ortamlarında solunan hava kalitesi düzeyinin insan sağlığına olumsuz etkileri olup olmayacağı konusunda kamuoyunu bilgilendirerek karar destek sistemlerinin bu kapsamda etkin kontrol tedbirleri alınmasını sağlamak olan ve ülkemizde kullanılan Hava Kalitesi İndeks göstergeleri, renk skalası ve kirlenici parametrelerin zaman dilimlerine göre konsantrasyon değerleri Şekil-10'de verilmektedir.

İndeks	HKİ	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
		1 saatlik ort	1 saatlik ort	8 saatlik ort	8 saatlik ort	24 saatlik ort
İYİ	0-50	0-100	0-100	0-5500	0-120	0-50
ORTA	51-100	101-250	101-200	5501-10000	121-160	52-100
HASSAS	101-150	251-500	201-500	10001-16000	161-180	101-260
SAGLIKSIZ	151-200	501-850	501-1000	16001-24000	181-240	261-400
KÖTÜ	201-300	851-1100	1001-2000	24001-32000	241-700	401-520
TEHLİKELİ	301-500	>1101	>2001	>32001	>701	>521

Şekil 10: Ulusal Hava Kalitesi İndeksi Kesişme Noktaları

### 1.3. Hava Kirliliği Kaynakları

Hava kirliliğine neden olan kaynakları; yanardağ volkan faaliyetleri, orman yangınları ile bitki örtüsü ve doğanın tahrip edilmesi gibi doğal kaynaklar ile insan faaliyetleri sonucu oluşan yapay emisyon kaynakları oluşturmaktadır. Yapay kaynaklar alansal (ısınma), noktasal (sanayi) ve çizgi (ulaşım) kaynak olarak



Şekil 11: Atmosfer Katmanları

#### 1.3.1. Doğal Kaynaklar

Doğanın kendisinde bulunan hava kirliliği kaynakları; volkanlar, tozlar, orman yangınları, okyanus spreleri ve buharlaşmadır. Bu kaynakları genel hatları ile inceleyecek olursak.

**Yanardağ/volkan faaliyetleri:** Volkanik faaliyetler esnasında meydana ge-

len gaz ve partiküller atmosferde kirliliğe neden olur. Volkanlar, atmosfere önemli miktarda kükürt dioksit ve partiküler madde yaydıkları için radyasyon dengesini olumsuz yönde etkiler. Volkanlar, doğal hava kirliliği kaynakları içinde ön planda yer alır. (3)

**Tozlar:** En büyük partikül kaynaklarından biri olan kalın kum tabakaları rüzgarlarla taşınarak uzun mesafelere yer değiştirebilir; bu değişim esnasında atmosferde hava kirliliğine neden olur. Kuru hava esnasında tozların rüzgârla savrulması da toprak erozyonuna neden olur.

**Orman yangınları:** Sağlıklı bir orman ekosistemi, biyolojik çeşitliliğin ana kaynağıdır. Bu nedenden dolayı ormanlar, korunması gereken çevresel değerlerin başında gelir. Orman yangınları ile atmosfere önemli miktarlarda duman ve zehirli gazlar karışır. Orman yangınları;

- Bitkilerin ve hayvanların yok olmasına,
- Erozyona,
- Su kaynaklarının bozulmasına,
- Hava kirliliğine,
- Çölleşmeye,
- Sel, heyelan ve çığ gibi felaketlere neden olur.

**Okyanus spreyleri:** Okyanuslar ve denizler üzerinde tuz spreyleri şeklindeki sodyum klorür buharlaşma ve rüzgârlarla atmosfere yayılırlar.

**Buharlaşma:** Eser gazların önemli bir kısmı okyanus ve denizlerden buharlaşma yolu ile atmosfere yayılır.

### ■ 1.3.2. Yapay Kaynaklar

İnsanların faaliyetleri sonucu oluşan ve bölgenin endüstriyel gelişimi, nüfusu, şehirleşme durumu gibi faktörlere bağlı olarak değişim gösteren yapay hava kirliliği 3 grupta incelenir.

**Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği:** Isınmadan kaynaklanan hava kirliliği özellikle kış döneminin başlaması ile birlikte artış göstermektedir. Ülkemizde kullanılan yakıtların yaklaşık olarak %41'i ısınma alanında kullanılmaktadır. (3) Kış aylarında gözlenen bu sorunun temel nedenlerini; ısınmada kalitesiz yakıtların (kükürt, kül ve nem oranı yüksek kalori değeri düşük kömürler) iyileştirilme işlemine tabi tutulmadan kullanılması, yakıtların tekniğine uygun yakma sistemlerinde kullanılmaması, yanlış yakma tekniklerinin

uygulanması, kullanılan kazanların bakımlarının düzenli olarak yapılmaması ve çekişi ve tasarımı uygun olmayan baca sistemlerinin kullanılması olarak sıralanabilir. Bunların yanı sıra hızlı nüfus artışı ve kentlerde nüfus yoğunlaşması, topoğrafik ve meteorolojik şartlara göre şehirlerin yanlış yerleşmesi ve dolayısıyla çarpık kentleşmede yukarıda sıralanan sorunlardan dolayı oluşan hava kirliliği boyutunun daha fazla hissedilmesine neden olmaktadır. Kış aylarında ısınma amacıyla soba ve kaloriferlerde genellikle odun, kömür, fuel-oil ve doğal gaz gibi yakıtlardan dolayı oluşan temel kirlenici parametreler yakıt türüne göre değişim göstermekle birlikte katı yakıtlarda ağırlıklı olarak; karbonmonoksit (CO), kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>), azotdioksitler (NO<sub>x</sub>) ve partikül maddeler (is, kurum ve toz) dir.

**Sanayiden Kaynaklanan Hava Kirliliği:** Günlük ihtiyaçlarımızın karşılanması, Ülke kalkınması, yeni iş sahalarının açılarak işsizliğin önlenmesine hizmet amacıyla kurulan fabrikalardan kaynaklanan hava kirliliği 2 aşamalı olarak değerlendirilmektedir. Bunlar; tesislerin enerji ihtiyacı için kullanılan yakıt ve tesis proseslerini içermektedir. Sanayi kaynaklı hava kirliliğinin temelinde; yanlış yer seçimi, yakma kazanının daha az emisyonlara neden olan teknolojiyi içermemesi, temiz enerji kaynaklarının kullanılmaması, baca gazı artıma tekniklerinin kullanılmaması veya verimlerinin düşük olması, proses üniteleri için en uygun teknolojilerin tercih edilmemesi, geri dönüşümü mümkün olmayan hammaddelerin kullanılması, çevre izinlerinin tamamlanmaması vb. gibi faktörler yer almaktadır.

**Trafikten Kaynaklanan Hava Kirliliği:** Günlük yaşantımızın bir parçası olan her gün değişik şekilde yararlandığımız motorlu araçlar büyük kentlerin ana cadde ve kavşaklarında, karayolları çevrelerinde önemli boyutta hava kirliliği sorununun oluşmasına neden olmaktadır Bir insanın günlük ihtiyacı olan 15 m<sup>3</sup> temiz havayı bir tek taşıtın sadece 10 dakikalık bir süre içerisinde tehlikeli hale dönüştürmesi, kentlerdeki yüz binlerce taşıtın neden olduğu hava kirliliğinin boyutu hakkında bizlere yeterli bir fikir verebilmektedir. (3) Şehir trafiğindeki araçların; teknik bakımlarının yeterince yapılmaması, bilinçsiz kullanımı, insanların bulunduğu alanlarda trafikte dur kalk sıklığı ve süresi, eski araç kullanımı, trafik sıklığı ve yol yapısı gibi etkenler egzoz emisyonları kaynaklı hava kirliliğinin daha büyük boyutlarda yaşanmasına neden olmaktadır. Taşıt kaynaklı hava kirliliğinde kirlenici konsantrasyonu ve türü motor cinsine göre değişmektedir. Taşıtlarda benzinli ve dizel motor olmak üzere iki tür motor kullanılmaktadır. Benzinli motorla çalışan bir taşıtın başlıca kirlenici kaynakları; egzoz borusu, benzin deposu, kartel havalandırma,

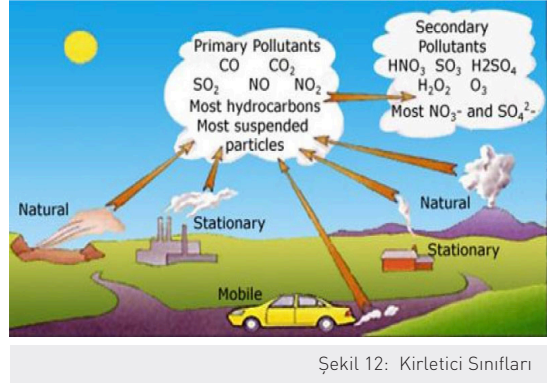
karbüratör, fren balataları ve lastiklerdir. Dizel motorlu taşıtlarda ise başlıca kirlenici kaynakları egzoz borusu, fren balataları ve lastiklerdir. Egzozdan üç tür duman çıkmaktadır. Bunlardan uygun yakma tekniğinin olmadığını gösteren siyah duman, tam yanmamış yakıt taneciklerinden oluşmaktadır. Uygun yanma koşullarının olduğunu gösteren Gri-Beyaz duman, tam yanma artığı maddelerin oluşturduğu dumandır. Motorun bakım ihtiyacı olduğunu gösteren Mavi duman, yanmamış yakıt ve yağ karışımından oluşmaktadır. Taşıtlardan kaynaklanan kirleniciler, genel ve özel kirleniciler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Egzoz gazları içinde bulunan karbondioksit (CO<sub>2</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O), hidrojen (H<sub>2</sub>) ve azot (N<sub>2</sub>) gazları kirlenici olarak kabul edilmemektedir. Egzoz gazı içerisindeki karbonmonoksit (CO), partikül madde (is, toz, tanecik v.s.) ve hidrokarbonlar genel kirleniciler olarak kabul edilmektedir. Benzinli taşıtlarda ise kurşun (Pb) bileşikleri önemli bir kirlenicidir. (3)

#### 1.4. Kirlenici Parametreler

Hava kirlenici parametreler kaynaklarına göre birincil ve ikincil kirleniciler olarak adlandırılırlar. (Şekil 12)

##### Birincil (Primer) Kirleniciler:

Bir kaynağı olan kirlenicilerdir. Bu sınıftaki kirleniciler insan faaliyetlerinden (antropojenik) ve doğal faaliyetlerden (natural) oluşan ve atmosfere verilen kirleniciler olarak ikiye ayrılırlar. Antropojenik kaynaklı kirlenicilere karbonmonoksit(CO), kükürtdioksit(SO<sub>2</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), hidroklorik



asit(HCl), halojenli organikler (solventler), petrol kökenli organikler, partiküller örnek olarak verilebilir. Bunlar endüstriden, taşıt araçlarından, yakıt yakılmasından, ısıtma faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Doğal kaynaklardan oluşan kirleniciler ise jeolojik kaynaklardan sülfürlü gazlar (SO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S), metan (CH<sub>4</sub>), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), minerallerin tozları, volkan ve deniz spreylere klorür (Cl<sup>-</sup>) ve sodyum(Na<sup>+</sup>) iyonları, biyolojik (fotosentez yapan organizmalar, atıkların ayrıştırılması, bitki ve hayvanların metabolik faaliyetleri) kaynaklardan hidrojen-karbon esaslı gazlar (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>Cl, terpenler ) olarak verilebilir.

**İkincil (Sekonder) Kirleticiler:** Atmosferde mevcut birincil kirleticilerin kendi aralarında verdikleri reaksiyonlardan ve güneş radyasyonunun etkisi ile gerçekleşen reaksiyonlardan oluşan kirleticilerdir. Oksidantlar olarak adlandırılan ozon ve PAN (Peroksi Asetil Nitrat) ve  $\text{NO}_2$  en çok rastlanan gaz fazındaki ikincil kirleticilerdir. Yine birincil kirleticilerden  $\text{NO}$ 'un oksitlenmesi ile  $\text{NO}_2$  ve devamında nitrik asit ve nitrat iyonlarına benzer şekilde  $\text{SO}_2$  de  $\text{SO}_3$  oksitlenmekte ve nem eşliğinde sülfürik asit partiküllerine dönüşmektedirler. (4) Aerosoller içinde de reaksiyonlar devam eder ve  $\text{SO}_x$  ve  $\text{NO}_x$  gazlarından doğal oluşumlarla amonyum sülfat ve amonyum nitrat tuz partikülleri oluşur. Zira bu kirleticiler çok düşük konsantrasyon değerlerinde dahi insan sağlığını tehdit edebilmektedir. Bu kirleticiler içerisinde en önemli grup kanser yapıcı, tetrajonik ve mutajenik etkilere sahip maddelerdir. Bu kirleticilerle, atmosferik özelliklerin oluşturduğu kimyasal reaksiyonların en önemlileri ise fotokimyasal olaylardır ki, bunlardan özellikle floroklorokarbonlar, güneşten gelen zararlı UV (ultraviyole) ışınlarına karşı yeryüzüne koruyan ozon tabakasında büyük tahribata yol açmaktadır. Doğal veya insan yapısı sonucu atmosfere karışan kirleticiler, her iki halde de atmosfere yayıldıkları anda hızla kimyasal reaksiyonlar oluştururlar ve hava akımları ile karışır, dağılır, yayılır ve taşınırlar. Böylece kirleticiler, kaynaktan çıkıp, alıcılara ulaştığında karakterleri değişebilir.

Kirletici parametreler ve kaynaklarını incelediğimizde;

**Kükürt Oksitler:** Havadaki kükürt oksitler içerisinde en önemlisi kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ) gazıdır. Kükürt oksit kirleticilerinin oluşmasının en büyük nedeni, ısınma amaçlı ve sanayilerde kullanılan kömürlerdir. Kükürt oksit 0,3-1 ppm seviyelerde ağızda kötü bir tat bırakır, 3 ppm" in üstünde ise boğucu bir hisse neden olur.

**Azot Oksitler:** Azot oksitler havadaki en önemli kirletici gazlardandır. Yanma sürecinde yüksek sıcaklık bölgesinde oluşan  $\text{NO}$  ile bunun daha ileri oksitlenme ürünü olan  $\text{NO}_2$  gazlarının toplamından oluşur. Azot oksitleri daha çok enerji santrallerinden ve motorlu araçların egzoz borularından yayılır. Bir azot oksit olan nitrojen dioksit ( $\text{NO}_2$ ) solunması kalp, akciğer ve karaciğer rahatsızlıklarına ve solunum yolu hastalıklarına yol açar.

**Karbon Monoksit:** Karbon monoksit, ( $\text{CO}$ ) renksiz, kokusuz ve havanın ortalama mol ağırlığına yakın bir gaz olup hem kaynak noktasında etrafa iyi dağılmaması hem de renksiz ve kokusuz olması sebebiyle varlığı fark edilmeyen bir kirleticidir. Fosil yakıtların kullanılması, egzoz gazları, orman yangınları ve kapalı mekânlardaki sigara dumanı gibi nedenlerle atmosfere büyük

oranda karbon monoksit (CO) gazı yayılır. Karbon oksitleri, baş dönmesi ve reflekslerde yavaşlamaya sebep olur. Havada yüksek oranda bulunmaları ölümlere neden olabilir.

**Hidrokarbonlar:** Motorlu taşıtlarda kullanılan petrolün, tüm olarak yanması etilen ( $C_2H_4$ ) ve benzen ( $C_6H_6$ ) gibi hidrokarbonların çevreye yayılmasına neden olur. Bu hidrokarbonlar, havadaki başka kimyasal maddelerle tepkimeye girdiğinde, gözlere ve solunum yollarına zarar verir. Benzen gibi bazı hidrokarbonların kanser yapıcı etkileri de vardır.

**Organik Maddeler:** Genel olarak kirlilik, havadaki katı parçacıklar ve kükürt dioksit miktarına göre belirlenir. Oysa atmosferde oluşan kimyasal olaylarda, organik maddeler büyük rol alır. Çünkü organik maddeler, atmosferde ister reaksiyona girsinler, ister girmesinler kimyasal reaksiyonların çekirdeğini oluştururlar. Hava kirliliği denildiğinde, kirleticiler ve bunların bulunduğu atmosfer ortamı aynı derecede rol oynar. Herhangi bir yerde hava kirliliği çalışması yapıldığında, ilk olarak o bölgenin meteorolojik koşulları ve havanın kimyasal yapısının incelenmesi gerekir.

**Partikül Maddeler:** Sıvı veya katı taneciklerin gaz ortamında askıda durmasıyla oluşan toz veya partikül madde diye adlandırılan kirleticidir. Bu asılı maddelerin çok ince olup havada koloidal süspansiyon oluşturmalarına aerosol denmektedir. Doğal sis olayında asıl etken bu aerosollardır. Bunun gibi kirlenmeye bağlı yapay sis olaylarında da aerosollar etkili olur. Tozlar, katı maddelerdir ve doğrudan endüstri veya ısınma tesislerinin atık gazlarıyla havaya atılan kül, kömür, çimento tozları, kum, talaş ve toprak gibi maddeler bu sınıfa girer. Partikül maddeler kirleticilerin zararlı etkilerinin daha yoğun hissedilmesine neden olur.

**Ağır Metaller:** Atmosfer kirliliğinin bir bölümünü oluşturan metaller; fosil yakıtların yanması, endüstriyel işlemler, metal içerikli ürünlerin incineratörlerde (atıkların kontrollü bir biçimde yakılarak imha edilmesinde kullanılan bir cihaz) yakılması sonucunda ortama yayılır. İnsan sağlığını büyük ölçüde olumsuz yönde etkileyen metaller arasında atmosferde yaygın olarak bulunan; kurşun, kadmiyum, nikel, civa metalleri ve asbest önem taşır. Dokularında birikime uğramalarından ve muhtemel sinerjik (iki veya daha fazla kirleticinin yaratmış olduğu kirliliğin tek başına olmasına nazaran birbirleri ile etkileşim halinde daha fazla ve daha zor ayrıştırılabilir kirlilik oluşturması durumudur.) etkilerinden dolayı insan sağlığı üzerinde toksik etki gösterir.



## ■ 1.5. Hava Kirliliğinin Etkileri

### ■ 1.5.1. Sağlık Üzerine Etkileri

Hava kirleticilerin sağlık üzerindeki etkileri iki farklı zaman boyutuna sahiptir. Birinci boyut “akut” etkilerdir ve kirleticinin insan vücuduna girmesinden sonra hedef organ üzerinde aniden ortaya çıkan etkilerdir. Hava kirliliğinin yaşandığı bölgelerde vücuda giriş yerleri gözler ve ağız ve burun yoluyla akciğerlerdir. Yanma hissi ve solunum problemleri ilk etkilerdir. “Kronik” etkiler ise maruz kalma süresinin fonksiyonudur ve uzun süreler maruz kalma sonucu ortaya çıkan etkilerdir. Toplum içinde bazı nüfus gruplarında hava kirleticilere duyarlılıklar da farklıdır.

Hava kirleticilerin sağlık üzerindeki etkileri iki farklı zaman boyutuna sahiptir. Birinci boyut “akut” etkilerdir ve kirleticinin insan vücuduna girmesinden sonra hedef organ üzerinde aniden ortaya çıkan etkilerdir. Hava kirliliğinin yaşandığı bölgelerde vücuda giriş yerleri gözler ve ağız ve burun yoluyla akciğerlerdir. Yanma hissi ve solunum problemleri ilk etkilerdir. İkincil boyut olan “Kronik” etkiler ise maruz kalma süresinin fonksiyonudur ve uzun süreler maruz kalma sonucu ortaya çıkan etkilerdir.

**Ozon:** kuvvetli bir oksitleyicidir ve solunum sistemini etkiler. En önemli etkisi akciğer dokusuna verdiği zarardır. Akut etkileri arasında öksürük, göğüs ağrıları göz yaşarması, baş ağrısı, akciğer fonksiyon kayıpları ve astım nöbetleridir. Akciğerlerde kirpikçikli hücreler etkilenirler. Bu hücreler akciğere ulaşan partiküllerin temizlenmesini sağlamaktadırlar İlave olarak akciğer olveollerinde hücre zarlarında zararlar oluşur. Bu zararlar akciğerlerde kan ile hava arasında oksijen ve karbondioksit değişiminin sağlandığı baloncuklardır. Yüksek konsantrasyonda ozona maruz kalınması halinde bağışıklık sistemi fonksiyonlarında kayıplar, yaşlanmanın hızlanması, enfeksiyon hastalıklarına direnç azalması gibi rahatsızlıklar görülür. Ozonu oksitleyici özelliğine bağlı olarak alveol hücrelerinde daimi kayıplar oluşur.

**Kükürt dioksit:** Kükürt dioksitin hedef organı akciğerlerdir ve akut sağlık etkileri vardır. Bu etkiler tahriş ve nefes yollarının daralması şeklinde görülür. Bu daralmalar yapışkan salgıların temizlenmesinde azalmalara neden olur. Normal koşullarda akciğer yolları açıktır ancak maruz kaldıktan sonra SO<sub>2</sub>'nin etkisi nedeniyle hava yolları daralır. Bu daralma diğer sağlık koşullarını da olumsuz etkiler. Sağlıklı insanlarda boğaz yanması, öksürme ve teneffüs güçlüğü yanında SO<sub>2</sub> 0,5 ppm değerine yaklaştığında hissedilir

koku rahatsızlığı şeklinde etkilere yol açmaktadır. Akut olarak maruz kalındıktan sonra güneş ışığına daha duyarlı hale gelinmektedir. Kronik etkiler arasında SO<sub>2</sub> bağışıklık sistemini baskılayarak bronşite yakalanma ihtimalini artırmaktadır. Bu durum anfizem olarak adlandırılan akciğer yetmezliğine neden olmaktadır. Ayrıca bağışıklık sisteminin baskılanması kanser riskini artırmaktadır.

**Partiküller madde:** Partiküller madde parametresi partikül çapına göre farklı adlarla adlandırılmaktadır. Atmosferik partiküler madde (APM) havadaki asıdıda belirli sürelerde kalabilen bütün çaplara sahip partikül grubunu temsil eder ve genel olarak 30 µm den küçük çaplara karşılık gelir. PM<sub>10</sub>, ortalama çapın 10 µm'den küçük olan partikülleri ve PM<sub>2,5</sub> ise ortalama çapın 2,5 µm'den küçük olan partikülleri içine alır. Solunum sistemi ağız ve burundan başlayarak akciğerlerin en uç noktasına kadar partiküllerin etkisine çaplarına bağılı olarak farklı bölgelerde farklı şekillerde etkilenir. Çapı 30 µm'den büyük partiküller burun içinde 1-1,5 cm mesafede tutulurlar. Çapı 10 µm'den büyük partiküller burun sinüsler ve nefes borusunda etkili bir şekilde tutulurlar. 10 µm'den küçük olanlar broşlara ve akciğerin alt kısımlarına geçebilirler. 0,5 µm'den küçük olan partiküller çökme hızının düşük olması nedeniyle toplam çökmenin en az olduğı çapa karşılık gelmektedir. 0,1-1,0 m aralığı en az tutulan partikül çaplarına tekabül etmekte ve verilen nefesle tekrar dışarıya atılmaktadır. Partiküller çaplarına ve akciğerlerde neden olacakları etkiye bağılı olarak ağız ve burundan geçebilecek partiküller (Inhalable), genizden sonra akciğere geçebilen partiküller (Thoracic), kirpiksi hücrelerin olduğı alt solunum sistemi kısmına geçebilen (respirable) ve yüksek riskli partiküller (high risk respirable) olmak üzere dört kategoriye ayrılırlar. Bu gruplamada etkili olan partikül çapları thoracic için 10, respirable için 4 ve high risk respirable için 2,5 µm olarak verilmektedir. Yüksek konsantrasyonlarda PM'e maruz kalınması (akut etki) ölüm oranlarını, astım ve bronşit ve akciğer enfeksiyonlarına yakalanma oranlarını artırmaktadır. Bu partiküller solunum yollarını tahriş etmekte, daralmasına ve hava geçişinin azalmasına neden olmakta, akciğer yüzeyinin salgı ile kaplanmasını engellemektedir. İnce partiküllerin kronik etkiler arasında akciğer kapasitesinde kayıplar, akciğer harabiyeti, yara oluşumuna bağılı olarak partiküllerin alveollerden uzaklaştırma mekanizmasının çalışmaması belirtilmelidir. İnce partiküller ağır metaller gibi bazı toksik kirleticilerin de taşıyıcısı olduğundan akciğerlerde alveollerde kana geçerek vücudun hassa organlarına taşınarak zarar verirler. Partiküllerin atmosferdeki en önemli göstergesi görüş mesafesinin

azalmasıdır ve diğer pek çok olumsuz etkisi yanında psikolojik olarak da etkilenmeye neden olur.

**Azot dioksit:** Ozon sentezine yol açması yanında insan sağlığı üzerinde de etkilere sahiptir. Akut etkisi doğrudan ve dolaylı yollarla gerçekleşir. Doğrudan etkisi akciğer hücre zarlarına ve hava yolları üzerinde gerçekleşmektedir. Astım nöbetlerini tetikler. Dolaylı olarak da ödem oluşumuna ve hücreler arası boşluğun sıvı ile dolmasına ve yerel olarak enfeksiyonların oluşumuna yol açmaktadır. Kronik etkiler arasında nekrozis (doku harabiyeti) ve hücre ölümlerine neden olmaktadır. Ayrıca NO<sub>2</sub>'nin alveollerde hücre duvarı incelmesine ve gaz transferinde yetersizliklere neden olduğuna dair deliller mevcuttur. Farelerde NO<sub>2</sub>'ye maruz kaldıktan sonra kanser hücresi verildiğinde NO<sub>2</sub>'ye maruz kalmayan farelere göre yüksek oranda akciğer kanser nodülleri geliştiği rapor edilmiştir.

**Karbon monoksit:** CO kandaki hemoglobine bağlanarak zarar vermektedir. Hemoglobin oksijen taşıyan bir protein olup hayat için önemlidir. CO ile bağlanınca kanın oksijen taşıma kapasitesi etkilenmektedir. Yüksek oranda CO oksijensiz kalmaya neden olmakta güç ve refleks kaybı, yorulma, baş ağrısı gibi beyinin oksijensiz kalmasına ait belirtiler oluşmaktadır. Buna akciğer ve kalbin de olumsuzlukları eklendiğinde ölümcül etkiler ortaya çıkmaktadır. Merkezi sinir sistemi ve beyin fonksiyonları etkilenmektedir.

**Kurşun:** Kurşun toksik bir metaldir. Diğer kirleticilerden farklı etkilere sahiptir. Pb sistemik bir toksik madde olup vücutta birçok hayati organı hedef alır. Merkezi sinir sistemine zarar verir. Beyin fonksiyonları etkilenir. Kasların kontrolü ve öğrenme kayıplarına yol açar. Kırmızı kan hücrelerinin çoğalmasını sağlayan enzimleri etkiler ve kansızlığa neden olur. Çocuklarda gelişme geriliğine ve insanlarda böbrek yetersizliğine kalp ve karaciğer harabiyetine neden olur. Üreme fonksiyonların azaltır.

### ■ 1.5.2. Bitki ve Hayvanlar üzerindeki Etkiler

**Kükürtdioksit:** Bitkilerde beyaz lekeler, damarlar arasında beyazlaşma, klorozis (klorofil kaybına bağlı sararma) görülür.

**Ozon:** Bitkilerde; leke, küçük bereler, beyazımsı noktalar, pigmentasyon, yaprakların alt kısmında parlaklık artışı, gümüşü, broz rengine dönüşme, genç yapraklar da çok hassasiyet, spongy hücreler, iğne yapraklı bitkilerde ise kahverengi renge dönüş ve tahrip oluşmasına neden olur.

**Azot dioksit:** Bitki damarları arasındaki dokularda ve yaprak kenarlarında düzensiz, beyaz veya kahverengi içine çökmüş yaraların oluşmasına neden olur.

**Hidrojen florür:** Bitkilerin uç ve kenar yangıları, yaprak kopması, nekroze olmuş kısımlarla yeşil kısımlar arasında dar kırmızı bantların oluşumuna neden olmaktadır.

**Hidrojen klorür:** Bitkilerde asit tipi nekrotik yaralar, çam yapraklarının uç kısım yangısı, geniş yapraklarda kenar nekrozları etkisi gösterir.

**Hidrojen sülfür:** Bitkilerin esas kısımlarında ve kenarlarda kavrulmaya neden olur.

**Sülfürik asit:** Yaprak üst yüzeyinde nekrotik lekeler oluşur, bitkilerin bütün yaprakları etkilenir.

### ■ 1.5.3. Hayvanlar Üzerindeki Etkiler

Evcil hayvanlar(kedi, köpek, inekler vb) insanlar gibi hava kirlenmesinden etkilenmektedir. Hava kirliliğine maruz kalan hayvanlarda yapılan otopside akciğer ödemleri görülmüştür. Nefes yollarından çok toksik kirleticilerle bulaşmış gıda maddeleri yoluyla giriş belirleyicidir. Bu durum besi hayvancılığında hava kirlenmesine maruz kalmış bitki kısımlarının yenmesi ile vücutta birikmekte ve hayvansal ürünlere geçmektedir. (3) Pestisit, herbisit ve fungusitlerin önemi artmaktadır. Florür, kurşun, ağır metaller ve partiküler maddeler evcil hayvanlarda etkili olmaktadır. Florürler, bu kirleticilere maruz kalmış bitkisel yemleri tüketen, inek, koyun at, domuz ve kümes hayvanlarında florozis hastalığına neden olmaktadır. Kurşunla kirlenmiş otların yedirilmesi durumunda da kurşun maruziyetine bağlı olarak rahatsızlıklar ortaya çıkmaktadır. Arsenik, selenyum ve molibden gibi ağır metaller de kümes hayvanlarında birikime neden olmaktadır.

### 1.5.4. Malzeme Üzerindeki Etkiler

Metaller üzerinde korozyon etkisi belirleyicidir. Etki nem, sıcaklık ve kirlenme konsantrasyonuna bağlıdır. Demir cinsi malzemelerde %90 oranında korozyon etkilidir. Sülfürik asitin en büyük etkisi korozyondur. Çinko, bakır, nikel ve bronz metalleri de  $SO_x$ ,  $H_2S$  ve diğer asidik hazzardan etkilenirler. Korozyon elektrikli ve elektronik metallerde çok daha etkilidir. Bina malzemeleri yüzeyine yapışan partiküllerden dolayı kirlenme ve boyanma ortaya çıkmaktadır. Mermer, kireçtaşı ve dolomit malzemeler asidik gazlar dolayısı ile kimyasal olarak aşınmaktadır. Tarihi ve arkeolojik yapılarda geri döndürülemez zararlar oluşmaktadır. Kimyasal olarak aşındırmadan nem eşliğinde  $SO_2$  ve  $CO_2$  kirlenmelerinin oluşturduğu sülfürik asit ve karbonik asit sorumludur. Bu asitler malzemelerle suda çözünebilir ürünler verirler ve bu ürünler yağmur suyu ile yıkanarak uzaklaştırılırlar. (3) Binaların dış cephesinin boyaarı  $H_2S$ ,  $SO_x$ ,  $NH_3$ ,  $O_3$  ve PM gibi kirlenmeler nedeniyle solmakta, parlaklığını yitirmekte, yapışma ve mukavemet özelliklerini kaybetmektedir. Dokunmuş tekstil ürünleri, deri ürünler ve kağıt malzemeler üzerinde de hava kirliliğinin etkisi söz konusudur. En önemli etkiler kirlenme ve liflerin zayıflamasıdır. PM ve asidik hava kirlenmeler sorumludur.  $SO_2$ ,  $O_3$ , PM ve  $NO_x$  kirlenmeleri dokularla reaksiyona girerek renk solmasına neden olurlar.  $SO_x$  kağıtların ve deri malzemelerin görünüşünü ve kompozisyonunu etkiler. Nem ile  $SO_x$  sülfürik asiti oluşturur ve bu malzemeleri kırılabilir ve parçalanabilir hale getirir. Kauçuk özellikle ozonun etkisi ile kırılabilir. Otomobil lastikleri en çok etkilenen kauçuk malzemedir.

### 1.5.5. Global Etkiler

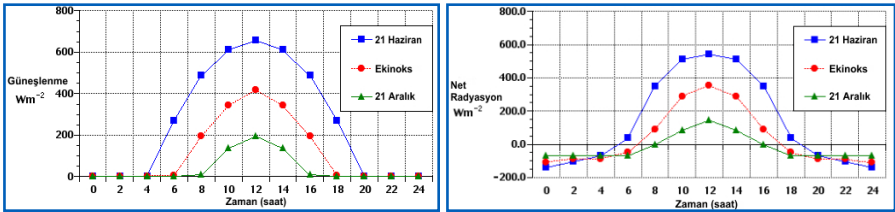
Hava kirlenmeler atmosferde zaman zaman pus (haze) ve sis oluşumuna neden olarak görüş mesafesinin azalmasına yol açarlar. Diğer taraftan stratosferik ozon deliği, asit birikimi, iklim değişikliği gibi büyük ölçekli etkileri de vardır.

## 1.6. Hava Kirliliğine Etki Eden Faktörler

Hava kirliliğine etki eden faktörlerin başında; atmosferde meydana gelen hava olaylarının oluşumunu, gelişimini ve değişimini nedenleri ile inceleyen ve bu hava olaylarının canlılar ve dünya açısından doğuracağı sonuçları araştıran meteoroloji bilim dalı gelir.

### 1.6.1. Sıcaklık

Yeryüzünün kutuptan kutuba farklı ısınması birçok sonuca neden olur. Burada temel ilke güneşin açısının enlemlere ve mevsimlere göre değişimidir. Dünya güneş etrafındaki dönüşünü 365 günde, kendi eksenini etrafındaki dönüşü ise 24 saatte tamamlar. Dünya 23 derecelik eğik bir eksen üzerinde dönmektedir. Eğer bu eğim olmasaydı mevsimlerde olmayacaktı ve kutuplar dışında birçok alanda yıl boyu 12 saat günışığı olacaktı. Dünyanın kutup eksenini üzerinde 23 derecelik bir açıyla 24 saatte dönmesinden dolayı güneşten gelen ışınların miktarı hem güneşlenme süresi hem de net radyasyon olarak farklılıklar göstermektedir. (Şekil 13)

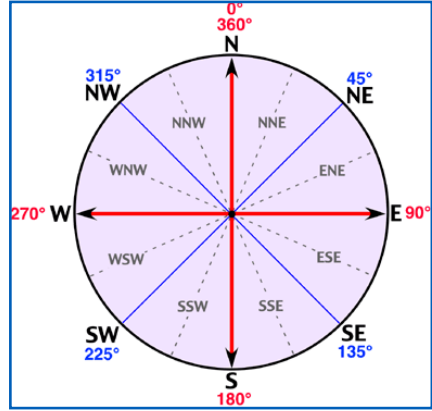


Şekil 13 Zaman Dilimine Göre Güneşten Gelen Isınma Miktarı Değişim Grafiği

Dünyanın güneş etrafında dönmesinden dolayı mevsimler meydana gelmektedir. 20-21 mart ilkbahar noktası gün eşitliğini 22-23 eylül ise sonbahar noktası gün eşitliğini göstermektedir. 21-22 haziran ve 21-22 aralık ise yaz ve kış gündönümünü göstermektedir. Eğer dünya homojen bir yapıya sahip olsaydı yani karalar ve denizler olmasaydı, kutuba yakın alanlar soğuk, ekvatora yakın alanlar sıcak olurdu. Ancak yeryüzü karalar ve denizlerden oluşan karmaşık bir yapıya sahiptir. Karaların denizlerin farklı ısınıp soğuması enlem ve yükselti faktörleri yeryüzünün her noktasının farklı ısınmasına neden olmaktadır. (5)

## 1.6.2. Rüzgâr

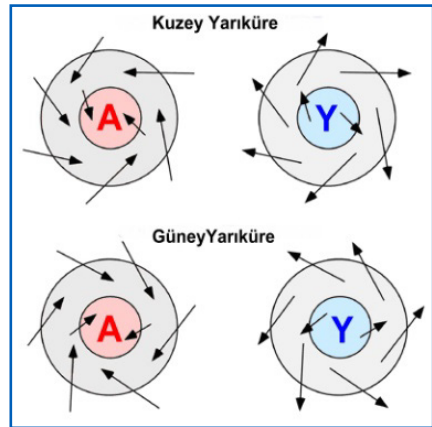
Rüzgâr en basit anlatımla yatay hava hareketi olup yüksek basınçtan alçak basınca doğru olan hava akımıdır. Rüzgâr hızı anemometre ile ölçülür, ancak artık meteorolojik ölçümlerin çoğu sensörler yoluyla otomatik meteoroloji istasyonları tarafından yapılmaktadır. Rüzgâr, doğu, batı, kuzey (yıldız) ve güney (kıble) olmak üzere dört ana, kuzeydoğu (poyraz), kuzeybatı (karayel), güneydoğu (keşişleme) ve güneybatı (lodos) ara yönleri ile tanımlanmaktadır (Şekil 14). Meteorolojik ölçümlerde ise daha da hassas ara yönler kullanılmaktadır.



Şekil 14: Meteorolojik Rüzgar Yönü ve Açılıarı

Rüzgâr yüksek basınçtan alçak basınca doğru akar. Basıncın etrafına göre yüksek olduğu merkezler, yer seviyesinde yüksek basınç merkezini gösterir. Yüksek basınç merkezi kuzey yarıkürede saat istikametinde bir dönüş yapar. Alçak basınç merkezi ise kuzey yarıkürede saat istikametinin tersine bir dönüş yapar (Şekil 15). Güney yarıkürede ise dönüşler kuzey yarıkürenin tersinedir. Eş basınç (izobar) değerleri birleştirilerek, yeryüzüne ait en önemli bilgileri veren yer haritaları elde edilir. Bu haritalar tüm dünyayı gösterdiği gibi yalnız ülkelere ve bölgelere ait hazırlanabilir. Bu haritalar üzerinde alçak ve yüksek basınç alanları soğuk ve sıcak cephele yağışlı ve sisli bölgeler gibi birçok ayrıntılar yanında bu haritanın daha sonra nasıl olacağına dair ipuçları vardır.

Karaların ve denizlerin farklı ısınıp farklı soğumasından kıyı meltemleri oluşur. Karalar denizlere göre daha çabuk ısındığından, ısınan hava yükselir ve yerinde alçak basınç merkezi



Şekil 15: Basınç Merkezleri Dönüş Yönü

oluşur, deniz üzeri henüz ısınma olmadığı için buradaki basınç karaya göre daha fazladır yani yüksek basınçtır. Gündüzleri denizden karaya, geceleri ise karadan denizlere doğru olan kıyı rüzgârları dünyanın değişik noktalarında değişik isimlerle adlandırılır. Ayrıca soğuk havanın hafif olup yükselme, sıcak havanın ağır olup çökme özelliklerine göre dağ, yamaç ve vadilerde de gece gündüz sıcaklık farkından dolayı rüzgar akışları vardır. Aslında kartalları ve planörleri enerji kullanmadan yüksek sevilere çıkaran sıcak havanın yükselmesidir. Kıyı meltemleri sakin havalarda görülür, bunlardan daha kuvvetli alçak ya da yüksek basınç etkisi görülen alanlarda basınç merkezlerinin akışı hâkimdir. Musonlarda çok büyük ölçekli kıyı meltemidir, yazın okyanustan yağışlı hava, kışın Himalayalardan soğuk ve kuru hava kıyıları etkiler. Hava yerden yukarı doğru yükselirken genişler ve soğur. Hava içindeki nem, bulut oluşturmak üzere yoğunlaşır. Bu şartlar altında troposferde hava kirliliği ile ilgili sorun oluşmaz ve kirlenici parametrelerde çökme meydana gelmez. Kararsız (anastabil) ve nötr şartlarda, yere yakın hava, üstteki havadan daha hızlı olarak ısınır. Isınan hava soğuk tabakaya doğru yükselir. Sıcaklığın yerden yükseklikle azalması, havayı karıştırarak bacalardan ve egzozlardan atılan kirlenicilerin dağılmasına ve seyrelmesine yardımcı olur. Bir kısım hava, çevre havasından daha sıcaksa bu hava atmosferde kendi sıcaklığına, yoğunluğuna ve basıncına ulaşınca kadar yükselir. Böylece kararsız ve nötr şartlarda bacadan ve egzozdan atılan gazların atmosferde yükselmesi ve dağılması hızlı bir şekilde gerçekleşir. (5)

### ■ 1.6.3. Basınç

Atmosfer basıncı, atmosferdeki gazların yeryüzüne uyguladığı kuvettir. 45° enleminde 15°C sıcaklıkta deniz seviyesinde ölçülen atmosfer basıncı 1013 mbar ya da 760 mm ile ifade edilir. Bu değere normal atmosfer basıncı denir. 1013 mbar'dan daha düşük basınç değerlerine alçak basınç, 1013 mbar'dan daha fazla basınç değerlerine yüksek basınç denir. Basıncın yeryüzündeki dağılışı aynı değildir. Yerçekimi, sıcaklık, yükselti ve Dünya'nın günlük hareketi basınç türlerinin oluşumunda etkilidir.

**Alçak Basınçlar:** Çevresine göre basınç değerlerinin düşük olduğu merkezlerdir. Havanın hareketi çevreden merkeze doğrudur. Kuzey yarım kürede saatin ters yönünde iken güney yarım kürede saat yönündedir. Alçak basınç alanlarında yükselici hava hareketleri etkilidir. Yükselen hava giderek soğur ve yoğunlaşır. Bu nedenle gökyüzünde bulut, yağmur gibi birçok yoğunlaşma

ürünü görülür. Alçak basınçlar sıcaklığa ya da Günlük harekete bağlı oluşabilmektedir. Ekvator'da yer alan alçak basıncın oluşumu sıcaklık kökenlidir. 60° enleminde yer alan alçak basıncın oluşma nedeni ise kutup ve tropikal hava kütlelerinin karşılaşma alanı olmasından kaynaklıdır. Yaz mevsiminde karalar, kış mevsiminde ise denizler sıcaktır ve buna bağlı olarak buralar alçak basınç özelliği göstermektedir.

**Yüksek Basınçlar:** Çevresine göre basınç değerlerinin yüksek olduğu merkezlerdir. Havanın hareketi merkezden çevreye doğrudur. Güney yarım kürede saatin ters yönünde iken kuzey yarım kürede saat yönündedir. Yüksek basınç alanlarında hava açık, güneşli ve bulutsuzdur. Yüksek basınçlar da sıcaklık ve günlük harekete bağlı oluşabilmektedir. 30° enlemindeki çöller ile kutuplar üzerinde yer alan yüksek basınçların oluşum nedenleri farklıdır. Kutuplardaki yüksek basınç termik kökenli olup burada sıcaklığın düşük olmasından kaynaklıdır. 30° enlemlerinde yer alan basınçlar ise Dünya'nın günlük hareketi ve rüzgarların sapmaya uğraması kaynaklıdır. Yaz mevsiminde denizler karalara göre daha ılıktır, kış mevsiminde ise karalar denizlere göre daha soğuktur. Bu nedenle yazın denizler kışın karalar üzerinde yüksek basınç oluşur. Basıncı etkileyen faktörler;

**Yükseklik:** Yükseklik arttıkça basınç azalır. Yükseldikçe hava moleküllerinin seyrekleşmesi birim alana uygulanan basıncında azalması anlamına gelmektedir.

**Sıcaklık:** Sıcaklık arttıkça basınç azalır. Sıcaklığın artması havanın seyrekleşerek yükselmesine neden olur böylece yüzeydeki basınç azalır. Kutuplarda ve soğuk bölgelerde (karalarda kış mevsiminde) soğuyan hava ağırlaşarak yere yığılır bu da basıncın artmasına neden olur.

**Yerçekimi:** Yerçekimi arttıkça basınç artar. Yerçekiminin en fazla olduğu kutuplarda basınç fazla, ekvatorsa ise azdır. Bu şekilde olmasının tek nedeni yerçekimi değildir. Yukarıda da söylendiği gibi bunda sıcaklığında etkisi oldukça fazladır.

**Dinamik Etkenler:** Hava kütlelerinin alçalarak yığılması ya da yükselerek seyrekleşmesi sonucunda oluşur. Alçalarak yığılması yığılma bölgesinde ağırlığın artmasına yani basıncın artmasına neden olurken, yükselerek seyrekleşmesi ağırlığın azalmasına yani basıncın azalmasına neden olur.

Atmosferin yukarı seviyelerini anlamak için dünya üzerinde 1000 den fazla istasyonda 12 saatte bir (bazı özel istasyonlarda saatlik, üçer ve altışar saatlik) balonla ölçüm yapılmaktadır. Yaklaşık 40 km ye kadar ulaşan derinlikte olan

sıcaklık, nem, yükseklik ve rüzgar bilgileri elde edilmektedir. Elde edilen bilgiler yoluyla atmosferin standart seviyelerine (1000, 850, 700, 500, 300, 250, 200, 100 hPa) ait haritalar elde edilmektedir. Bu haritalardan en önemlisi 500 hpa haritasıdır, yaklaşık yerden 5500 metre yukarıdaki sıcaklık, nem rüzgâr dağılımı ile bu seviyedeki havanın kalınlığını (yüksekliği) göstermektedir. Bu haritaların çiziminde eş yükseltileri birleştiren kontur ve eş sıcaklıkları birleştiren izotermeler kullanılmaktadır (Şekil-41). Haritalar üzerindeki sıcaklık değerleri mevsime göre, atmosferin yukarı seviyelerindeki sıcak yada soğuk havayı belirlemektedir. Ayrıca konturların bükülüşü ve rüzgâr yön ve şiddeti de hava tahmincileri için önemli ipuçları sağlamaktadır. Alçak ya da yüksek merkezlerin hareketi birçok faktöre bağlı olarak değişir. Bunlardan en önemlileri; basınç gradyan kuvveti, merkezkaç kuvveti ve koriolis kuvvetidir. (5)

#### ■ 1.6.4. Nem

1 m<sup>3</sup> havanın içindeki su buharının gram olarak ağırlığına mutlak nem denir. Mutlak nem, sıcaklığa bağlı olarak, Ekvator'dan kutuplara doğru, denizlerden karalara doğru ve yükseklerle çıkıldıkça azalır. 1 m<sup>3</sup> havanın belli bir sıcaklıkta taşıyabileceği nemin gram olarak ağırlığıdır. Hava kütleleri ısındıkça genişler hacimleri artar. Bu nedenle nem alma ve taşıma kapasiteleri de artar. Eğer hava taşıyabileceği kadar nem alırsa doyma noktasına ulaşır ve doymuş hava adını alır. Hava kütlesi kendisinden daha soğuk bir hava ile karşılaştığında ya da soğuk bir zemin üzerinden geçtiğinde sıcaklığı düşer. Böylece nem miktarı değişmeden sıcaklığı düşen hava kütlelerinin bağıl nemi artar. (5)

#### ■ 1.6.5. Enverziyon

Dikey olarak yükselen havanın sıcaklığı her 100 metrede 0,65 derece azalır (normal lapse-rate).Eğer sıcaklık yükseklikle azalmıyor artıyorsa bu duruma (negatif lapse rate) enverziyon denir. Enverziyon genellikle kış mevsiminde, büyük şehirlerde çok belirgin olarak görülür ve hava kirliliğine neden olur. Özellikle kış mevsiminde, yüksek basıncın hakim olduğu sakin gecelerde yeryüzü radyasyon kaybı nedeniyle havadan daha çabuk soğur ve yere yakın seviyelerde soğuk, yerin biraz üstünde ise sıcak hava bulunur. Bu durumda yerdeki soğuk hava hapsolür ve yükselmez, ne zaman yer sıcaklığı ısınarak

yukarı seviyelerden yüksek hale gelir o zaman oluşan radyasyon sisi ve enverziyon ortadan kalkar. (5)

### 1.6.6. Karışım Yüksekliği

Karışım tabakasının yüksekliği veya karışım yüksekliği (MLH), atmosferin yer kabuğuna en yakın seviyesinde olan troposferin yapısını tanımlayan temel bir parametredir ve yer seviyesinden atmosfere yayılan kirlenici maddelerin dağılımının gerçekleştiği atmosferik ortamdır. Bu parametre yerel kaynaklardan yayılan kirlenicilerin atmosfer içerisinde ne oranda yükselebileceği ve yayılabileceğinin en belirgin göstergesidir. Bunun yanı sıra hava kirliliği tahmin modelleri ve iklim analizlerinde kullanılan önemli bir parametredir. Birkaç değişkene bağlı bir parametre olup genelde doğrudan ölçülemez. Yüksek basınç şartlarının olduğu bir alada hava, devamlı çökme eğilimi gösterir. Bu nedenle kirlenmiş hava, yükselme ve dağılma şansı bulunmaz. Alçak basınç (Siklon)'larda ise, hava hareketi yükselici özellik gösterir. Türbülans ve konvektif harekete sahiptir. Kirlenmiş havayı Atmosferin üst katlarına taşıyarak, yükseklerdeki rüzgarlarla dağılmasına neden olur. Rüzgarın varlığı, kirlenmiş havanın taşınması ve bir yerlere sürüklenmesi demektir. Rüzgarın sakin veya hafif olması ise, kirlenmiş havanın olduğu yerde kalması demektir. Bu nedenle, rüzgara kapalı alanlar, kirliliğin en yoğun olduğu alanlar olarak karşımıza çıkarlar. (5)

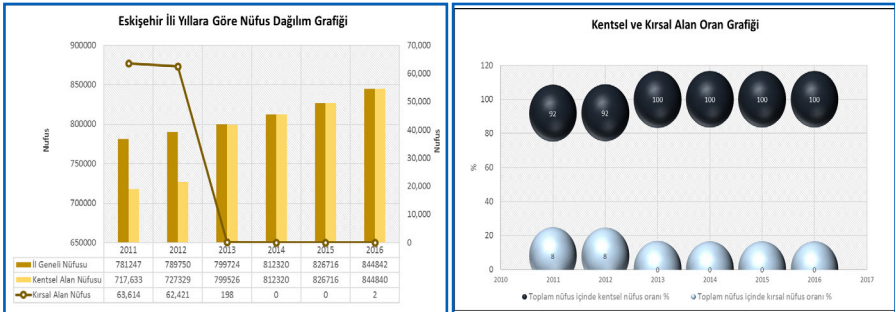




## 2. ESKİŞEHİR İLİNDE HAVA KİRLİLİK KAYNAKLARININ MEVCUT DURUMU

### 2.1. Isınma kaynağı

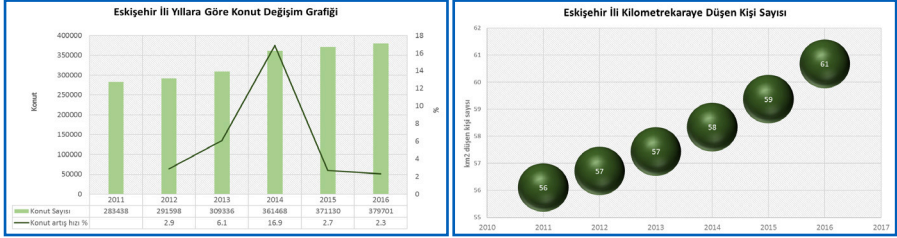
Isınma kaynağının hava kalitesi düzeyine olan katkısının değerlendirilebilmesi için; ısınma kaynağının bileşenleri olan konut sayısı, konutlarda ısıtmada kullanılan yakma sistemi türü, yakma sistemlerinde tüketilen yakıt türü ve miktarı bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Uzun dönem hava kalitesi düzeyi analizini içeren bu çalışma için ilde konut sayısını netleştirmek için refernas noktası olarak yıllara göre nüfus değişimi incelenmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) kurumu verileri kullanılarak il, ilçe ve mahalle bazlı nüfus ve konut sayısı değişimi incelenmiştir. Bu bilgiler Eskişehir Belediye Başkanlığı, www.nufusu.com vb. gibi yerlerden temin edilen verilerle doğrulama testine tabi tutulmuştur. TÜİK verilerinde nüfus ve konut sayısındaki değişimin mahalle bazlı analizinde; en büyük değişim ve veriler arasındaki uyumsuzluk Belediye Kanunu ve Büyükşehir Belediye Kanunu ile birlikte düzenlenen mücavir alan sınırlarından dolayı 2013-2014 döneminde görülmüştür. Yüz ölçümü 13.925 km<sup>2</sup> olan ilde 2016 yılı itibari ile km<sup>2</sup>'ye düşen kişi sayısı 61'dir. Eskişehir ili mücavir alan sınırları içinde kentsel ve kırsal alan nüfus dağılımı ve alansal bazda nüfus oranları Şekil-16'de verilmiştir.



Şekil 16 Yıllara Göre Nüfus Dağılımı ve Kentsel-Kırsal Alan Değişim Grafiği (4, 6)

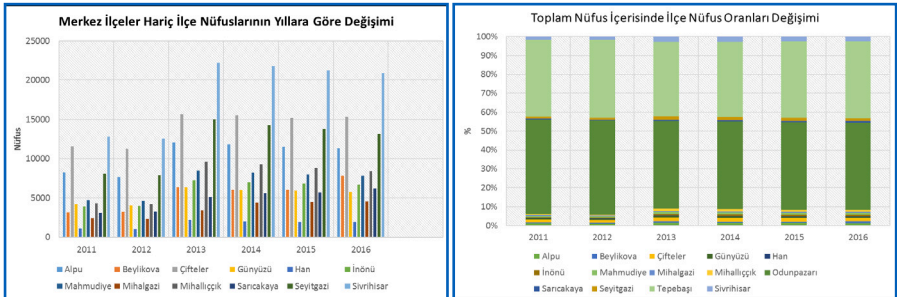
Şekil-16'da görüldüğü üzere il genelinde yıllar itibari kentsel alanda yaşayan nüfus hep artarak devam ederken kırsal alandaki nüfus hep azalma eğilimi göstermiştir. 2011-2016 dönemi için kentsel alanda yaşayan genel nüfusun ortalama %97'sına tekabül ederken, kırsal nüfus %3'üne tekabül etmekte

olup bu durum ilde kentsel alanın ağırlığını göstermektedir. Isınma kaynaklı hava kirliliğinin ana nedeni yakma sistemleri olduğundan, il genelinde nüfustan sonra konutların durumunun analizi yakma sistemlerine ulaşmada önemli bir diğer unsurdur. İl genelinde en güvenilir konut verisi TÜİK'den alınmış olup sonuçlar Şekil-17'de verilmiştir.



Şekil 17 Yıllara Göre Konut Sayısı Değişim Grafiği [4, 6]

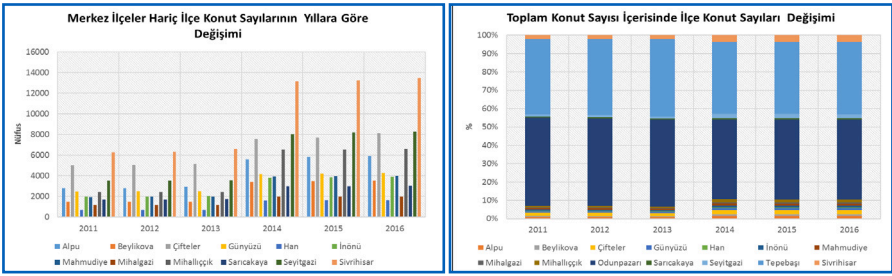
İl nüfusunun yaklaşık olarak %42'sine tekabül eden konut sayısı yıllar itibari ile genellikle artış eğiliminde olup en yüksek artış %16.9 oranı ile 2014 yılında gözlenmiş olup 2015 yılında %2.7 oranına düştüğü gözlemlenmiştir. Eskişehir ilinde kentsel alan nüfus ve konut sayısı analizinde konut başına düşen kişi sayısının yaklaşık olarak 2 kişi olduğu tespit edilmiştir. Eskişehir ili için ısınma kaynaklı hava kirliliğinin katkısını tespit edebilmek için kaynak tespitine götürecek tüm değerlendirmelerin genelden özele doğru yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda il geneli için yapılan yukarıdaki tüm analizler Eskişehir ili mücavir alan sınırları içerisinde yer alan Odunpazarı, Tepebaşı, Sivrihisar, Çifteler, Seyitgazi, Alpu, Mihaliççık, Mahmudiye, Beylikova, İnönü, Sarıcakaya, Günyüzü, Mihalgazi, Han ilçeleri içinde yapılmış olup sonuçlar Şekil 18 ve 19'da verilmiştir.



Şekil 18 İlçeler bazında Nüfus Değişim Grafiği

İl nüfusunun %87'una sahip olan merkez ilçe diğer ilçelerin nüfusunu bas-

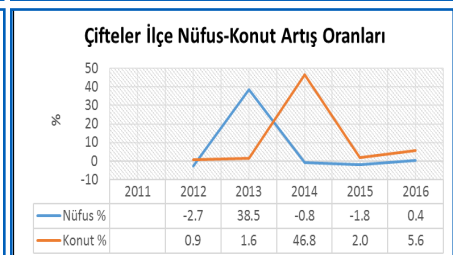
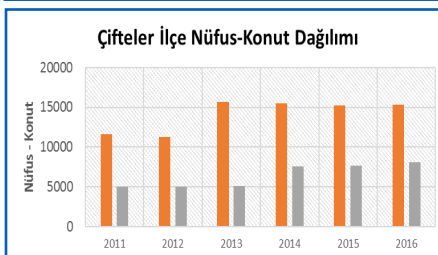
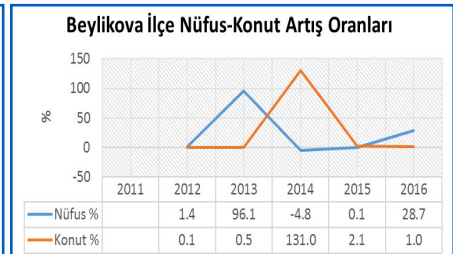
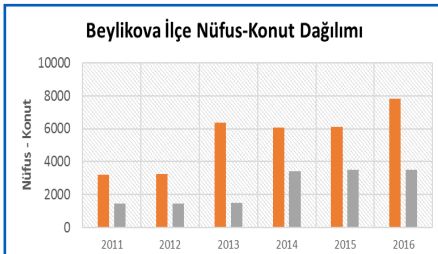
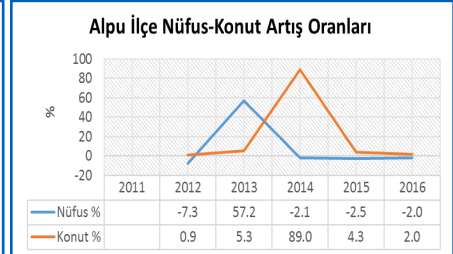
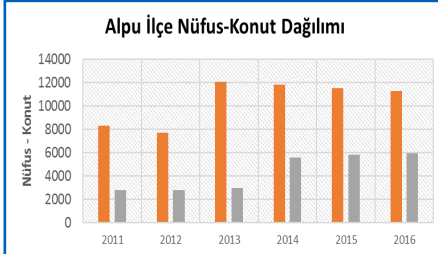
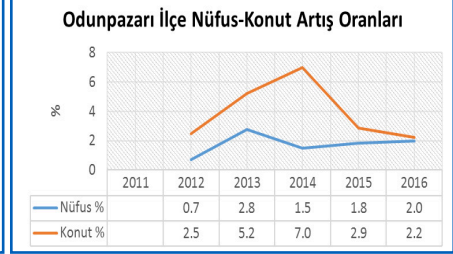
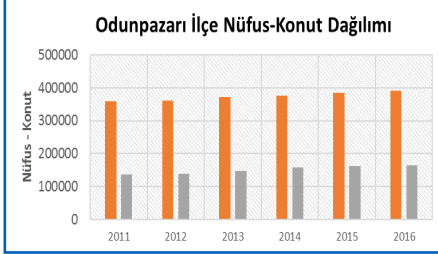
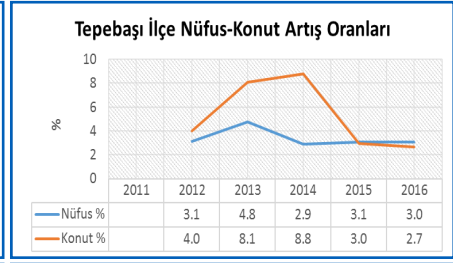
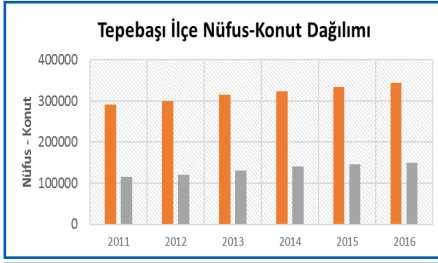
kıladığından Şekil 18'den çıkarılmıştır. İlde merkez ilçe haricindeki 12 adet ilçenin toplam nüfusunun il nüfusuna oranı %13'dir. Merkez ilçede yer alan Odunpazarının genel nüfus içindeki payı %46 iken Tepebaşı ilçesi %41 lik bir paya sahiptir. Diğer ilçelerin genel içerisindeki toplam payı %13 olup her bir ilçenin oranı %1-2 arasında değişmektedir. Yıllara göre nüfus sayısı çok değişmeyen ve il geneli içindeki en düşük nüfus oranına sahip ilçeler Han ve Mihalgazi'dir. Nüfus bazında yapılan bu değerlendirmenin konut özelindeki analiz sonuçları ise Şekil 19'da verilmiştir.

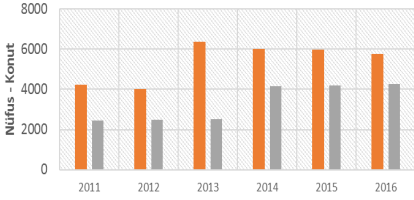
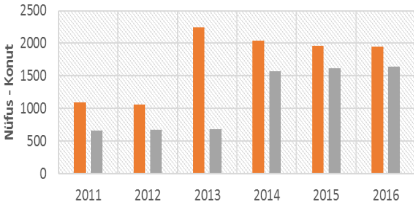
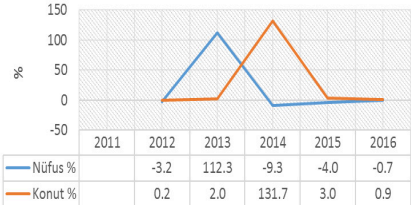
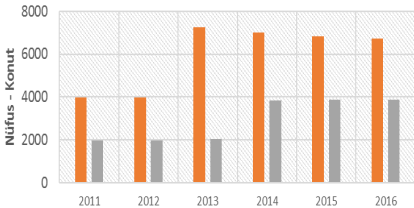
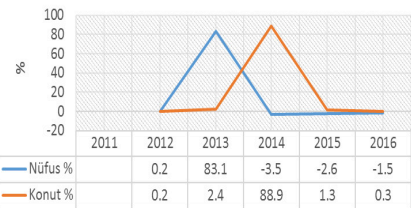
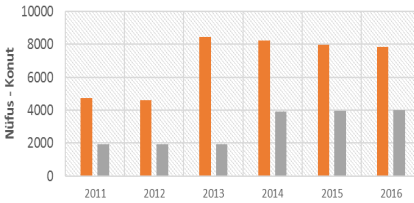
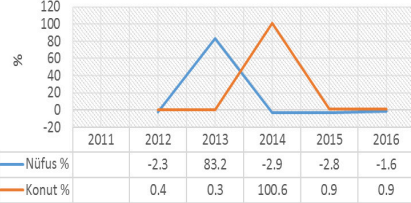
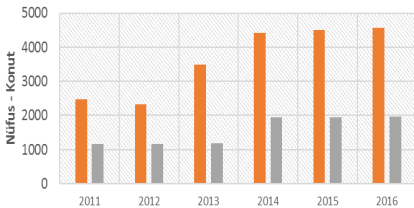
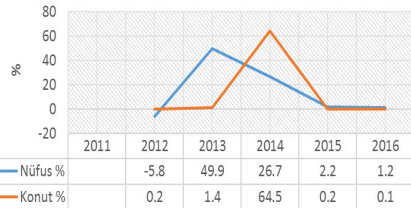


Şekil 19 İlçe Nüfuslarının Yıllara Göre Değişim Grafiği (6)

Şekil 19'da görüldüğü üzere konut sayısı değişiminde nüfusa paralel olarak Odunpazarı ve Tepebaşı ilçeleri en yüksek katkıya sahiptir. Eskişehir ili mücavir alan sınırları içerisinde yer alan ilçelerde nüfus ve konut sayısı değişimi ile yıllara göre artış ve azalış oranlarının analiz sonuçları Şekil 20'de yer almaktadır.





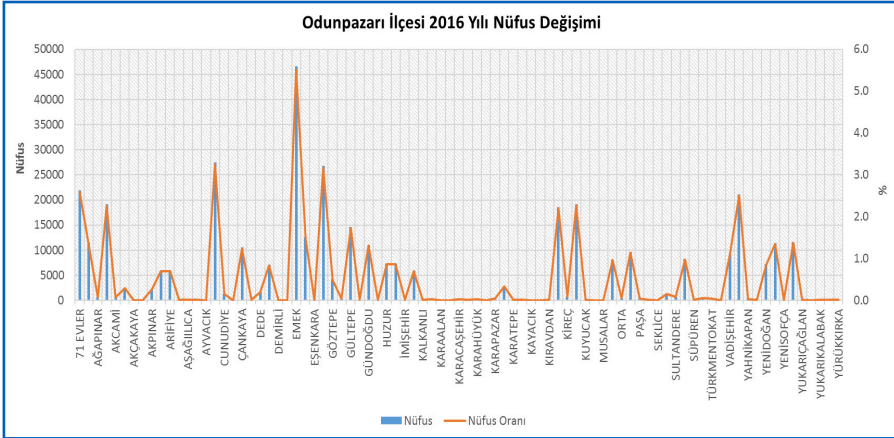
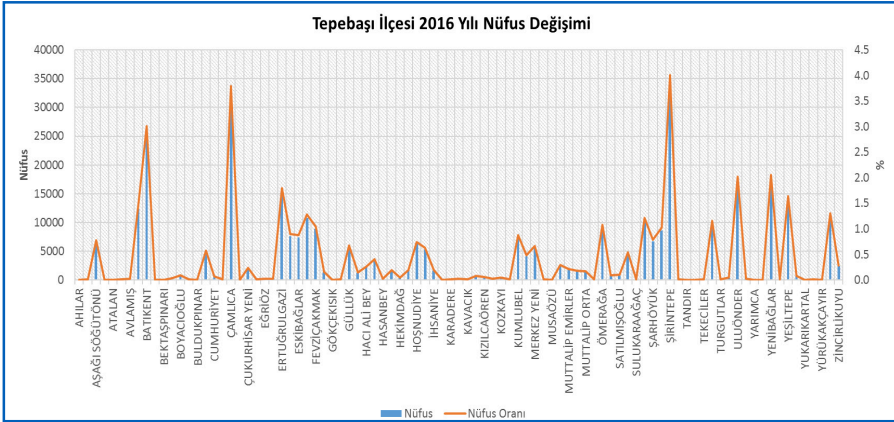
**Günyüzü İlçe Nüfus-Konut Dağılımı****Günyüzü İlçe Nüfus-Konut Artış Oranları****Han İlçe Nüfus-Konut Dağılımı****Han İlçe Nüfus-Konut Artış Oranları****İnönü İlçe Nüfus-Konut Dağılımı****İnönü İlçe Nüfus-Konut Artış Oranları****Mahmudiye İlçe Nüfus-Konut Dağılımı****Mahmudiye İlçe Nüfus-Konut Artış Oranları****Mihalgazi İlçe Nüfus-Konut Dağılımı****Mihalgazi İlçe Nüfus-Konut Artış Oranları**

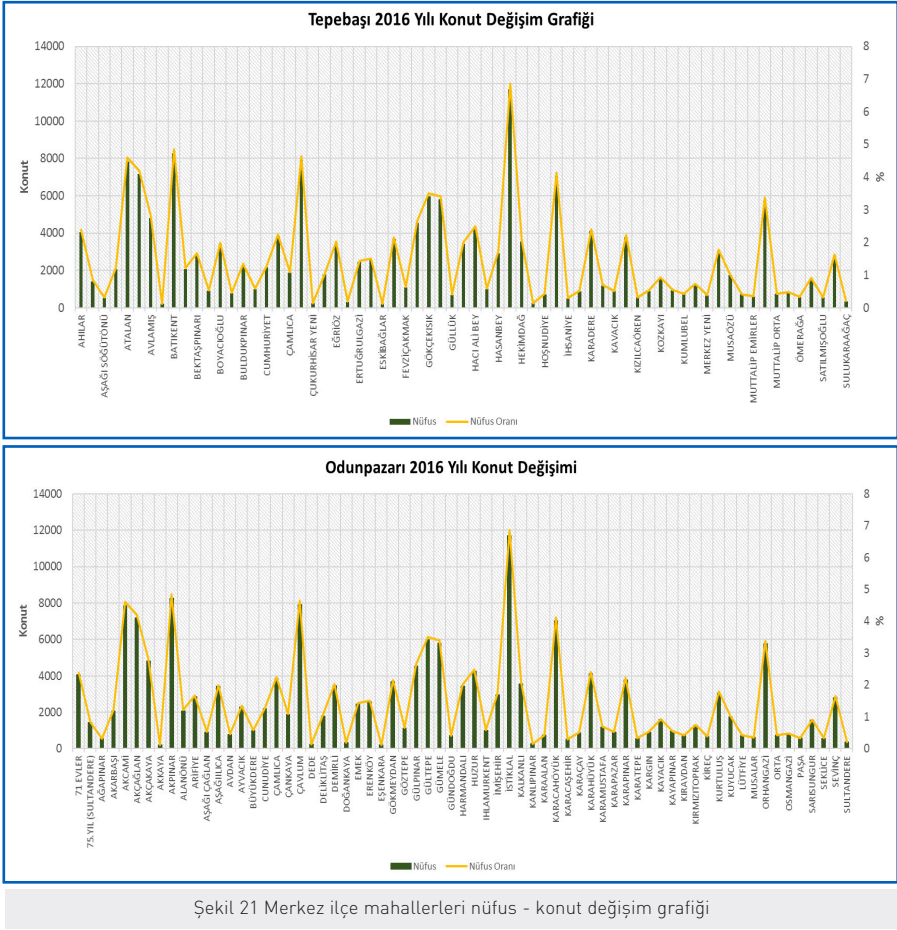


Şekil 20 Eskişehir İline bağlı İlçeler Nüfus ve Konut Sayılarının Yıllara Göre Değişim Grafiği (6)

Şekil 20'de görüldüğü üzere yıllara göre hemen hemen bütün ilçelerde konut sayısı artış eğilimi gösterirken nüfus dalgalı bir eğilim göstermiştir. Yıllar itibari ile en yüksek nüfus artışı 2012 yılından 2013 yılına geçişte %100 ile Mihalliçık ve Han ilçeleri bunu %90 ile Seyitgazi ve % 3 ile İnönü ilçesi takip etmektedir. En düşük nüfus artış oranı ise 2011 yılından 2012 yılına geçişte -%5.8 ile Mihalgazi iken bunu aynı dönemde -%3.1 ile Seyitgazi izlemektedir.

Bu raporun temel amacı il bazında hava kalitesi düzeyinde kaynakların etkisini incelemek olduğundan ısınma kaynaklı hava kirliliğine katkıda öncelikli olan ilçeler analiz edildiğinde nüfus ve konut sayısının yoğun olduğu Odunpazarı ve Tepebaşı ilçeleri detaylı olarak incelenmiştir. Odunpazarı ve Tepebaşı ilçelerinde yer alan mahalleler bazında 2016 yılı referans alınarak incelenen nüfus ve konut değişimi mahalle bazlı analiz edilmiş olup sonuçlar Şekil 21'de verilmiştir.

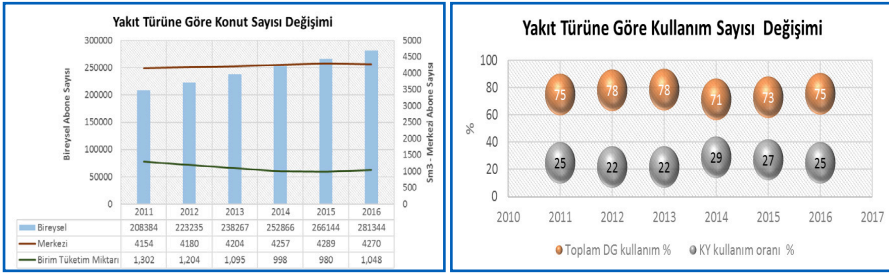




Şekil 21 Merkez ilçe mahallerleri nüfus - konut değişim grafiği

Şekil 21’de görüldüğü üzere Odunpazarı ve Tepebaşı ilçelerinin nüfusuna göre nüfus oranının en çok olduğu yerler %5.5 ile Emek, %4 ile Şirintepe, %3.8 ile Çamlıca ve %3.3 ile Büyükdere iken konut oranının en çok olduğu yerler; %4.8 ile Emek, %3.9 ile Şirintepe ve %3.2 ile Büyükdere mahalleleridir

İsınma kaynaklı hava kirliliğinin etken kaynağı yakıt ve yakma sistemleri olduğundan yukarıda detaylı olarak verilen konut sayısına bağlı olarak yakıt kullanım değişimi ve miktarları yıllara göre analiz edilmiş olup sonuçları Şekil 22’de verilmiştir.



Şekil 22 İl bazında ısınmada kullanılan yakıt türleri ve kullanım oranları değişim grafiği

Şekil 22'de görüldüğü üzere il genelinde;

- Doğalgaz kullanım oranı yıllara göre değişim göstermekle birlikte ortalama %75 civarında iken katı yakıt kullanım oranının ortalama %25'lerde seyrettiği,
- En yüksek birim doğalgaz tüketimi 2011 yılında 1302 Sm<sup>3</sup> iken yıllar itibarı ile ısınma derecesi güne bağlı olarak yıllara göre değişim gösteren birim tüketimin ortalama 1105 Sm<sup>3</sup> olduğu,
- Katı yakıt kullanan konut sayısı 2012 yılında 64183 iken 2014 yılında %61 oranında artarak 104345'e ulaştığı

Tespit edilmiştir.

İl genelinde yapılan yakıt dağılım çalışmasının illeler bazındaki durumu analiz edilmiş olup; sonuçlar Şekil 23 te verilmiştir.





Şekil 23 İlçeler doğalgaz ve katı yakıt kullanımları ile merkez ilçe doğalgaz tüketim oranları

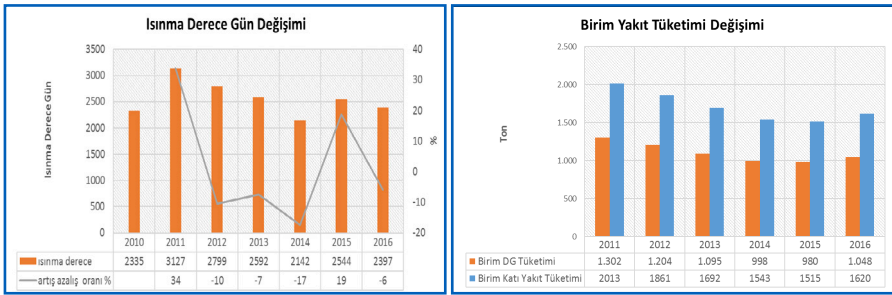
Şekil 23' te; ilçeler bazında ısınmada kullanılan yakıt türü, kullanan konut sayısı, tüketim miktarları ile her bir yakıt türüne göre kendi kullanımı içinde yakma sistemlerinin oranı bilgileri incelendiğinde;

- Doğalgaz kullanımı sadece Tepebaşı, Odunpazarı merkez ilçeleri ile 2014 yılından itibaren kullanıma başlanılan Seyitgazi İlçesi dışında 11 ilçede kullanılmadığı,
- Doğalgazın Odunpazarı ve Tepebaşı ilçelerinde %98 oranında bireysel %2 oranında ise merkezi yakma sistemlerinde kullanıldığı,
- Merkez Odunpazarı ilçesinde birim doğalgaz tüketiminin 2011-2016 döneminde yıllık ortalaması 1202 Sm<sup>3</sup> iken Tepebaşı ilçesindeki birim tüketim miktarının 1037 Sm<sup>3</sup> civarında olduğu,

- 2014 yılı itibari ile doğalgaz kullanımına başlanılan Seyitgazi ilçesinde doğalgaz abone sayısına göre birim tüketim miktarının çok yüksek olması ilçede doğalgaz tüketiminin ağırlıklı olarak sanayi tesislerinde olduğu,
- Merkez Odunpazarı ve Tepebaşı ilçeleri ile Seyitgazi İlçeleri dışındaki toplam 11 İlçede %100 katı yakıt kullanımının olduğu,
- Katı yakıt tüketiminin Merkez ilçe hariç Sivrihisar ve Çifteler ilçelerinde kullanımlarının diğer ilçelere göre yüksek olduğu,
- Doğalgaz kullanımının olduğu mahallelerde en düşük kullanım Odunpazarı'nda %51 ile Karapınar Mahallesi iken bunu Tepebaşı'nda %69 ile Şarhöyük mahallesinin izlediği dolayısı ile doğalgazın kullanıma başladığı mahallelerde Tepebaşı ilçesinde oranların Odunpazarına göre daha yüksek olduğu,
- Odunpazarı ilçesinde toplam 85 mahallenin 48'inde, Tepebaşı'nda ise 91 mahallenin 50 adedinde katı yakıt kullanımının %100 oranında olduğu tespit edilmiştir.

Doğalgaz dağıtım şirketinden alınan bilgiler ışığında yapılan ve yukarıda detayları verilen analizde yıllara göre doğalgaz birim tüketimindeki azalışın gerçekliğini analiz etmek için Enerji Piyasası Düzenleme Kurulundan alınan veriler ile sahada yapılan anket çalışmaları değerlendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; EPDK verilerine göre 2016 yılı yıllık birim tüketim miktarı 1240 Sm<sup>3</sup> iken ESGAZ verilerine göre 1048 Sm<sup>3</sup>, anket sonuçlarına göre ise; 120 m<sup>2</sup>'lik bir binanın ısıtılmasında merkezi sistemde aylık tüketimin 176 m<sup>3</sup>, kombi sisteminde ise söz konusu binanın 60-80 m<sup>2</sup>'lik alanının ısıtılmasında 185 m<sup>3</sup> doğalgaz kullanıldığı tespit edilmiştir. Yıllar içerisinde yakıt tüketimindeki azalışın güvenilirliğini test etmek için Meteoroloji Genel Müdürlüğünce yayınlanan Yıllar itibari ile ısınmaya gerekliliği ile ilişkili olan Isınma Derece Gün verileri kullanılmış olup sonuçlar Şekil 24'de yer almaktadır. Katı yakıt bazında yapılan anket sonuçlarına göre ise; Merkezde yıllık katı yakıt kullanımı 1.2 ton iken ilçelerde bu değer 1.5-1.8 ton arasında değiştiği, ancak katı yakıt satış izin belgelerinde yıllık katı yakıt kullanımının 600-800 kg, sosyal yardımlaşma kömür kullanımının ise 500 kg olduğu görülmüştür. Ancak birim doğalgaz tüketiminden yola çıkarak yapılan bir hesaplamada ise birim katı tüketimi il geneli için yaklaşık 1.5 ton olup, merkez İlçe'de ithal kömürü kullanımı ortalama 1.3 ton iken ilçelerde yerli kömür kullanımı ise 1.7 ton'dur.

Yıllar içerisinde yakıt tüketimindeki azalışın güvenilirliğini test etmek için Meteoroloji Genel Müdürlüğünce yayınlanan yıllar itibari ile ısınmaya gerekliliği ile ilişkili olan Isınma Derece Gün verileri kullanılmış olup sonuçlar Şekil 24'de yer almaktadır.

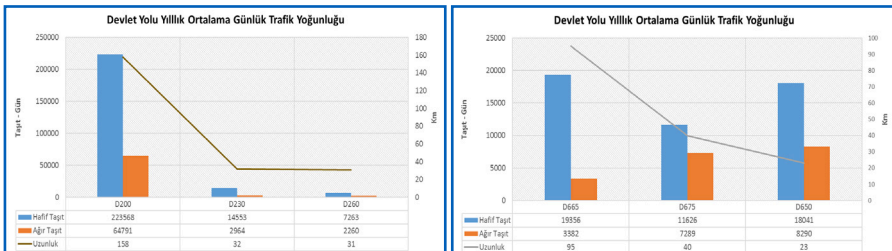


Şekil 24 Isınma Derece Gün Değişim Grafiği ve birim yakıt değişim grafiği

Şekil 24'de görüldüğü üzere; en fazla ısınma ihtiyacı 2011 yılında, en az ısınma ihtiyacı ise 2014 yılındadır. Birim yakıt tüketiminin de en yüksek 2011 ve en düşük 2014-2015 yıllarında olması 2010-2016 dönemi için, birim doğalgaz tüketimleri ile ısınma derece günlerinin birbiri ile paralellliğini göstermektedir.

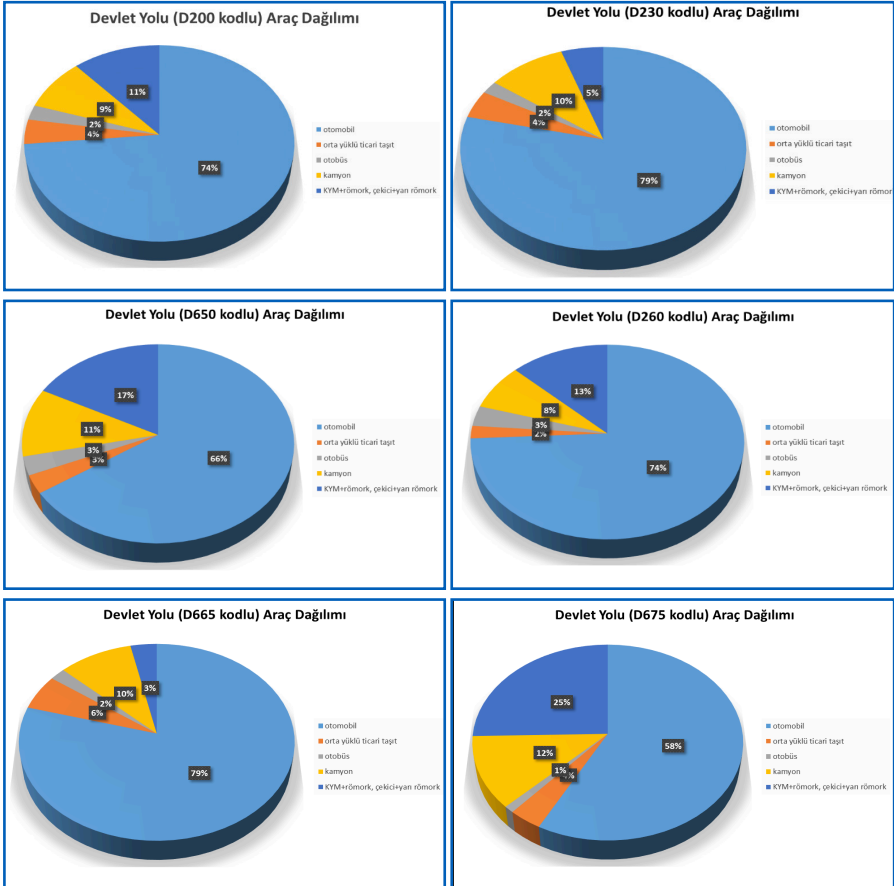
## 2.2. Ulaşım sektörü

Çizgi kaynak olarak nitelendirilen ulaşımın hava kalitesi düzeyine olan katkısının değerlendirilebilmesi için; ulaşımında etken olan araç türü, araç türüne bağlı yakıt türü ve tüketim miktarı, yol türü, yol uzunluğu, yol genişliği, dur kalklar vb. bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Uzun dönem hava kalitesi düzeyi analizini içeren bu çalışma için ildeki araç türü ve sayısı yol tipine göre farklı kurumların sorumluluğunda olduğundan şehir içi yol verisi TÜİK, şehirlerarası yol durum verisi ise Karayolları Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Ancak ulaşım kaynaklı emisyonların çok farklı bileşenleri içermesi ve il özelinde bu bileşenlerin yapılacak spesifik projeler dışında temini zor olduğundan bu bölümde çok genel bir değerlendirme yapılmıştır. Eskişehir ili çevresinden 6 anayol geçmekte olup bu yollara ait 2016 yılı ağır ve hafif taşıt hacmi Şekil 25'te yer almaktadır.



Şekil 25 Otoyol araç türlerine göre 2016 yılı günlük trafik yoğunluğu grafiği

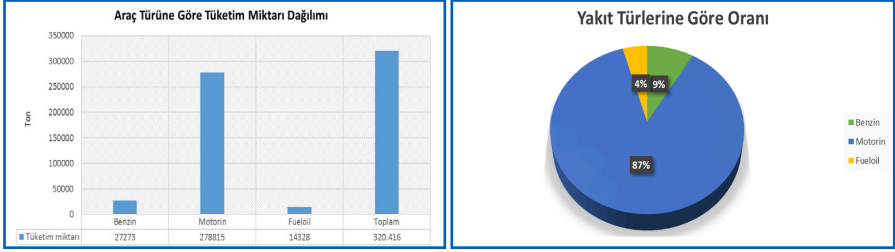
Şekil 25'te görüldüğü üzere en uzun yol D200 yolu olup, hafif taşıt ve ağır taşıt yoğunluğu diğer yollara göre daha fazladır. Afyon-Kütahya (D650) karayolundan ise ağır taşıtların yoğunluğu diğer yollara göre daha yüksektir. Şehrinde içi ve çevresinden geçen ve önemli bir emisyon kaynağı olan devlet yollarının 2016 yılı verilerine göre araç dağılım yüzdeleri Şekil 26'da verilmiştir.



Şekil 26 2016 Yılı Eskişehir İlinde Geçen Yolların Dağılımı Grafiği

D200, D230, D260, D650, D665 ve D675 karayollarından geçen araçlarda hafif araçlar grubuna giren araçların ortalama ağırlığı %75 olup bu durum hava kalitesi izleme istasyonunun batı yönünde yaklaşık 1.4 km mesafede D230 Karayolu, kuzeybatı yönünde yaklaşık 1 km mesafede E90 otoyolu ve güneybatı yönünde yaklaşık 3 km mesafede D665 Karayolu olduğundan bu yol-

lardan kaynaklı emisyon etkisinde de katkının büyük olduğunu göstermektedir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'ndan temin edilen verilerin analizi Şekil-27'de yer almaktadır.



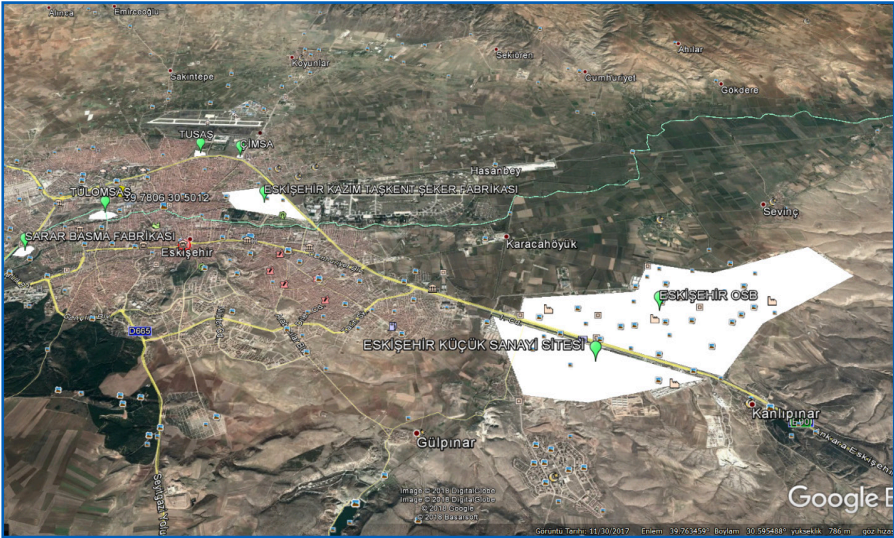
Şekil 27 2016 yılı Türlerine Göre Yakıt Tüketim Miktarları Grafiği

Şekil 27'de görüldüğü üzere; Eskişehir ili mücavir alan sınırları içerisindeki şehiriçi yollarda %87 oranı ile motorin ve %9 ile de benzin tüketimini olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak; Eskişehir ilinde şehir içinden çok şehir merkezine yakın konumdaki devlet yollarında yüksek orana sahip hafif ve ağır vasıta araçların katkısının büyük olabileceği söylenebilir.



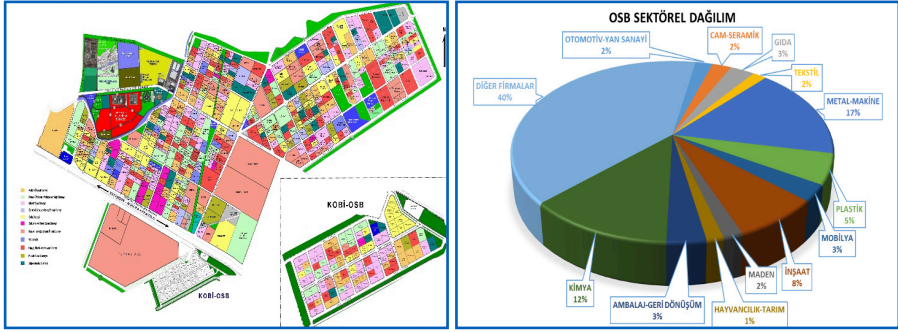
### 2.3. Sanayi Sektörü

Nokta kaynak olarak nitelendirilen sanayi sektörü incelenirken Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB), ilgili Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri, www.firmalar.com internet adresi ile Organize Sanayi Bölge Müdürlüklerinden temin edilen veriler kullanılmıştır. İlde ili mücavir alan sınırları içerisinde ağırlıklı olarak ağaç işleme orman ürünleri işletmeleri bulunmakla birlikte boru, otomotiv olup, sanayi tesislerinin türlerine göre alansal gösterimi Şekil 28’de verilmiştir.



Şekil 28 Sanayi Tesislerinin Dağılım Haritası

Hava izleme istasyonunun güneydoğu yönünde yaklaşık 3 km mesafede şeker fabrikası, 14 km mesafede cam sanayi fabrikası, yaklaşık 68 km mesafede altın madeni işleme tesisi, yaklaşık 500 m mesafede lokomotif üretim fabrikası ve yaklaşık 11 km mesafede buzdolabı üretim fabrikası, kuzeydoğu yönünde yaklaşık 3 km mesafede çimento fabrikası bulunmaktadır. Şehir merkezine ve hava kalitesi izleme istasyonuna göre güney yönünde yer alan yaklaşık yaklaşık 10 km mesafede ise Eskişehir OSB ve Eskişehir Küçük Sanayi Sitesi bulunmakta olup OSB’ye ait vaziyet planı ve sektörel dağılımı Şekil 25’de verilmektedir. Sivrihisar’da OSB bulunmakta olup ancak tesis bulunmamaktadır.

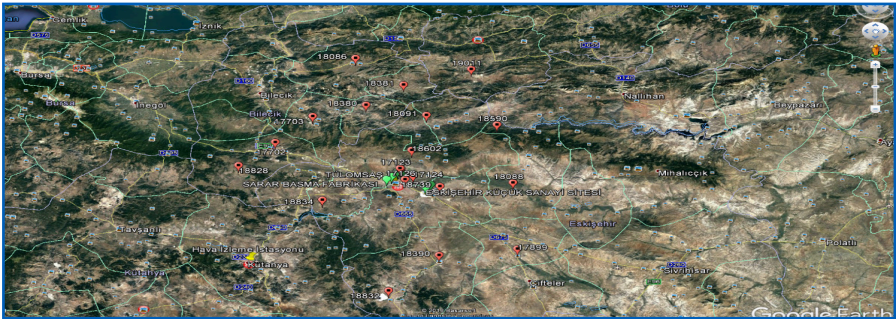


Şekil 29 Organize Sanayi Bölgeleri ve Sektörel Dağılım Grafiği

Şekil 29'da görüldüğü üzere; %17 oranında metal-makine sanayi, %12 oranında kimya sanayi ve %40 oranında da diğer sanayi türleri bulunmaktadır.

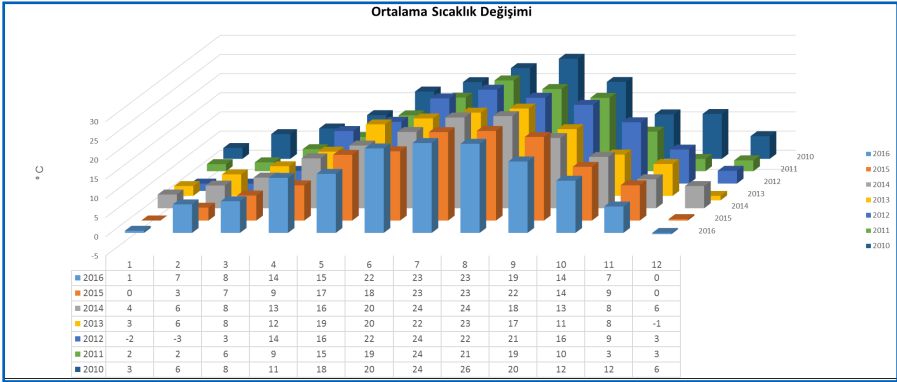
## 2.4. Meteorolojik Faktörler

Meteoroloji, atmosferde meydana gelen hava olaylarının oluşumunu, gelişimini, değişimini nedenleri ile inceleyen ve hava olaylarının canlılar ve dünya üzerindeki etkilerini araştıran bir bilim dalı olup hava kirliliğinde gerek dağılımda gerekse taşınımdaki etkisinden dolayı hava kirliliğine etki eden faktörler arasında yer almaktadır. Eskişehir il sınırları içerisinde toplam 20 adet meteoroloji istasyonu bulunmakta olup bunlar 17126, 17121, 17123, 18086, 17124, 18834, 18602, 18739, 18091, 17703, 18380, 18390, 18381, 17702, 18590, 18088, 17899, 19011, 18832 ve 18828'dir.. Söz konusu rapora ait meteorolojik veriler Bakanlığımıza ait hava izleme istasyonunun güneydoğu yönünde 4.5 km mesafedeki 17126 kodlu istasyonundan temin edilmiştir.



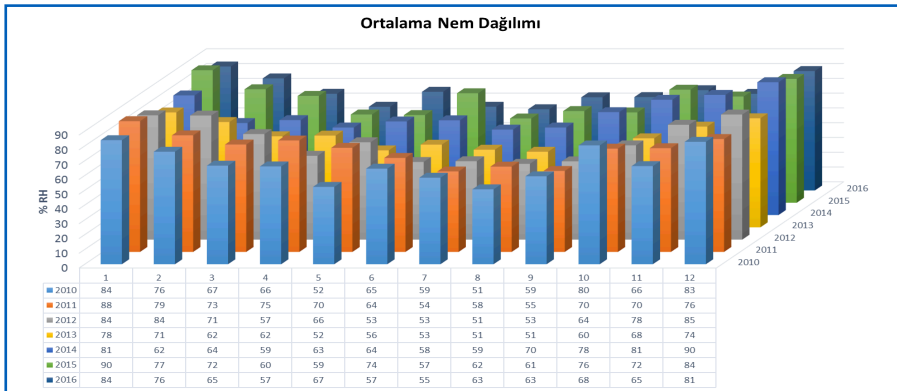
Şekil 30 Meteorolojik İstasyonların Konum Haritası

2010-2016 dönemi için 17126 kodlu istasyondan temin edilen sıcaklık değerlerinin analiz sonuçları Şekil 31’de verilmiştir. Ortalama sıcaklık -3 ile 26 °C arasında değişirken, sıcaklıkların en düşük olduğu ayların Aralık ve Ocak en yüksek olduğu ayların ise Temmuz ve Ağustos olduğu gözlenmiştir. Ölçüm dönemi içinde ayrıca en yüksek sıcaklık değerleri Temmuz-Ağustos 2010 , 2012, 2016 dönemlerinde 35 - 39 °C dir. En düşük sıcaklık ise; -15 °C ile 2012 Şubat tarihinde yaşanmıştır.



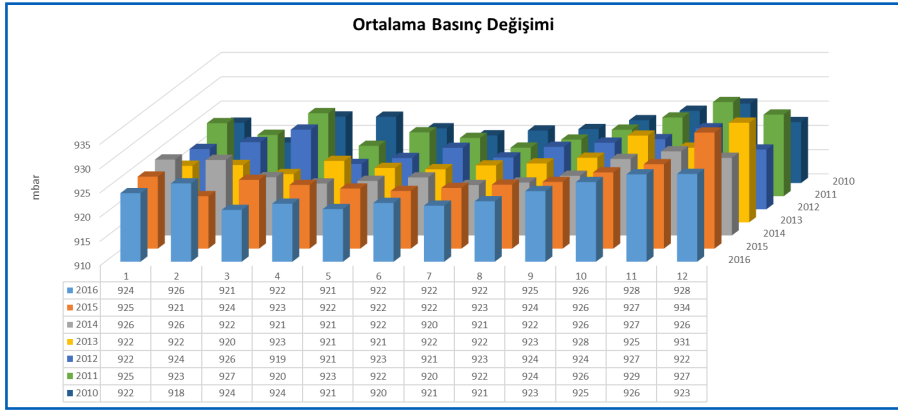
Şekil 31 Sıcaklık Değişim Grafiği

Hava kirliliğinde etkili bir diğer faktör olan nem’in yıllar içerisindeki değişimi Şekil 32’de verilmiştir. Ortalama nem değeri %64 - %87 Rh aralığında seyrederken En yüksek 2016 Aralık ayında, en düşük ise; 2016 Nisan ayında gözlenmiştir. Ayrıca mevsimsel olarak nem değerinin çok fazla değişmediği ancak temmuz ayında %25 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



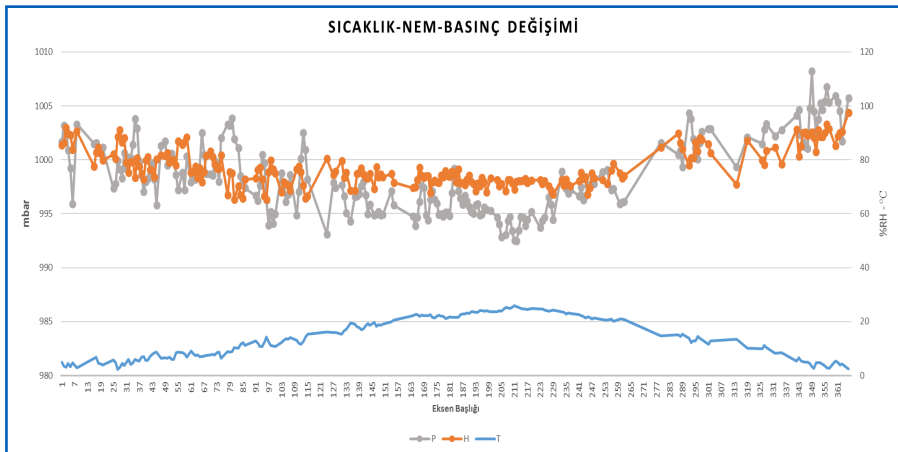
Şekil 32 Yıllara Göre Nem Dağılım Grafiği

Meteorolojik faktörlerden basıncın 2010-2016 dönemine ait analiz sonucu, ilin basınç değeri ortalama 931 mbar civarında olduğu Şekil 33' de görülmektedir. Ayrıca ölçüm döneminde en yüksek basıncın 2010 Kasım ayında 953 mbar, ve en düşük basıncın ise 2012 nisan ayında 907 mbar olarak ölçülmüştür.



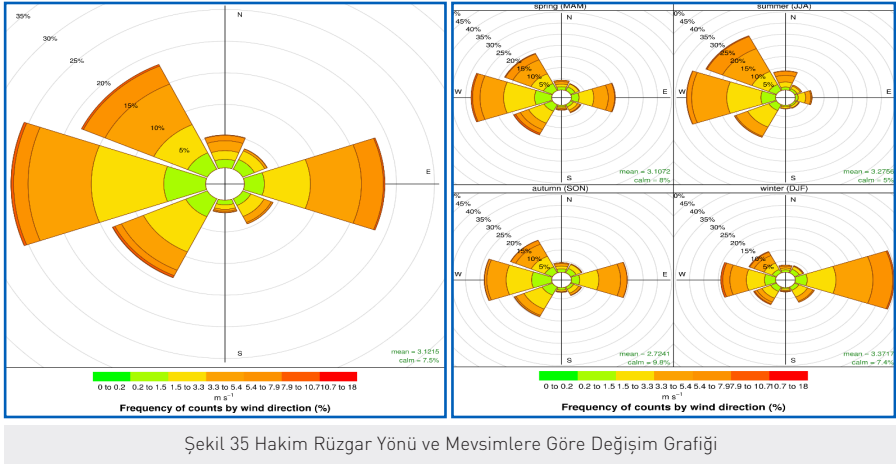
Şekil 33 Basınç Değişim Grafiği

İlde meteorolojik veriler arasındaki ilişkinin net bir şekilde ortaya konulabilmesi için sıcaklık basınç ve nemin parametrelerinin değişimi birlikte incelenmiş olup sonuçlar Şekil 34' te verilmiştir.



Şekil 34 Sıcaklık, Nem ve Basınç Değişim Grafiği

Grafikten görüldüğü üzere sıcaklık ile nem arasında idealde olması gereken ilişkinin özellikle yaz yağmurlarının yoğun olduğu dönemde bozulduğu ayrıca yaz aylarında basınç değerlerinin diğer dönemlere göre biraz daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kaynaktan çıkan emisyonların taşınımında önemli faktörlerden en önemlisi olan rüzgar hızı ve hakim rüzgar yönü ile mevsimsel dağılım sonuçları Şekil 35'te verilmiştir.



İlde hakim rüzgar yönü ağırlıklı olarak %25 sıklıkla Batılı ve %18 - %19 sıklıkla Kuzeybatılı ve Doğuludur. Söz konusu Yönlerin dışında %14 sıklıkla Güneybatılı ve %5 sıklıkla tüm yönlü rüzgârların etkili olduğu söylenebilir. İl genelinde rüzgârların ağırlıklı olarak sakin olduğu ancak Batılı Kuzeybatılı ve Doğulu yönlerinde %10 sıklıkla diğer yönlerden ise %3 - %5 sıklıkla orta hızlı rüzgârların bulunduğu görülmektedir. Mevsimsel değişimde ilkbahar yaz ve sonbahar dönemlerinde %5 - %20 sıklıkla esen doğulu rüzgarlar kışın ise %35 sıklıkla esmektedir; bunun dışında mevsimler arasında bariz farklılıklar olmadığı karakteristiğinin hakim rüzgar yönüyle aynı olduğu yaz ve kış mevsiminde ise orta hızlı rüzgarların biraz daha fazla görüldüğü tespit edilmiştir.

### 3. HAVA KALİTESİ ÖLÇÜM SONUÇLARININ ANALİZİ

#### 3.1. İstasyon Hakkında Genel Bilgi

Eskişehir ili Merkez İlçesinde 1 adet ısınma kaynaklı hava kalitesi izleme istasyonu bulunmaktadır olup görüntüsü Şekil-36'da verilmektedir. Eskişehir Hava Kalitesi İstasyonu Merkez İlçesi Ertuğrulgazi Mahallesi sınırları içerisinde 2005 tarihinde 39.780572 Enlem ve 30.501156 Boylam koordinatlarında kurulmuştur. Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü bahçesi içerisinde bulunan istasyon, kentsel alanda ısınmadan kaynaklanan kirliliğin tespiti amaçlı kurulmuş olup PM10, SO2 kirleticileri ölçülmektedir.



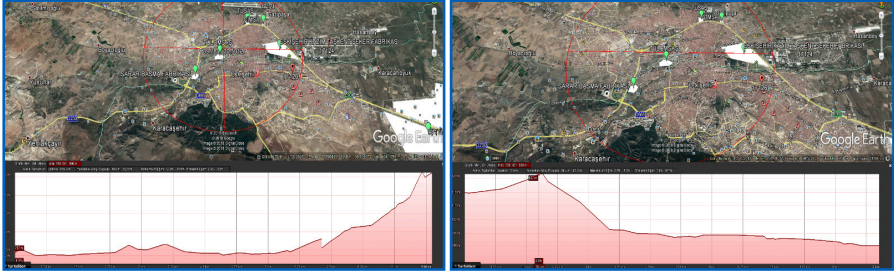
Şekil-36: HKAİ İstasyonu Yeri

Alan olarak kentsel alanı, hava kirliliği kaynağı olarak da ısınma kaynağını temsil eden istasyonda Horiba Marka cihazla kükürdioksit (SO<sub>2</sub>) ve Bam1020 Marka cihazla da partikül madde (PM10) ölçümleri yapılmaktadır. Yanda görüntüsü verilen istasyona ait ölçüm sonuçlarını analiz etmeden önce ölçüm sonuçlarının kaynakla ilişkilendirilebilmesi için HKDY Yönetmeliğinde tanımlanan yaklaşık 2 km yarı çaplı bir alan içindeki temsil alanı görüntüsü Şekil 37'de verilmiştir.



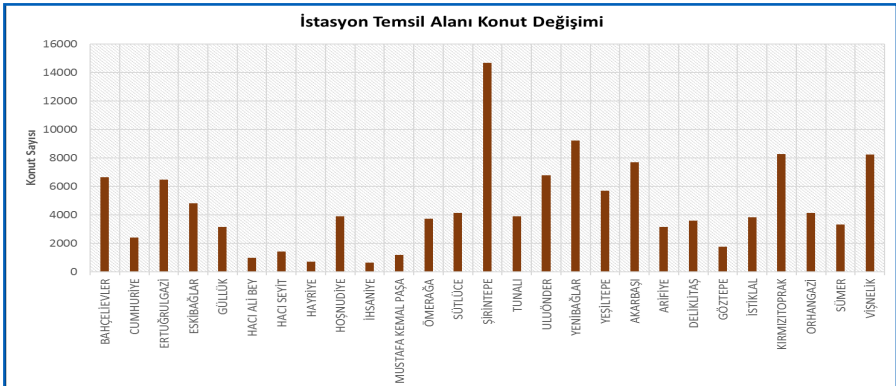
Şekil 37 İstasyon Temsil Alanı

Şekil 37'de görüldüğü üzere; Eskişehir ili hava kalitesi izleme istasyonunun konumu deniz seviyesinden 794 m yüksekliğinde yer almakta olup, istasyonun, doğu yönündeki alanın istasyona göre 1 m yükseklikte, kuzey yönündeki alanın istasyona göre 5 m yükseklikte, güney yönündeki alanın istasyona göre 3 m yükseklikte kaldığı gözlenmiştir. Şehrin yüzölçümü dikkate alındığında 5 km'lik alan içerisindeki yönel yükselti değişimi analiz edilmiş olup sonuçlar Şekil 38'de verilmektedir.



Şekil 38 5 km'lik alan için yükseklik kesitleri Alanı Yükseklik Kesitleri

Bilindiği üzere hava kalitesi düzeyini etkileyen bir diğer önemli faktörde topografik yapıdır. Topografik yapının etkisini analizini içeren Şekil 38'de görüldüğü üzere; 10 km çaplı alan içerisinde istasyonun bulunduğu konuma göre kuzey yönünde 811 m, güney yönünün 910 m, doğu yönünün 809 m ve batı yönünün ise 792 m yüksekliğindedir. Hava kalitesi izleme istasyonunun temsil alanındaki, hava kirliliği kaynaklarının analiz sonuçları aşağıda yer almaktadır. Isınma Kaynağını temsil eden ve istasyonun 2 km yarı çaplı alanında yer alan mahallelerin konut sayısı dağılımı Şekil 39'da verilmektedir.



Şekil 39 İstasyon Temsil Alanı Konut Sayısı Değişim Grafiği

Şekil-39’da görüldüğü üzere; temsil alanı içindeki konut oranı en yüksek olan mahalleler; Vişnelik, Kırmızıtoprak, Akarbaşı, Yenibağlar ve Şirintepe’dir. Konut oranı en düşük olan mahalleler ise Hacıalibey, Hayriye ve İhsaniye’dir. Kullanılan yakıtlar bazında mahallelerin dağılımı Şekil 40’ ta yer almaktadır. İstasyon temsil alanı içerisindeki mahallelerde yakıt kullanım durumları analiz edilmiş olup sonuçları şekil 40 da verilmiştir.



Şekil 40 İstasyon Temsil Alanı Yakıt Kullanım Grafiği

Şekil 40’ ta görüldüğü üzere 2011 yılında en yüksek doğalgaz kullanım oranına sahip mahalleler; Hoşnudiye ve Sümer olup Arifiye ve Mustafa Kemal Paşa mahalleri takip etmekte, katı yakıt oranı en yüksek olan ma-

haller de Sütluçe ve Osmangazi'dir. Yıllar içerisinde istasyon temsil alanı içerisindeki mahallelerde doğalgaz birim tüketim oranının artışı katı yakıt oranındaki azalış izlemekte olup 2016 yılında doğalgaz oranı tüm mahallelerde en yüksek değerlerine ulaşırken katı yakıt kullanımında 2011 yılında da katı yakıt kullanımı yüksek olan mahallelerde hala yüksek seyri devam etmektedir. Doğalgaz dağıtım şirketi verilerine göre; söz konusu mahallelerden istasyon konumunun kuzey yönündeki Yeşiltepe mahallesinde 2011 yılında katı yakıt kullanımı %19 iken 2016 yılında %12'e düşmüş olup bununda ilde hala katı yakıt kullanımının devam ettiği, istasyonunun güney yönündeki Kırmızıtoprak mahallesinde 2011 yılındaki katı yakıt kullanımı % 96 iken 2016 yılında % 96 oranına yükseldiğinden ilde katı yakıt kullanımının etkisinin olduğu gözlenmiştir. İlde doğalgaz kullanım oranlarında mahalle bazlı olarak irdelendiğinde dalgalanmalı bir seyir olduğu bununda katı yakıt kullanımının hala yüksek denilebilecek oranlarda seyrettiği belirlenmiştir.

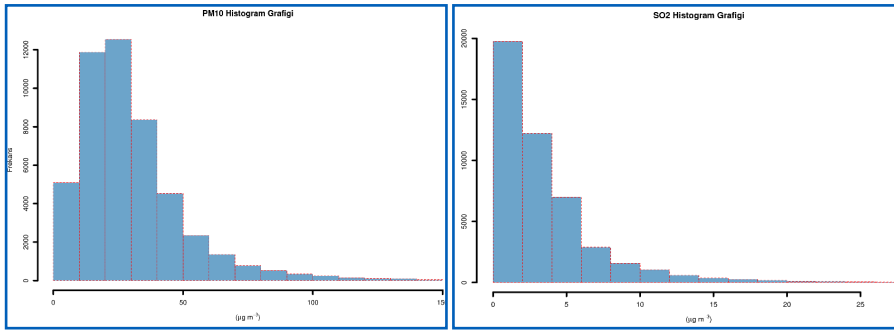
Hava izleme istasyonunun kuzeybatı yönünde yaklaşık 900 m mesafede E90 Otoyolu, batı yönünde yaklaşık 1.4 km mesafede D-230 Karayolu, güneybatı yönünde yaklaşık 3 km mesafede D-665 Karayolu bulunmakta olup bununda araçlardan kaynaklanan emisyonların ilin hava kalitesine olan katkısı aşıkardır. Eskişehir ilinde kurulu bulunan sanayi tesislerinin detaylı analizi sanayi bölümünde yer almakta olup hava kalitesi izleme istasyonu temsil alanı içerisinde yer alan işletmelerin istasyon konuma göre bilgileri aşağıda verilmektedir.

- Kuzeybatı yönünde yaklaşık 2 km mesafede otomotiv fabrikası,
- Kuzeydoğu yönünde, yaklaşık 3 km mesafede çimento fabrikası,
- Güneydoğu yönünde yaklaşık 3 km mesafede şeker fabrikası, 14 km mesafede cam sanayi fabrikası, yaklaşık 68 km mesafede altın madeni işleme tesisi, yaklaşık 500 m mesafede lokomotif üretim fabrikası ve yaklaşık 11 km mesafede buzdolabı üretim fabrikası, yaklaşık 10 km mesafede Eskişehir OSB ve Küçük Sanayi Sitesi mevcuttur.

Yukarıdaki bilgilerden görüldüğü üzere mesafe olarak yakınlığı ve kullanılan yakıt dikkate alındığında bu işletmelerinde hava kalitesine katkısı olabileceği düşünülmektedir.

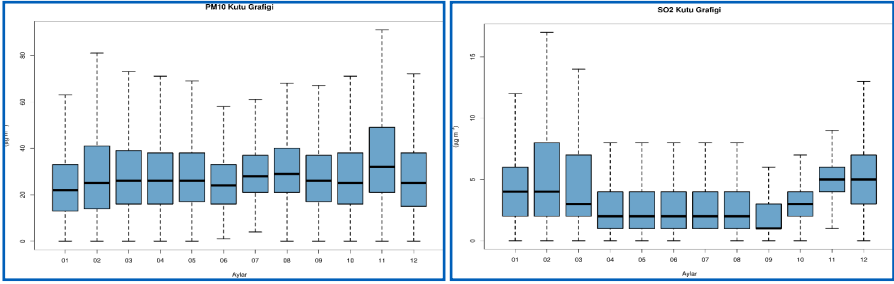
### 3.2. Ölçüm Sonuçlarının Analizi

İstatistik; belirli bir alanda toplanan sayısal değerlerin toplanması, toplanan verilerin düzenlenmesi, analiz edilmesi, yorumlanması, objektif ve doğru kararı verme ile ilgili bilimsel teknik ve metotlar geliştiren ve uygulayan bilim dalıdır. Araştırmalarda kullanılacak çeşitli örnekleme yöntemleri vardır. Araştırmanın amacına, maliyet, süre gibi kısıtlayıcı şartlara ve kitlenin özelliklerine göre bunlar içinde en uygun olanın seçilmesidir. Araştırma kapsamı alınacak birimlerin seçiminde rastgele ve rastgele olmayan örnekleme teknikleri kullanılabilir. Rastgele örneklemede, kitleden alınacak çeşitli örneklerle elde edilen tahminler arasındaki farkları belirleyen “rastgele hatalar” belirli istatistiksel teknikler yardımıyla kontrol altında tutulabilir. Rastgele olmayan örneklemede ise bu hatalar belirlenemez. Veri analizi araştırma kapsamında toplanan verilerin özetlenmesi, değerlendirilmesi için gerekli tüm istatistiksel yöntemleri kapsar. Toplanan verilerin özetlenmesinde kullanılan en basit yol frekans dağılımını özetleyen histogram grafikleri olup söz konusu grafikler bir değişken içerisinde her bir değer ya da değer kümelerinin kaç kez tekrar ettiğini görmeye yarayan araçlardır. [8] 2010-2016 dönemi ait istasyondaki kirlenici parametrelerin ölçüm sonuçlarının histogramı Şekil-41’de verilmektedir. SO<sub>2</sub> verilerinin % 68’i 0-10 µg/m<sup>3</sup> iken %30’u 10 - 20 µg/m<sup>3</sup> aralığındadır. Toz konsantrasyonlarının ise %27’si 0-20 µg/m<sup>3</sup> arasında olup %42’si 20-50 µg/m<sup>3</sup> aralığındadır.



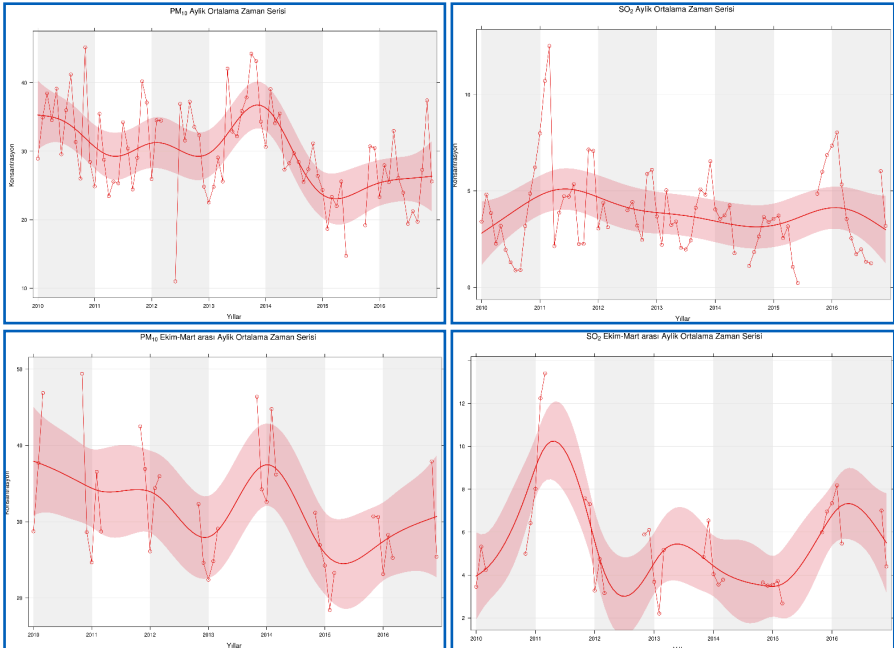
Şekil 41 Kirlenici Parametrelerinin Histogram Grafiği

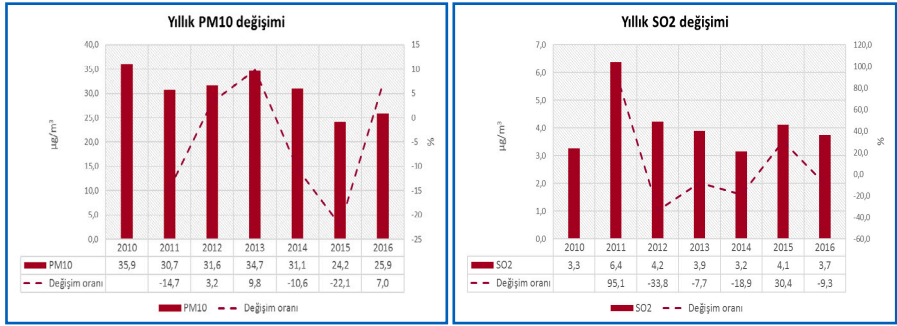
Her iki kirlenici parametreye ait verilerin 2010-2016 dönemi içindeki dağılımında en düşük, en yüksek ve ortanca değerleri daha net bir şekilde tespit ederek verinin anlamlandırıldığı kutu grafik sonuçları Şekil 42’de verilmiştir.



Şekil 42 Kirlenici Parametrelerinin Kutu Grafiği

SO2 parametresinde en yüksek ortanca değer Aralık ayında PM10 da ise bu değer Kasım ayında gözlenmiş olup SO2 için bunu ağırlıklı olarak kış ayları izlemektedir. Her iki kirlenici parametrenin 4. Çeyreğinde bütün aylarda saçılımları fazla olmakla birlikte PM10 parametresinin saçılımları yaz dönemi boyunca biraz daha az olsada yıl içinde aynı salınımı göstermektedir. Ölçüm sonuçlarının uzun dönem eğilimlerinin analiz edildiği trend sonuçlar Şekil 43'te verilmiştir.

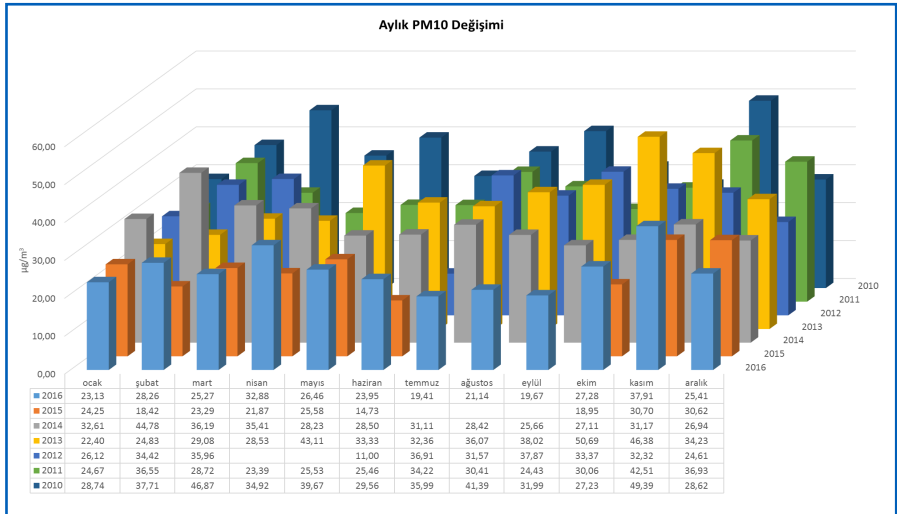


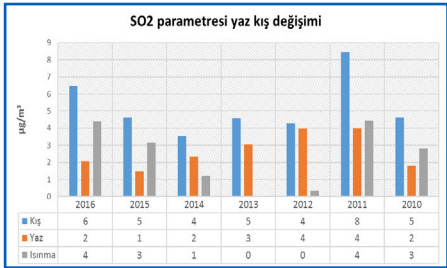
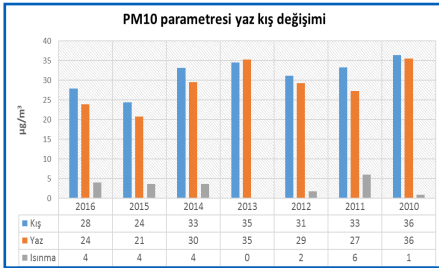
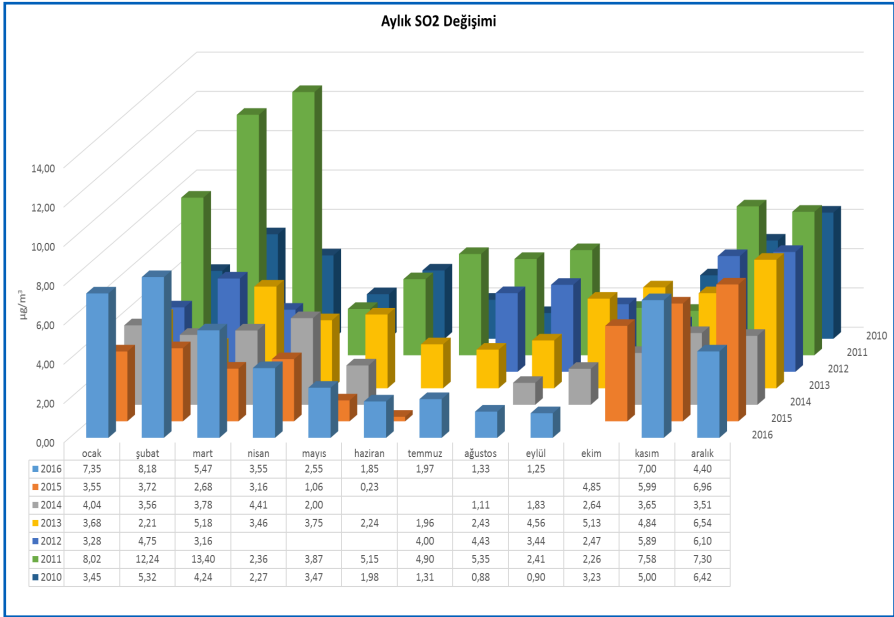


Şekil 43 Kirlenici Parametrelerinin Trend Grafiği

SO2 paramatresi yıllar itibari ile ortalama 3.2 - 6.4 µg/m3 aralığında değişirken PM10 parametresi 24.2 – 35.9 µg/m3 aralığında seyretmektedir ölçüm süresi boyunca aylık ortalama PM10 konsantrasyonlarında 2014 yılı ısınma döneminde bir artış gözlenmiş 2010 – 2014 yılları arasında ortalama 35 µg/m3 olan baz değer 2015 – 2016 yıllarında 25 µg/m3 e düşmüş Ekim – Mart ayları arası ortalama değerlerde 2014 teki yükseliş yine gözükmemektedir. SO2 konsantrasyonlarında ölçüm süresi boyunca aylık ortalama değer 5 µg/m3 iken Ekim Mart ayları arasında ortalama değer 2011 ve 2016 yıllarında nispeten fazladır.

2010-2016 döneminde kirlenici parametrelerin aylık ve mevsimsel değişim analizi Şekil 44’de verilmiştir.

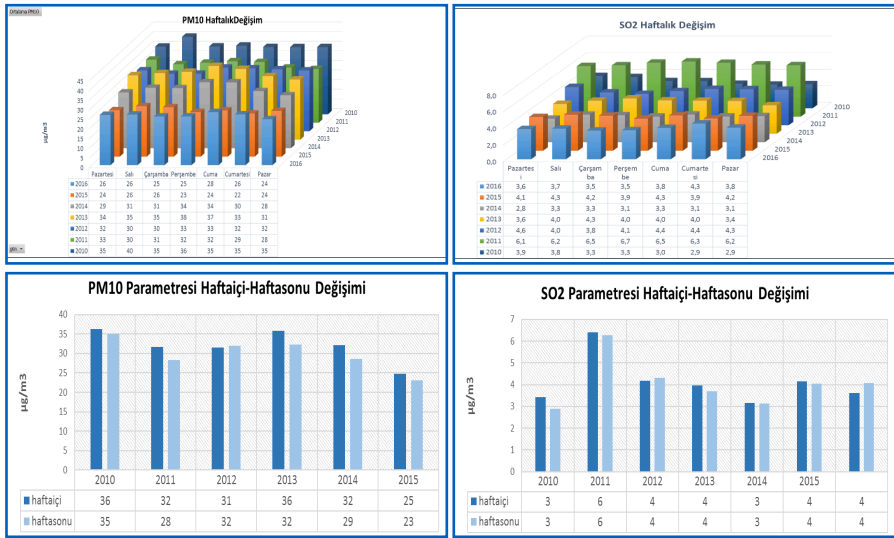




Şekil 44 PM10 SO2 Aylık ve Mevsimsel Değişim Grafiği

2010-2016 döneminde kirletici parametrelerin aylık değişim analizi Şekil 44'te verilmiştir. SO2 parametresinde tüm aylar bazında en yüksek konsantrasyonların 2011 ve 2016 kış-ilkbahar aylarında gözlenmiş olup, en yüksek yaz ayındaki konsantrasyon değeri ise 2011 Ağustos ayında gözlenmiştir. Toz konsantrasyonlarında ise en yüksek konsantrasyonlar 2010, 2011 ve 2013 kış-ilkbahar aylarında gözlenmiş olup, en yüksek yaz ayındaki konsantrasyon değeri ise 2010 Ağustos ayında tespit edilmiştir.

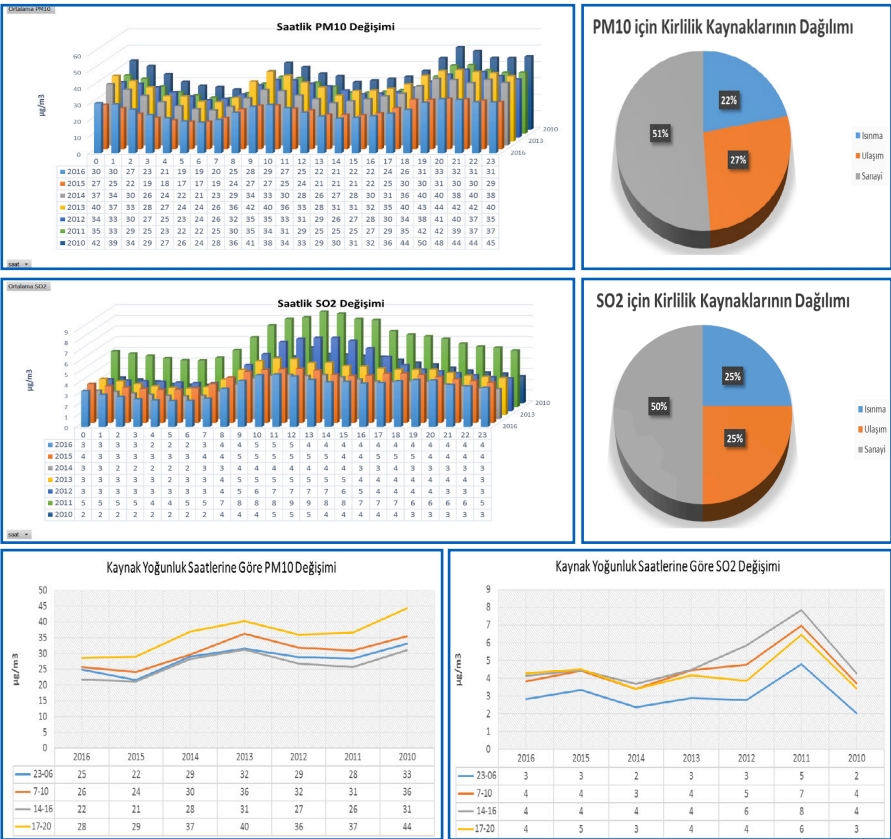
Her iki kirletici parametrenin haftanın günlerine ve gün içindeki saatlik değişimlerini içeren genel analiz sonucu Şekil 45'de verilmiştir.



Şekil 45 Kirlenici Parametrelerin Günlere Göre Değişim Grafiği

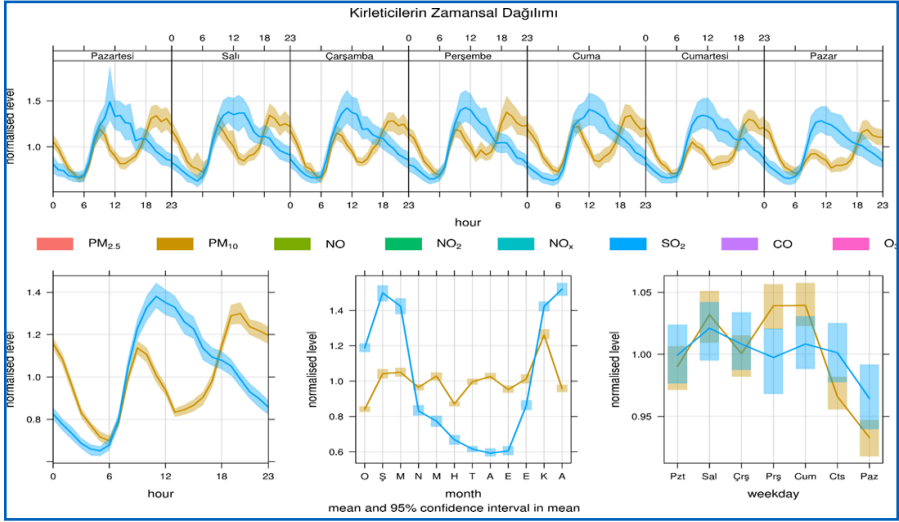
Her iki parametrede de yıllar itibari ile günler arasında bariz bir değişiklik gözlenmemekle birlikte en yüksek toz değeri 2010 yılında Salı günü  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak tespit edilmiştir. Haftaİçi ve Haftasonu değişiminde ise değerler birbirine çok yakın seyretmiştir.

Saatlik değişim sonuçları Şekil 46’da verilmiş olup, saatlik değerler incelendiğinde SO2 ve PM10 ‘un bütün yıllarda 08:00-11:00 saatleri arasında ve 18:00-23:00 saatleri arasında yükseldiği, en yüksek SO2 değerlerinin 2011 yılında ortaya çıktığı PM10 da gece saatlerinde de 00:00-03:00 saatlerinde de yüksek konsantrasyonların devam ettiği görülmektedir. Her iki kirlenici parametrenin sabah ve akşam yakma saatlerinde konsantrasyonlarının artması ayrıca ısınma ve sanayinin yok denecek oranda etkisinin olduğu zaman diliminde toz konsantrasyonlarının ortalama  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  SO2 nin ise  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olması şehirler arası yolun yanısıra şehrin konumu itibari ile PM10 da  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  SO2 de ise  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lük arka plan kirlilik düzeyinin olduğu görülmektedir. Sonuç olarak kaynakların yoğunluk saatlerinden hareketle yapılan değerlendirmede; PM10 da en yüksek katkı %51 ile Sanayiden gelirken bunu %27 ile ulaşım izlemektedir. SO2 için ise sanayinin oranı %50 iken bu oran ulaşım da %25 tür.



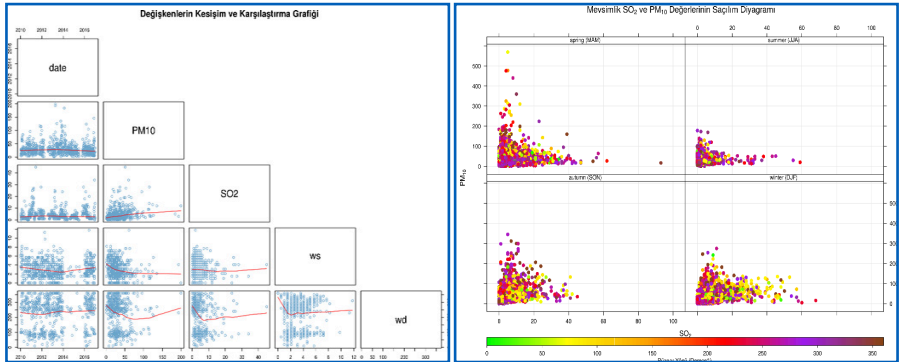
Şekil 46 Kirlenici Parametrelerin Saatlik Değişim ve Kaynak Oran Grafiği

Her iki kirlenici parametrenin yıllara göre günlük ve saatlik değişimleri arasındaki farklı eğilimleri daha net anlamlandırmak için Şekil 47’de yer alan normalize edilmiş zamansal dağılım grafiği hazırlanmıştır.



Şekil 47 Kirlenici Parametrelerinin Zamansal Değişim Grafiği

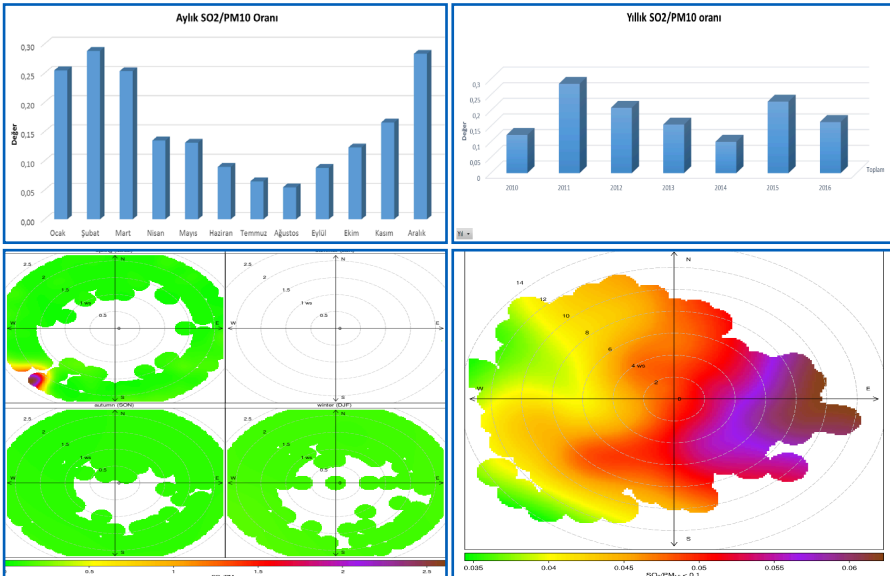
Şekil 47’de görüldüğü üzere her iki kirlenici parametrenin genel salınımlarında; saatlik değerlerde 06:00-11:00 ile 18:00-23:00 zaman dilimi diğer zaman dilimlerine; günlük değerlerde Perşembe ve Cuma günleri diğer günlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Aylık değerlerde ise kış aylarında daha yüksek değerler gözlenmekle birlikte yaz aylarında daha düşük değerler görülmektedir. Kirlenici parametrelerin aynı kökenlerini belirlemek amacıyla değişkenlerin keşimi ve karşılaştırma grafiği ile kirlenici parametrelerin mevsimsel salınımını analiz edilmiş olup sonuçlar Şekil 48’de yer almaktadır.



Şekil 48 Değişkenlerin Kesim ve Karşılaştırma Grafiği

Her iki kirlenici parametrenin düşük konsantrasyonlarında aralarında pozitif ilişki varken yüksek konsantrasyonlarda doğrusallık devam etmektedir. Genellikle rüzgâr hızının 6 m/s nin altında ve rüzgâr yönü çoğunlukla Doğu, Batı ve Kuzeybatılı dağılım gösterirken özellikle rüzgârın bu yönlerinde SO<sub>2</sub> konsantrasyonları biraz daha yoğunlaşmaktadır. Her iki kirlenici parametre için de rüzgâr hızı ile konsantrasyonlar ters orantılı olarak değişim göstermektedir. Yüksek hızlı rüzgarlar Doğu ve Kuzeybatılı yönlerden olup; genellikle hakim olan sakin rüzgarlarda konsantrasyonların rüzgâr yönü ile direkt ilişkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Her mevsim farklı saçınımların gözlemlendiği saçınım grafiğinde; yaz mevsimi hariç kirlenicilerin konsantrasyonlarının yüksek olduğu özellikle ilkbahar mevsiminde saçınımların fazla olduğu görülmektedir. İlkbahar mevsiminde toz konsantrasyonları daha yüksek değerlere ulaşırken SO<sub>2</sub>'de Sonbaharda dönemde bariz bir azalmayı kış dönemindeki artışın izlediği tespit edilmiştir.

Katı yakıtlarda en önemli emisyon kaynağı olan yakıt içindeki kükürt ve kül oranı ile bağlantılı olan SO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> parametrelerinin Isınma Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yöneteliğinde özellikleri verilen ithal ve yerli kömür kriterlerine göre değerlendirildiğinde; ithal kömür için SO<sub>2</sub>/PM<sub>10</sub> oranı 0,03 iken yerli kömürde bu oran 0,07 olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda SO<sub>2</sub>/PM<sub>10</sub> oranında <0.1 aralığı esas alınarak yapılan analiz sonuçları Şekil 49'da verilmiştir.

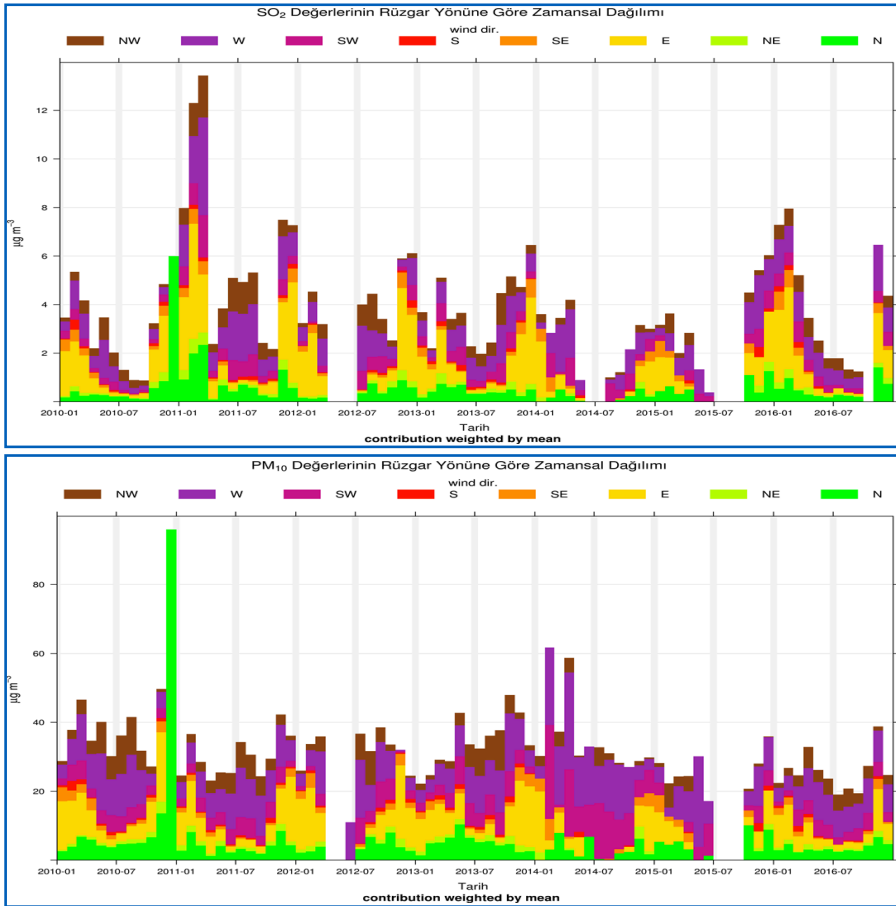


Şekil 49 Yıllık ve Aylık Kirlenicilerin Birbirine Oran Grafiği

Yıllar itibari 4- 8 m/s hızlı Doğulu rüzgarlarda kirleticiler arasındaki oran yerli kömürü göstermektedir.

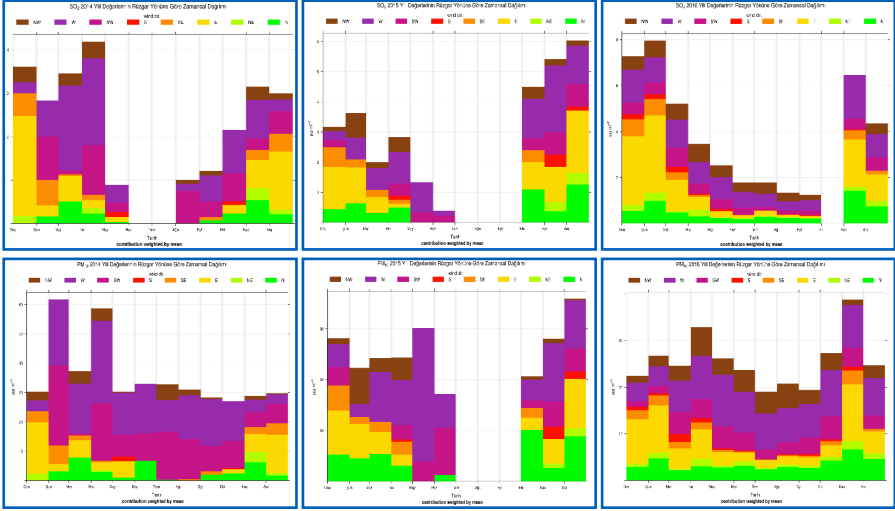
### 3.3. Meteorolojik Faktörlere Göre Ölçüm Sonuçlarının Analizi

Her iki kirletici parametrenin meteorolojik faktörlerle ilişki hava kirliliğine neden olan kaynağın belirlenmesinde önemli bir faktör olduğundan 17126 kodlu istasyondan elde edilen rüzgâr hızı ve yönü verileri ile ölçüm sonuçlarının birlikte analizi Şekil 50'de verilmiştir.



Şekil 50 Kirleticilerin rüzgar yönlerine göre dağılım grafiği

Şekil 50'de görüldüğü üzere; her iki kirlenici parametre için gerek yaz gerekse kış döneminde en düşük konsantrasyon değerlerinde Doğu ve Batı rüzgarlar hakimdir. Her iki kirlenicinin yüksek konsantrasyonları kış döneminde görülmekte olup Doğu, Batı ve Güneybatılı rüzgarlar hakimdir. 2014-2016 dönemi için; rüzgâr yönüne göre konsantrasyonların aylık değişimi analiz edilmiş olup; sonuçları Şekil 51'de verilmektedir.



Şekil 51 Aylık Kirlenicilerin rüzgâr yönüne göre değişim grafiği

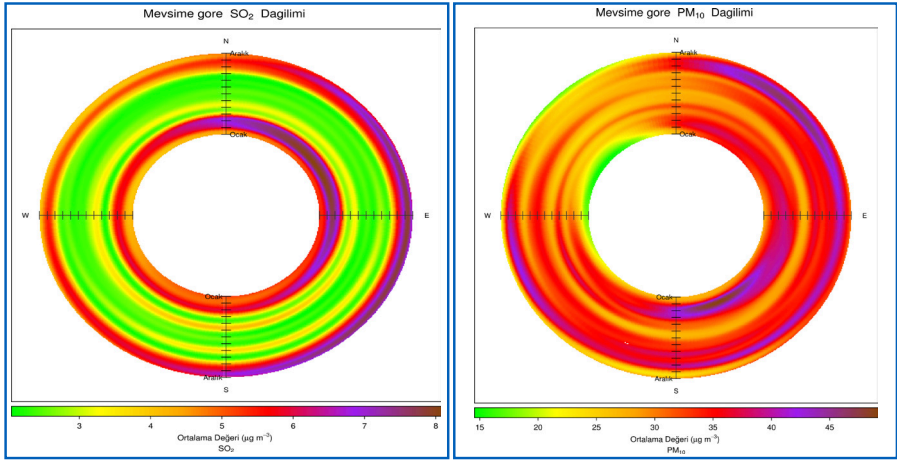
Aylık olarak konsantrasyonların değişiminde;

- Her iki kirlenici parametrenin düşük konsantrasyon değerlerinde Güney, Kuzeydoğu yönlü rüzgarların ve özellikle yaz aylarında batılı ve güneybatılı rüzgarların hakim olduğu,
- SO<sub>2</sub> parametresinde Ekim 2015 ve Şubat 2016 dönemleri arasında gözlenen yüksek konsantrasyonların tüm yönlerden gelen rüzgârların etkisinde olduğu ancak, Doğulu ve Batılı rüzgârların yüksek frekansta gözleendiği,
- PM<sub>10</sub> parametresinde 2015-2016 yılının frekanslarının ve konsantrasyonlarının benzer özellik gösterdiği ancak 2014 yılında Şubat ve Nisan ayı hariç daha az konsantrasyonların olduğu, yaklaşık 30 µg/m<sup>3</sup> civarında değerlerin değiştiği ve tüm yıllarda Güneybatılı ve Batılı rüzgarların frekansının yüksek olduğu, aynı zamanda biraz da doğulu rüzgarların etkili olduğu,

- PM10 parametresinde 2014 (Şubat) yılında en yüksek konsantrasyonlar yaklaşık 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  iken 2016 yılında en yüksek konsantrasyon 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olduğu

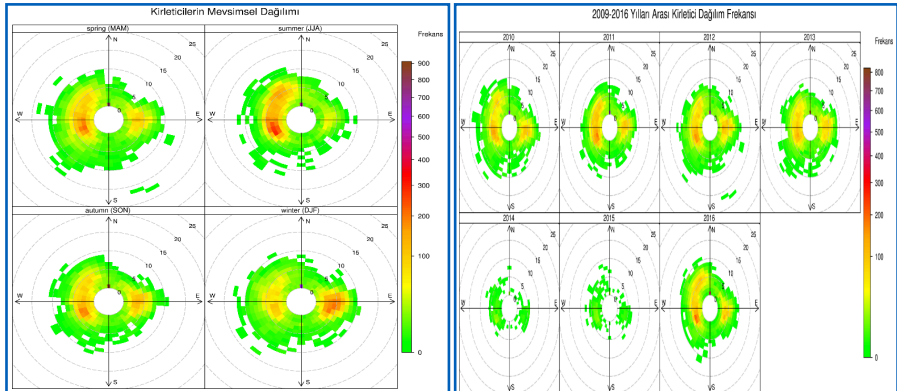
tespit edilmiştir.

Kirleticilerin rüzgâr yönüyle ilişkilendirilmesini farklı bir açıdan ele alan ve sonuçları Şekil 52'de verilen halka grafikte görüldüğü üzere; SO2 ve PM10 konsantrasyonları kış aylarında genellikle batılı ve doğulu rüzgar yönlerinde yüksektir.



Şekil 52 Kirleticilerin mevsimsel Dağılımı Grafiği

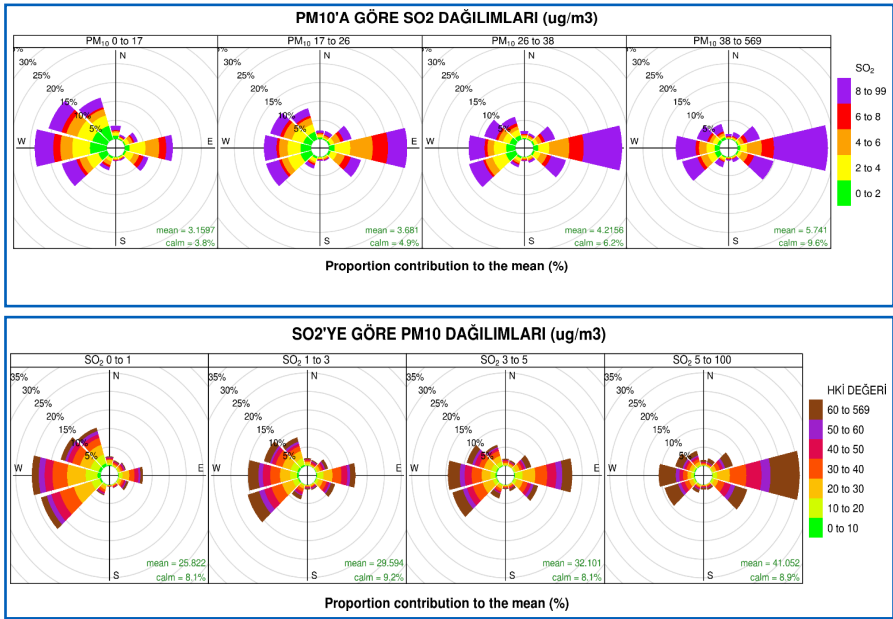
Kirleticilerin gerek mevsimsel gerekse yıllara göre frekans dağılımının rüzgâr yönüyle ilişkisi Şekil 53'de yer almaktadır.



Şekil 53 Kirleticilerin mevsimsel ve yıllık değişim grafiği

Şekil 53 analiz edildiğinde; yaz ve ilkbahar mevsimlerinde Güneybatı, Batı, Kuzeybatılı rüzgârlar yüksek frekansta seyrederken sonbahar ve kış mevsiminde söz konusu yönlere ilaveten Doğu yönünde de yüksek frekanslar olduğu görülmektedir. Yıllara göre değişimde 2014 ve 2015 hariç tüm yıllarda 200 frekans aralığında Güneybatı, Batı, Kuzeybatı ve Doğulu rüzgârlar hakimdir. Ayrıca ölçüm dönemi boyunca rüzgâr hızlarının 0 – 3 m/s aralığında olduğu yer yer görülen 4 - 5 m/s aralığının az olması sebebiyle grafikte o bölgeler kesikli olarak görülmektedir.

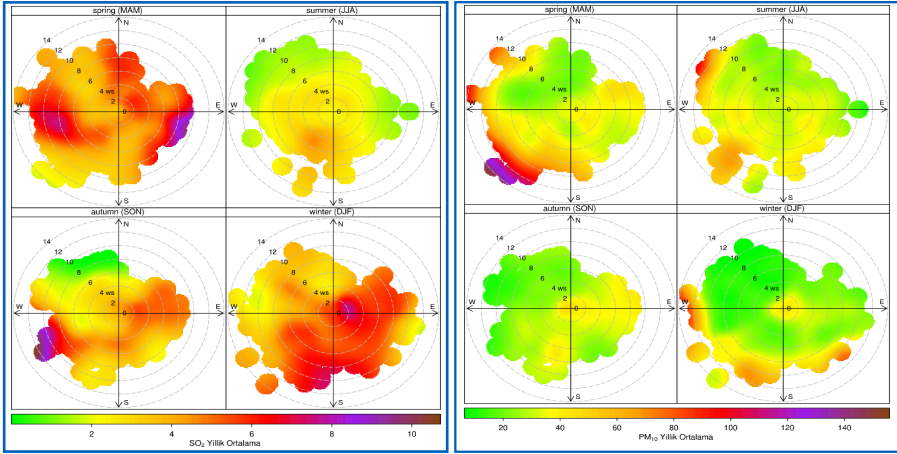
Kirleticilerin birbirlerine göre dağılımlarının hava kalitesi indeks göstergelerine göre değerlendirmesini içeren analiz sonuçları Şekil 54’de verilmiştir.



Şekil 54 Kirleticilerin birbirlerine göre dağılımı grafiği

SO2'nin en düşük konsantrasyon değerlerinde PM10 ortalaması 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olup bu durumda %20 sıklıkla Batılı ve Güneybatılı rüzgarların etkisi ile HKİ değerlerinin "İYİ" aralığında olduğu tespit edilmiştir. SO2'nin yüksek konsantrasyon aralıklarına gidildikçe HKİ değerlerinin "SAĞLIKSIZ" ve "KÖTÜ" değerler oluşmuş rüzgar yönleride Batı ve Güneybatıdan Doğuya doğru kaymıştır. PM10'nun en düşük değerleri nde SO2 nin ortalama değeri 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olup, %20 sıklıkla Batılı %15 sıklıklada Kuzeybatılı rüzgârların etkisi ile HKİ

değerleri "İyi" aralığındadır. PM10 değerinin 38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ve üzeri olduğu durumlarda SO2 ortalama değeri 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  seviyesinde iken rüzgârların Batı ve Kuzeybatıdan Doğuya kaydığı görülmektedir. Bu durumda HKİ değeri "İyi" değerindedir. Hakim rüzgar yönü dikkate alınarak kirleticilerin dağılım yönlerini gösteren kirlilik gülü hazırlanmış olup sonuç Şekil 55'te verilmiştir.



Şekil 55 Kirliticilere göre kirlilik gülü

Sonuçlar analiz edildiğinde;

#### İlkbahar mevsiminde:

- SO2 değeri; Doğulu ve Batılı yüksek hızlı rüzgârlarda 6-10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  aralığında olup diğer yön ve hızlarda konsantrasyonların 4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  değerinde olduğu,
- PM10 değeri; Güneybatılı yüksek hızlı rüzgârlarda yaklaşık 120-170  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  değerlerinde seyrettiği, diğer hız ve rüzgarlarda 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ün altında olduğu,

#### Yaz mevsiminde:

- SO2 değeri tüm yönlerdeki rüzgâr hızlarında ağırlıklı olarak 0-4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  aralığında olduğu,
- PM10 değeri, tüm yönlerdeki rüzgâr hızlarında ağırlıklı olarak 0-40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  aralığında kaldığı,

#### Sonbahar mevsiminde:

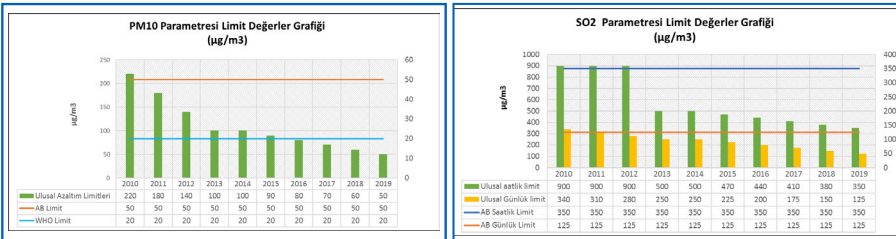
- SO2 değerinin; yüksek hızlı Güneybatılı rüzgarlarda 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  üzeri diğer yön ve hızlarda 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ün altında kaldığı,

- PM10 değerinin; her yön ve hızdaki rüzgârlarda 40 µg/m<sup>3</sup> ün altında kaldığı, Kış mevsiminde;
- SO2 değeri; her yön ve hızdaki rüzgârlarda 6 µg/m<sup>3</sup> değerinin üstünde olduğu
- PM10 değerinin, en yüksek konsantrasyonları Güney ve Batılı yüksek hızlı rüzgarlarda görüldüğü bunun haricinde 30 µg/m<sup>3</sup> te görüldüğü tespit edilmiştir.

#### 4. Ölçüm Sonuçlarının Mevzuat Esaslarına Göre Analizi

Bilindiği üzere 06.06.2008 tarih ve 26898 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği’nin temel amacı; hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini önlemek veya azaltmak için hava kalitesi hedeflerini tanımlamak ve oluşturmak, tanımlanmış metotları ve kirleticileri, esas olarak hava kalitesini değerlendirmek, hava kalitesinin iyi olduğu yerlerde mevcut durumu korumak ve diğer durumlarda iyileştirmek, hava kalitesi ile ilgili yeterli bilgi toplamak ve uyarı eşikleri aracılığı ile halkın bilgilendirilmesini sağlamaktır. Söz konusu yönetmelikte hava kalitesinin izlenmesi gereken kirleticiler parametrelerin zaman süreçlerine göre limit değerleri tanımlanmıştır.

Analiz dönemini içeren 2010-2016 dönemine ait kirleticiler parametre bazındaki yıllara göre mevzuatta tanımlı limit değerler grafiği Şekil 54 te verilmiştir.

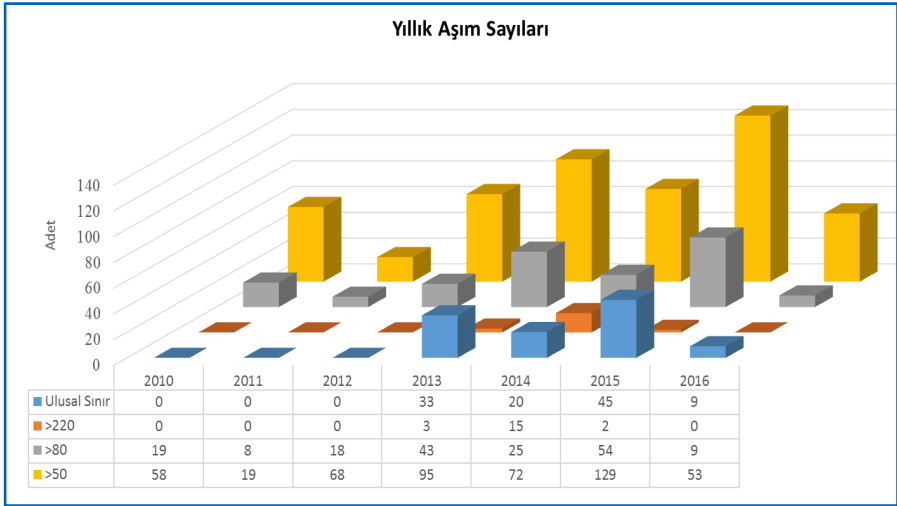


Şekil 56 Mevzuatta Yer Alan SO2 ve PM10 Sınır Değerleri ve Uyarı Eşikleri

Mevzuatta tanımlı limit değerler AB limit değerlerine ulaşıncaya kadar Ülkemizdeki hava kirliliği kaynaklarının mevcut alt yapısı esas alınarak belirlenmiş olup, yıllar itibari ile bir azaltım uygulanarak SO2 için Ülkemizde 2010 yılında günlük limit değer 340 µg/m<sup>3</sup> ve PM10 için ise 220 µg/m<sup>3</sup> iken 2019

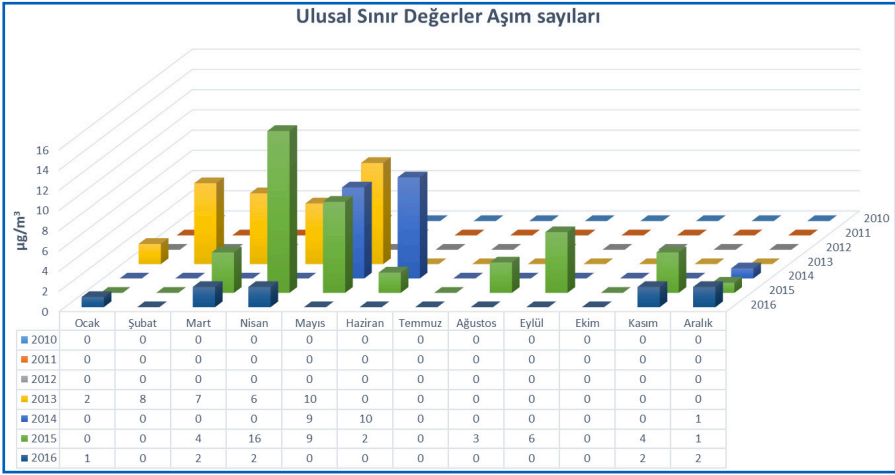
yılında SO<sub>2</sub> için AB limit değerleri olan 125 µg/m<sup>3</sup> ve PM<sub>10</sub> için ise 50 µg/m<sup>3</sup> değerlerine ulaşılması hedeflenmiştir.

Eskişehir ilinde ölçümü gerçekleştirilen söz konusu parametrelerin yıllar itibari ile HKDY Yönetmeliğinde SO<sub>2</sub> için tanımlı saatlik ve günlük limit değer ile PM<sub>10</sub> için tanımlı günlük limit değerleri aşım sayıları incelenmiş olup sonuçlar Şekil 57’de verilmiştir. Eskişehir ilinde SO<sub>2</sub> parametresinde saatlik ve günlük limit değerler aşılmadığından değerlendirme PM<sub>10</sub> üzerinden yapılmıştır.



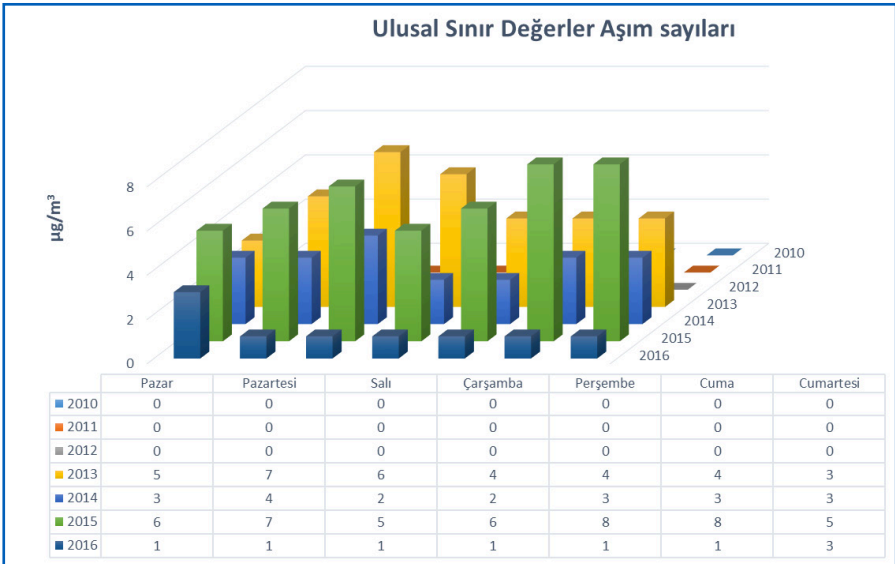
Şekil 57 Yıllık Aşım Sayısı Grafiği

Şekil 57’de görüldüğü üzere Ülkemizde uygulanan ve yıllar itibari ile sürekli azalan limit değerlerin aşım sayılarında yıllar içerisinde artış göstermektedir. HKDY Yönetmeliğinden aşım sayıları içinde esaslar tanımlanmış olup, bu toz parametresi için yılda 35 keredir. Aşım sayıları bu çerçevede incelendiğinde; ulusal sınır değer 2015 yılında aşıldığı, tüm yıllarda AB limit değeri olan 50 µg/m<sup>3</sup> uygulansaydı 2015 yılında aşım sayısı %300 olarak aşılabacaktı. 2016 yılında limit değer azalmasına rağmen aşım sayısı da azalmış olup; bu durum hava kalitesindeki iyileşmenin göstergesidir. Yıllar içerisinde aylık değişimler incelenmiş olup sonuçlar şekil 58’de verilmiştir.



Şekil 58 Yıllara Göre Aylık Aşım Sayısı Değişim Grafiği

Şekil 58’de görüldüğü üzere yıllar itibari ile aşımın ağırlıklı olarak Nisan – Haziran aylarında olduğu ancak 2013, 2015 ve 2016 yıllarında kış aylarında da aşımın ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Aşım sayılarının haftanın günlerine göre analiz sonuçları Şekil 59’da yer almaktadır.



Şekil 59 Haftanın Günlerine Göre Yıllar İtibari İle Ulusal Limit Değer Aşım Sayıları Sayısı Değişim Grafiği

Şekil 59’de görüldüğü üzere yıllar itibari ile aşım sayısında günlere göre artış ve azalış olmasına rağmen genel olarak yıllarda Perşembe ve Cuma günlerinde gözlenmiştir.

Farklı kirleticilerle ilgili limit değerlerin dışında hava kalitesi düzeyi hakkında kamuoyunun bilgilendirmesi amacıyla kullanılan ve Hava Kalitesi ve Yasal Yükümlülükler bölümünde detaylı olarak açıklanan Hava Kalitesi İndeksi kullanılmaktadır. Ülkemizde bu amaçla oluşturulan Ulusal Hava Kalitesi İndeksine göre 2010-2016 dönemi için her iki parametrenin zaman takvimi için hazırlanan indeks grafikleri Şekil 60’ta verilmektedir.





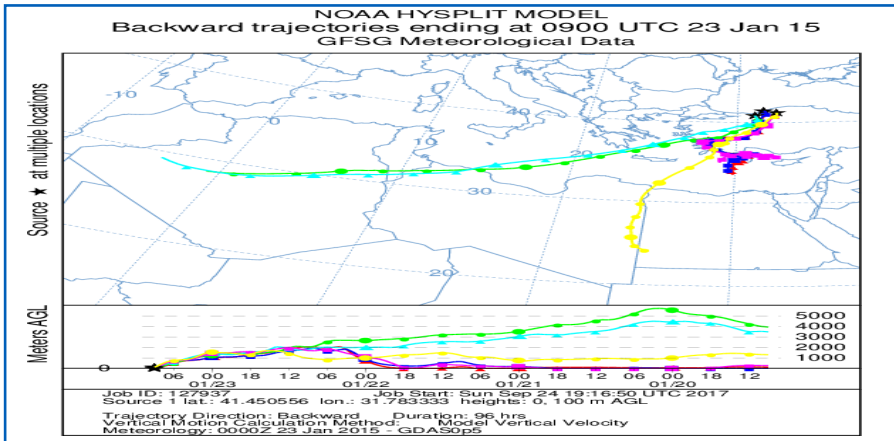
Şekil 60 Kirleticilerin Takvimsel Grafiği

Şekil 60'ta görüldüğü üzere; 2010-2016 döneminde tüm aylarda SO<sub>2</sub> parametresi HKİ indeks değeri 0-50 aralığına tekabül eden yeşil [ İYİ ]' dir. PM<sub>10</sub> parametresinde ise; ağırlıklı olarak HKİ indeks değeri İYİ koşulunda iken 2013 -2015 yılları arasında yer yer ORTA koşulu gözlenmiştir.

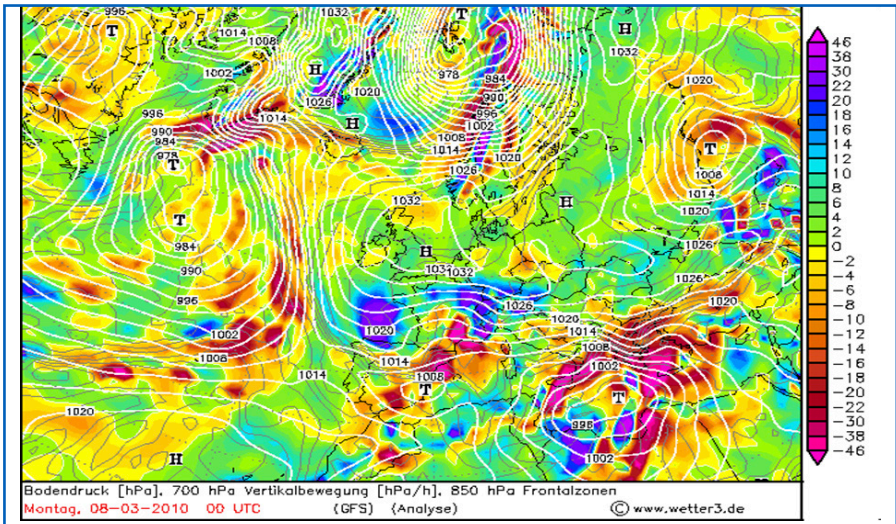
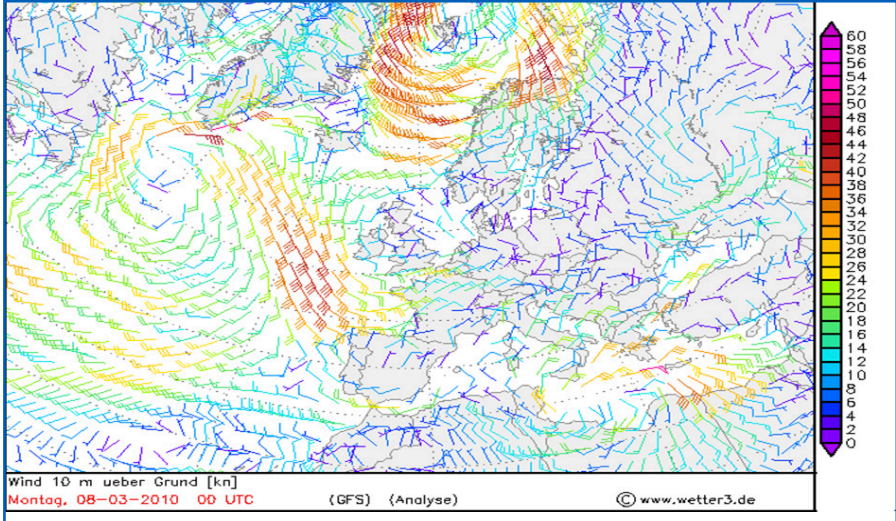
## 5. EPİSOT DÖNEMLERİNİN ANALİZİ

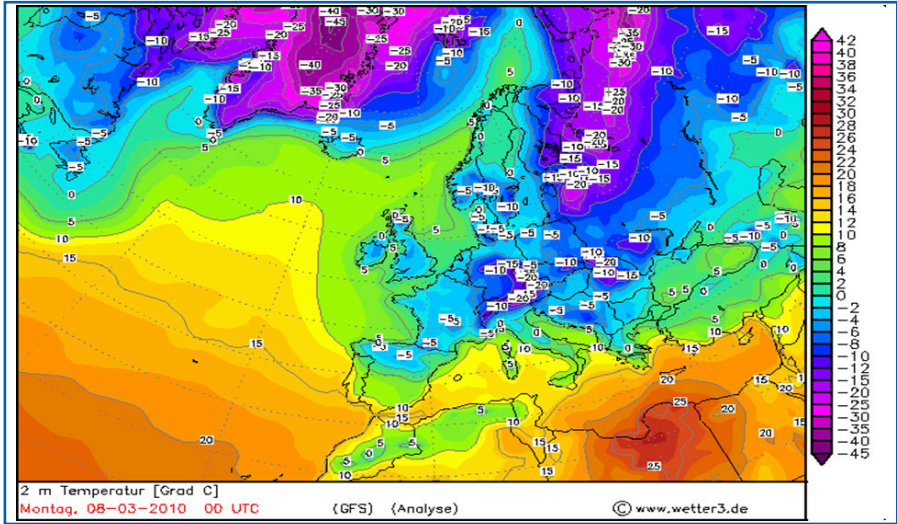
Hava kirliliğinin etki eden faktörlerle ilişkilendirilmesinde konsantrasyonların sınır değeri aştığı tüm dönemlerin meteorolojik koşullarla ilişkilendirilmesindeki zaman ve uygulama zorlukları göz önünde bulundurularak yüksek konsantrasyonların olduğu kritik dönemler(episot) belirlenerek bir çalışma yapılmıştır. Kirlenici konsantrasyonundaki artışlar bazen meteorolojik faktörlere bağlı olarak dönemsel artış gösterirken bazen de bölge yakındaki yangın, kimyasal patlama vs. bağlı olarak artış göstermektedir. Sıcaklık, basınç ve rüzgâr gibi meteorolojik parametreler kirlenicilerin dağılımında önemli bir etkiyi sahip olmaktadır. Bu amaçla episot günleri incelenirken bölgenin sinoptik analizi yapılmış ve kirlenici yoğunluğunun artmasının sebepleri araştırılmıştır. Ayrıca meteorolojik parametrelerin kirlenici dağılımında hesaba katıldığı 'HYSPLIT' programı kullanılarak bölgesel ölçekteki kirliliğin kaynağı 3 günlük geri yörünge analizi yapılarak araştırılmıştır.

Yapılan çalışmada episot günleri seçilirken yıllara göre PM10 hava kalitesi sınır değerleri referans alınmıştır. Seçilen günlerde karşılaştırma yapılabilmesi için genellikle yaz ve kış mevsimlerine ait tarihler tercih edilmiştir. Meteorolojik parametrelerin farklılık gösterdiği yaz ve kış aylarında kirlenici konsantrasyonunun da farklı değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Seçilen tarihler için çalışma alanları tek tek incelenmiştir ve rapora eklenmiştir. Birden fazla ilin etkilendiği periyodik günler de dikkate alınarak 8-9-10 Mart 2010 günü episot dönemi olarak belirlenerek 3 noktalı HYSPLIT yörünge analizi yapılarak kirlilik kaynakları tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekilde görüldüğü üzere Kuzey Afrika'nın farklı bölgelerinden kalkan çöl tozları önce Akdeniz'e, ardından ülkemize ulaşmıştır. Aynı dönemde Düzce, Bolu, Karabük ve Kütahya illeri üzerindeki hava paternleri incelendiğinde bölge üzerinde aynı hava şartlarının etkili olduğu görülmektedir. Yurt üzerinde hakim olan bir yüksek basınç merkezi ve beraberinde en fazla 10 knot hıza ulaşabilen güneyli rüzgarlar ile eş sıcaklık eğrileri üzerinde yer almaları göstermektedir ki, bu sinoptik ölçekteki hava paterninden birçok il etkilenmiştir.





Eskişehir’de 8-9-10 Mart 2010 tarihinde meydana gelen aşırı hava kirliliğinin asıl sebebi Afrika’dan gelen toz fırtınasıdır. Özellikle 9 Mart tarihindeki basınç haritasına bakıldığında Türkiye üzerinde etkili olan bir alçak basınç merkezi vardır. Bu alçak basıncın ülkemize Akdeniz yoluyla geldiği ve Afrika’dan taşınan tozların Akdeniz’in nemiyle birleştikten sonra Eskişehir üzerine çamurlu bir yağış bıraktığı görülmüştür.





## 6. HAVA KİRLİLİĞİNDE ETKEN KAYNAĞIN BELİRLENMESİ

2010-2016 dönemi için ortalama olarak kentsel alan oranı %97, kırsal alan oranı %3 olan Eskişehir ilinde kentsel nüfusun çok baskın olduğu görülmektedir. Bununda genellikle kırsal alanda kullanımı yaygın olan katı ve diğer yakıt kullanımının etkisinin görülme olasılığını düşürmektedir.

Eskişehir ilinde kentsel nüfus oranının artması ile birlikte bundan en çok etkilenen yer Odunpazarı ve Tepebaşı ilçeleridir. İlin nüfusunun yaklaşık %87'si bu iki ilçede yaşamaktadır. Konutun ise yaklaşık %83'ü de yine bu iki ilçede bulunmaktadır. Burada nüfus ve konut sayısının artması ile birlikte temsil alanındaki mahallelerinde etkisinde artış yaşanmaktadır. Bununla birlikte doğalgaz birim tüketimi il genelinde azalmakta olup buradaki sebep olarak merkezi kullanım sayısının giderek artması olumlu yönde etki göstermektedir. Buda ısınmadan kaynaklı hava kirliliğinin olumlu yönde etkilemekte olup bunu yıllar itibari ile SO<sub>2</sub> 'de yaşanan düşüşle de gözlemleyebiliriz.

Eskişehir ili konumu itibariyle ve bağlantı yollarında olması sebebiyle ulaşımdan kaynaklı hava kirliliği de gözlemlenebilmektedir.

İlin topografik yapısı ile ağırlıklı olarak kış dönemlerinde gözlenen yüksek basınç ve düşük rüzgar hızlarındaki meteorolojik faktörler özellikle kış döneminde yaşanan hava kirliliğinin daha fazla oranda hissedilmesine imkan tanımakta birlikte kış aylarındaki nem oranının yüksekliği bu dönemlerde daha yüksek oranlarda ortaya çıkabilecek toz salınımının daha da düşmesine neden olmaktadır. Ölçüm sonuçları irdelendiğinde SO<sub>2</sub> verileri yıllar itibarıyla azalma göstermesi, bununla birlikte de PM<sub>10</sub> değerlerinde yaşanan dalgalanmalar ve PM<sub>10</sub> değerinin 2016 yılında artması ilde kullanılan yakıtta doğalgazın etkisinin arttığını göstermektedir. Hava izleme istasyonunun temsil alanındaki mahallelerde doğalgaz kullanımı yaygın olmakla birlikte katı yakıt kullanımı da azımsanmayacak oranda olması sebebiyle ısınmanın bariz etkisini göstermekte, bununla birlikte izleme istasyonunun da şehrin en işlek yerlerinden birinde bulunması sebebiyle ulaşımında etkisi bulunmaktadır.

Eskişehir ilinde 2011-2016 yılları arasında doğalgaz kullanım oranları pek değişmemiştir. Buda aslında ilin ölçüm sonuçlarında yaşanan dalgalanma yaşanması da burada sadece ısınma kaynaklı bir kirlilikten tek başına bahsetmenin mümkün olmayacağını göstermektedir.

Kirletici parametrelerin zamansal değişim grafiklerinin aylık, saatlik konsantrasyon ve aşım sayılarının yakma saatleri ve kış aylarını göstermesinde ısınma kaynağının etkisini destekleyen diğer bir unsurdur. Ancak yaz aylarında da kirletici değerlerinin çok düşük olmaması sebebiyle ilde sanayinin de etkisini göstermektedir. Kirletici parametrelerin yıllar itibarı ile günlük konsantrasyonlarının birbirine oranını içeren analiz sonuçları ile aylık değişim grafiği geçmiş yıllarda katı yakıt kullanımında azımsanmayacak olduğunu desteklemektedir. Her iki kirletici parametrenin kaynaklar bazındaki oranları incelendiğinde ısınmanın PM<sub>10</sub> daki oranı %22, SO<sub>2</sub> deki oranı %25, Ulaşımında PM<sub>10</sub> oranı %27 iken SO<sub>2</sub> %25, sanayide her iki parametrenin oranının %50 olduğu ayrıca yaz aylarında arkaplan toz değerlerinin 20 µg/m<sup>3</sup> da kaldığı tespit edilmiştir.



## 7. KAYNAKLAR

1. Eskişehir Valiliği
2. www.nüfus.com.tr
3. Meteoroloji Genel Müdürlüğü,
4. www.cevreonline
5. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
6. CAFÉ Direktifi
7. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Eskişehir İl Çevre Durum Raporu (İÇDR),
8. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü Çevre Durum Raporu,
9. TÜİK Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS), İlçelere göre il/ilçe merkezi ve belde/köy nüfusu, 2013, www.tuik.gov.tr, TÜİK Nüfus ve Konut Araştırması
10. TÜİK Motorlu Kara Taşıtları Haber Bülteni,
11. TÜİK İllere Göre Motorlu Kara Taşıtları Sayısı,
12. Karayolları Genel Müdürlüğü
13. Aksa ve Kargaz Doğalgaz Dağıtım Şirketleri
14. 81 İl Durum Raporu, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı,
15. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Doğalgaz Piyasası 2016 Yılı Sektör Raporu, Sf:75-80, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı,
16. Unal Y,S. , Hüseyin Toros, Ali Deniz, Selahattin İncecik, 2011b, "Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM10 concentrations in Istanbul metropolitan area", Atmospheric Environment, Vol. 31, No: 45, s, 5504-5513.
17. Soylu (2008) Hava Kirliliği Ders Notları, Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü
18. Yıldırım Y (2012) Hava Kirliliği Ders Notları, Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak
19. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2015, 1.A.4 Small Combustion
20. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2015, 1.A.3.b Road transportation

21. Cheng, K-S., Yeh, H-C, ve Tsai, C-H, (2000), An Anisotropic Spatial Modeling approach for remote sensing image rectification, Remote Sensing of Environment 73(1), 46-54, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00079-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00079-1)
22. Hava Kalitesi İzleme (<http://www.havaizleme.gov.tr/hava.html>)
23. Hyspilt 2014, Air Resources Laboratory, NOAA's Office of Atmospheric Research, National Oceanic and Atmospheric Administration,
24. Sayhan H. (2003) Kırşehir'de Kış Aylarında Görülen İncersiyon Olayının Hava Kirliliği Üzerine Etkileri, G.Ü Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi, 1 (4), 29-54.
25. Toros, H. (2000), İstanbul'da Asit Yağışları, Kaynakları ve Etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi
26. Toros, H., Erdun, H., Çapraz, Ö., Özer, B., Daylan, E. B., Öztürk, A. İ., 2013, Air Pollution and Quality Level in Metropolitan Turkey for Sustainable life, European Journal of Science and Technology, 1:1, 12-18.
27. Unal Y.S., Deniz A., Toros H., Incecik S., 2011a, "Temporal and spatial patterns of precipitation variability for annual, wet, and dry seasons in Turkey", International Journal of Climatology
28. [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)
29. <http://airnow.gov/index>
30. [https://www3.epa.gov/airnow/aqi\\_](https://www3.epa.gov/airnow/aqi_)
31. Ankara THM Ön Değerlendirme Raporu 2014
32. [cevresagligi.thsk.saglik.gov.tr](http://cevresagligi.thsk.saglik.gov.tr)



**T.C.  
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK  
BAKANLIĞI**

KUZEY İÇ ANADOLU  
TEMİZ HAVA  
MERKEZ MÜDÜRLÜĞÜ

Haymana Yolu 5. Km  
Gölbaşı / ANKARA

**[www.csb.gov.tr](http://www.csb.gov.tr)**

Tel : 0.312 498 21 50  
Faks : 0.312 498 21 66