



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

KUZEY İÇ ANADOLU
TEMİZ HAVA
MERKEZ MÜDÜRLÜĞÜ



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



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

KUZEY İÇ ANADOLU
TEMİZ HAVA MERKEZİ MÜDÜRLÜĞÜ

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’inde yayımlanan Bakanlar Kurulunun 15.06.2015 tarih ve 2015/7754 sayılı Kararı gereği 27.09.1984 tarih ve 3046 sayılı Kanunun 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

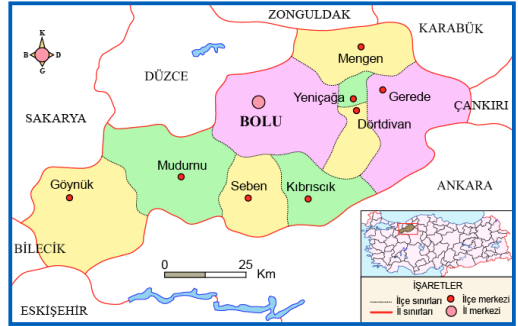
Kuzey İç Anadolu Temiz Hava Merkezine bağlı iller arasında yer alan Bolu, Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde yer alır. Yüz ölçümü 1.524 km²'dir. Ortalama rakım 1.000 m, merkez ilçe rakımı ise 725 m civarındadır. 40° 06' ve 41° 01' kuzey enlemleriyle, 30° 32' ve 32° 36' doğu boylamları arasında yer alır. Kuzey'den Zonguldak'ın Devrek ilçesi, Düzce'nin Yiğilca ve Kaynaşlı ilçeleri ve Karabük'ün Eskipazar ilçeleri tarafından çevrilmektedir. Kuzeybatıda Düzce'nin Gölyaka ilçesi ile Batı'dan Sakarya'nın Hendek, Akyazı ve Taraklı, Bilecik'in Yenipazar, Güney, Güneydoğu ve Doğu'dan Eskişehir'in Sarıcakaya, Mihalga, Ankara'nın Nallıhan, Beypazarı, Gündül, Çamlıdere ve Çankırı'nın Çerkeş ilçeleri yer almaktadır. Bolu'nun merkez dâhil Şekil-1'de verilen 9 ilçesi bulunmaktadır. Bu ilçeler, Göynük, Mudurnu, Seben, Kıbrısçık, Dörtdivan, Yeniçağa, Gerede ve Mengen'dir.

Bolu İli sınırları içerisinde Filyos ve Sakarya Havzaları bulunur. Büyüksu Çayı, Mudurnu Suyu, Gerede Çayı, Aladağ Suyu, Göynük Suyu, Çatak Suyu bu havzalarda yer almaktadır.

Pek çok doğal göl ve gölete sahip olan Bolu'nun göllerinden bazıları, Yeniçağa İlçe Merkezinin Kuzey bitişiğindeki Yeniçağa Gölü, Bolu'nun 34 km güneybatısında Abant Dağları üzerinde yer alan tektonik oluşumlu bir göl olan Abant Gölü (Tabiat Parkı)'dır. Bunların dışında küçük yüzölçümlerine sahip pek çok gölet mevcuttur.

Bolu'nun 42 km kuzeyinde bulunan Yedigöller, farklı büyüklüklerde 7 adet gölden oluşmaktadır. Bunlar Büyüköl, Seringöl, Deringöl, Nazlıgöl, Küçüköl, İncegöl ve Sazlıgöl'dür. Bu göllerin içinde bulunduğu 550 hektarlık alan 1965'te "Milli Park" ilan edilerek korumaya alınmıştır.

Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya gidildikçe şehir sınırları içerisindeki dağ yükseltileri artmaktadır. Karadeniz kıyısına paralel giden dağlardan hemen sonra Bolu dağları da yer almaktadır. Kıyı şeridine paralel olarak devam eden Bolu dağları ilk dağ silsilesine göre daha yüksektir. Bolu Dağları'nın



Şekil 1: İl Haritası

en yüksek noktaları Çele doruğu (1.980 m) ve Naldöken tepeleri (1.911 m) dir. Dağların Güney kısmında Düzce ile Bolu arasında kalan Elmacık Dağı ile Abant Dağları ve Bolu'nun Güneyi'nde yer alan Sünnice Dağı, Gerede İl-çesi'nin Kuzey'inde yer alan Arkot Dağı ile Göl Dağları, Bolu Dağları sırasını oluşturmaktadır [1]

2016 Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre ilin genel nüfusu 299.896 olup, kentsel nüfus 220.231, kırsal nüfus 79.665'dir. İlimizde şehir- de yaşayan nüfusun toplam nüfusa oranı % 73 iken, kırsalda yaşayan nüfu- sun toplam nüfusa oranı % 27'dir. Bolu Şehir Merkezi Nüfusu 2016 yılı için 195.209'dur.



İçindekiler

Biz Kimiz?	3
Giriş	4
1. Kavramlar	7
1.1. Hava Bileşenleri ve Hava Katmanları	7
1.2. Hava Kalitesi ve Yasal Yükümlülükler	10
1.3. Hava Kirliliği Kaynakları	16
1.4. Kirlетici Parametreler	19
1.5. Hava Kirliliğinin Etkileri	23
1.6. Hava Kirliliğine Etki Eden Faktörler	28
2. Bolu İlinde Hava Kirlilik Kaynaklarının Mevcut Durumu	35
2.1. Isınma kaynağı	35
2.2. Ulaşım sektörü	45
2.3. Sanayi Sektörü	46
2.4. Meteorolojik Faktörler	48
3. Hava Kalitesi Ölçüm Sonuçlarının Analizi	53
3.1. İstasyon Hakkında Genel Bilgi	53
3.2. Ölçüm Sonuçlarının Analizi	57
3.3. Meteorolojik Faktörlere Göre Ölçüm Sonuçlarının Analizi	65
4. Ölçüm Sonuçlarının Mevzuat Esaslarına Göre Analizi	71
5. Episot Dönemlerinin Analizi	77
6. Hava Kirliliğinde Etken Kaynağın Belirlenmesi	80
7. Kaynaklar	82

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.

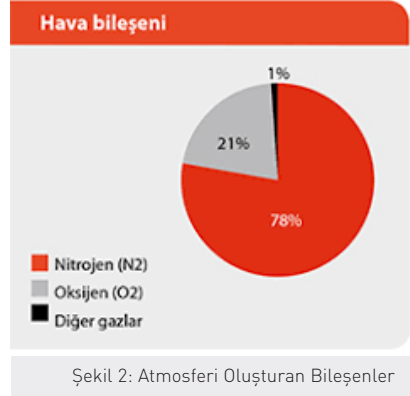
Hava başlıca azot ve oksijen gazlarının bir karışımıdır. Bu karışımında az miktarda argon, karbondioksit, argon, neon, helyum, kripton, metan ve hidro-

jen maddeleri vardır. Gazların dış ortamda belirli bir hacim ve şekilleri yoktur. Bulundukları 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 kısımda 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, (CO₂) 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. CO₂'nin kendisi toksik bir gaz değildir. Ancak atmosferdeki CO₂ kon-



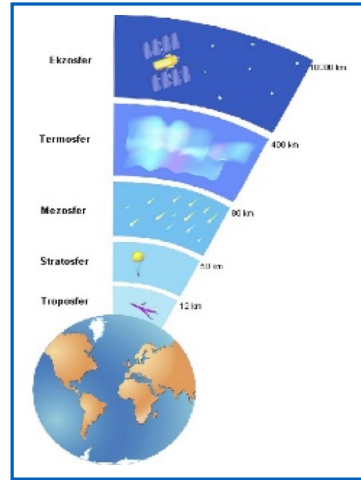
santrasyonun yükselmesi sonucu, güneşten gelen kısa boylu dalgaların atmosferde tutulması söz konusu olduğunda, yeryüzü sıcaklığının artmasına, yani sera etkisine neden olur.

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

Ozon: Simgesi O₃ olan ozon keskin kokulu, solunumu tehlikeli, mavi renkli bir gazdır. Aynı zamanda oksijenin kimyasal bir bileşenidir. Yer yüzeyi yakınlığında zehirli bir kirletici olmasına rağmen, üç oksijen atomunun birleşmesinden oluşuşan ozon (O₃) 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 hareketi görüldüğü için de diğer tabakalar ile stratosfer arasında herhangi bir taşınımaya yol açmamaktadır. Buda birçok facianın ortaya çıkmasını engellemektedir.

Mezosfer: Mezosferdeki hava basıncı ve yoğunluğu en düşük seviyededir (1/1000 yere göre). N₂ ve O₂ gazları bulunur ancak O₃ 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: İyonsfer ve Eksosfer.

İyonsfer: 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 iyonsfer 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 m³ 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. Kirletici 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 kirletici parametre-

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

Birinci grupta; kükürt dioksit (SO₂), azot dioksit (NO₂), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO) ozon, partikül madde (PM₁₀ ve PM_{2.5}),

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/m³, ikinci grupta yer alan diğer parametrelerin limit değerlere esas birimleri ng/m³ olup, kirletici parametreler bazındaki limit değerler insan sağlığını ve ekosistemi korumaya yönelik olarak tanımlanmıştır.

İnsan sağlığını koruyama yönelik limit değerler;

SO₂ 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

NO₂ için; saatlik limit değer, yıllık limit değer, ardışık değerleri içeren uyarı eşiği ile bir yıl içerisinde saatlik limit değere göre aşım sayısı,

PM₁₀ için; günlük limit değer, yıllık limit değer ile bir yıl içerisinde günlük limit değere göre aşım sayısı,

PM_{2.5} 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;

- SO₂ için; yıllık limit değer,
- NO_x 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.

[illegible]

Şekil 4: Kirletici 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_{2.5} parametresi için toplam konsantrasyonun yanı sıra Şekil-5’de tanımlı kimyasal bileşenlerine bakılması

SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	Ca^{2+}	Elementel karbon (EC)
NO_3^-	K	Cl^-	Mg^{2+}	Organik karbon (OC)

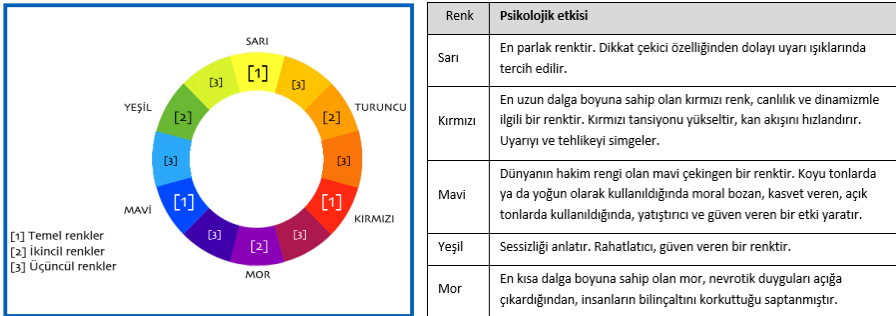
Şekil 5: PM2.5 içinde bakılacak parametreler

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 km² de bir fon örnekleme noktasında ise partikül ve gaz halindeki iki değerlikli cıva konsantrasyonunun tespiti de mevzuatta önerilmektedir) gerekmektedir. Hava kalitesi düzeyinin sağlıkla 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 kirletic 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 teşkil etmemiş.
51 - 100	Orta	Sarı	Hava kalitesi uygun fakat alınganlık şeklinde hava kirliliğine hassas olan çok az sayıda insan için bazı kirleticiler açısından orta düzeyde sağlık endişesi oluşabilir.
101 - 150	Hassas Gruplar İçin Sağıksız	Turuncu	Hassas gruplar için sağlık etkileri oluşabilir. Genel olarak kamunun etkilenmesi olası değildir.
151 - 200	Sağıksız	Kırmızı	Herkes sağlık etkileri yaşamaya başlayabilir, hassas gruplar için ciddi sağlık etkileri söz konusu olabilir.
201 - 300	Çok Sağıksız	Mor	Sağlık açısından acil durum oluşturabilir. Nüfusun tamamının etkilenme olasılığı yüksektir.
301 - 500	Riskli	Kahverengi	Sağlık alarmı: Herkes daha ciddi sağlık etkileri ile karşılaşabilir.

Şekil 8: EPA Hava Kalitesi İndeks Aralığı ve Renk Skalası

O ₃ (ppm) 8 saat	O ₃ (ppm) 1 saat ¹	PM ₁₀ (µg/m ³) 24 saat	PM _{2.5} (µg/m ³) 24 saat	CO (ppm) 8 saat	SO ₂ (ppb) 1 saat	NO ₂ (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) ³	12,5 – 15,4	(186 – 304) ⁴	361 – 649	151-200	Sağlıksız
0,116 – 0,374	0,205 – 0,404	355-424	(150,5-250,4) ³	15,5 – 30,4	(305 – 604) ⁴	650 – 1249	201-300	Çok sağlıksız
(2)	0,405 – 0,504	425-504	(250,5-350,4) ³	30,5 – 40,4	(605 – 804) ⁴	1250 – 1649	301-400	Tehlikeli
(2)	0,505 – 0,604	505-604	(350,5-500,4) ³	40,5 – 50,4	(805 – 1004) ⁴	1650 – 2049	401-500	Tehlikeli

(1) Bölgeden genellikle 8 saatlik ozon değerlerine göre HKİ oluşturulması beklenir. Fakat güneydaki bölgede 1 saatlik ozon değerlerine göre HKİ oluşturulmak daha ihtiyatlıdır. Bu durumlarda, indeks için 8 saatlik ozon değerlerinin hesaplanması yanlıştır; 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 güneydeki her iki yönlüde ise, değerler buna göre düşmektedir.

(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 Kirletici Parametre Konsantrasyon Aralığı

EPA indeksi

aralığının belirlenmesinde; Belli bir noktada ve zamanda ölçülen her bir kirletici için Şekil-10'da verilen kesme noktalarına göre ayrı ayrı alt-indeks değeri hesaplanmakta, en yüksek indeks değerini veren kirleticie 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 = kirletici 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 kirleticilerin insan sağlığına bir arada muhtemel zararlı etkilerini hesaplamamaktadır. Bu amaçla bazı ülkelerce PM2.5, O3 ve NO2 kirletici parametrenin birlikte değerlendirildiği hava kalitesi indeksi kullanılmaktadır.

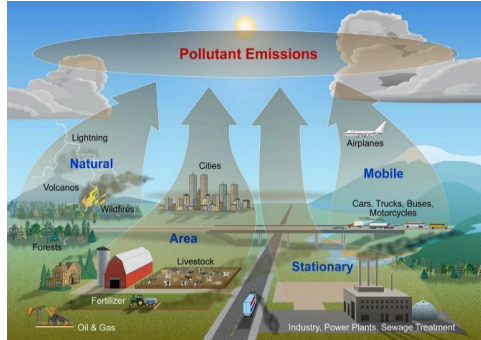
Genel amacı yaşam ortamlarında solunan hava kalitesi düzeyinin insan sağlığına olumsuz etkileri olup olmayacağı konusunda kamuoyunu bilgilendirerek karar destek sistemlerinin bu kapsamda etkin kontrol tedbirleri alınmasını sağlamak olan ve ülkemizde kullanılan Hava Kalitesi İndeks gösterge değerleri,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

İndeks	HKİ	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	CO (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
		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
SAĞLIKSIZ	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 spreyleri 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 kirlетici parametreler yakıt türüne göre değişim göstermekle birlikte katı yakıtlarda ağırlıklı olarak; karbonmonoksit (CO), kükürtdioksit (SO₂), azotdioksitler (NO_x) 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 m³ 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 sıklıklığı ve yol yapısı gibi etkenler egzoz emisyonları kaynaklı hava kirliliğinin daha büyük boyutlarda yaşanmasına neden olmaktadır. Taşıt kaynaklı hava kirliliğinde kirlетicileri konsantrasyonu ve türü motor cinsine göre değişmektedir. Taşıtlarda benzinli ve dizel motor olmak üzere iki tür motor kullanılmaktadır. Benzinli motorla çalışan bir taşıtın başlıca kirlетici kaynakları; egzoz borusu, benzin deposu, kartel havalandırma,

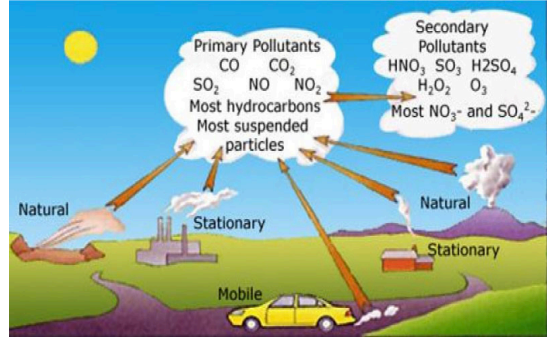
karbüratör, fren balataları ve lastiklerdir. Dizel motorlu taşıtlarda ise başlıca kirlenici kaynakları egzoz borusu, fren balataları ve lastiklerdir. Egzozdan üç tür duman çıkmaktadır. Bunlardan uygun yakma tekniğinin olmadığını gösteren siyah duman, tam yanmamış yakıt taneciklerinden oluşmaktadır. Uygun 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 (CO₂), su buharı (H₂O), hidrojen (H₂) ve azot (N₂) 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(SO₂), azot oksitler (NO_x), hidroklorik



Şekil 12: Kirlenici Sınıfları

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 (SO₂ ve H₂S), metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), minerallerin tozları, volkan ve deniz spreylerinden klorür (Cl⁻) ve sodyum(Na⁺) iyonları, biyolojik (fotosentez yapan organizmalar, atıkların ayrıştırılması, bitki ve hayvanların metabolik faaliyetleri) kaynaklardan hidrojen-karbon esaslı gazlar (CO, CO₂, CH₃Cl, 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 NO_2 en çok rastlanan gaz fazındaki ikincil kirleticilerdir. Yine birincil kirleticilerden NO 'un oksitlenmesi ile NO_2 ve devamında nitrik asit ve nitrat iyonlarına benzer şekilde SO_2 de SO_3 oksitlenmekte ve nem eşliğinde sülfürik asit partiküllerine dönüşmektedirler. (4) Aerosoller içinde de reaksiyonlar devam eder ve SO_x ve 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 (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 NO ile bunun daha ileri oksitlenme ürünü olan NO_2 gazlarının toplamından oluşur. Azot oksitleri daha çok enerji santrallerinden ve motorlu araçların egzoz borularından yayılır. Bir azot oksit olan nitrojen dioksit (NO_2) solunması kalp, akciğer ve karaciğer rahatsızlıklarına ve solunum yolu hastalıklarına yol açar.

Karbon Monoksit: Karbon monoksit, (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 kirleticiler türüdür. 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 kirleticiler maddenin yaratmış olduğu kirliliğin tek başına olmasına nazaran birbirleri ile etkileşim halinde daha fazla ve daha zor ayrıştırılabilir kirlilik oluşturmaları 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 etkilendirler. Bu hücreler akciğere ulaşan partiküllerin temizlenmesini sağlamaktadırlar ilave 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 SO₂'nin etkisi nedeniyle hava yolları daralır. Bu daralma diğer sağlık koşullarını da olumsuz etkiler. Sağlıklı insanlarda boğaz yanması, öksürme ve teneffüs güçlüğü yanında SO₂ 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_2 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 as-kıda belirli sürelerde kalabilen bütün çaplara sahip partikül grubunu temsil eder ve genel olarak 30 μm den küçük çaplara karşılık gelir. PM_{10} , ortalama çapın 10 μm 'den küçük olan partikülleri ve $PM_{2,5}$ ise ortalama çapın 2,5 'den küçük olan partikülleri içine alır. Solunum sistemi ağız ve burundan başlayarak akciğerlerin en uç noktasına kadar partiküllerin etkisine çaplarına bağlı 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 çökelmenin en az olduğu 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 bağlı olarak ağız ve burundan geçebilecek partiküller (Inhalable), genizden sonra akciğere geçebilen partiküller (Thoracic), kirpiksi hücrelerin olduğu alt solunum sistemi kısmına geçebilen (respirable) ve yüksek riskli partiküller (high risk respirable) olmak üzere dört kategoriye ayrılırlar. Bu grupta 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 oranların 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 bağlı 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 NO₂'nin alveollerde hücre duvarı incelmeye ve gaz transferinde yetersizliklere neden olduğuna dair deliller mevcuttur. Farelerde NO₂'ye maruz kalındıktan sonra kanser hücresi verildiğinde NO₂'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 hazzlardan 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 kirleticilerinin oluşturduğu sülfürik asit ve karbonik asit sorumludur. Bu asitler malzemelerle suda çözünebilen ürünler verirler ve bu ürünler yağmur suyu ile yıkanarak uzaklaştırılırlar. (3) Binaların dış cephesinin boyaı H_2S , SO_x , NH_3 , O_3 ve PM gibi kirleticiler 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 kirleticiler sorumludur. SO_2 , O_3 , PM ve NO_x kirleticileri dokularla reaksiyona girerek renk solmasına neden olurlar. SO_x kâğıtların ve deri malzemelerin görünüşünü ve kompozisyonunu etkiler. Nem ile SO_x sülfürik asiti oluşturur ve bu malzemeleri kırılgan ve parçalanır hale getirir. Kauçuk özellikle ozonun etkisi ile kırılganlaşır. Otomobil lastikleri en çok etkilenen kauçuk malzemeden oluşmaktadır.

■ 1.5.5. Global Etkiler

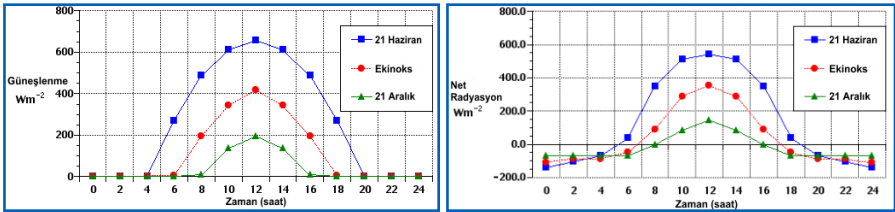
Hava kirleticiler atmosferde zaman zaman pus (haze) ve sis oluşumuna neden olarak görüş mesafesinin azalmasına yol açarlar. Diğer taraftan stratosferik ozon deliğı, asit birikimi, iklim değışikliği gibi büyük ölçekli etkileri de vardır.

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)

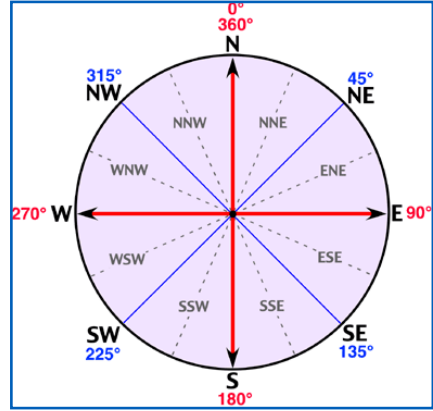


Şekil 13 Zaman Dilimine Göre Güneşten Gelen Isınma Miktarı Değişim Grafiği

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

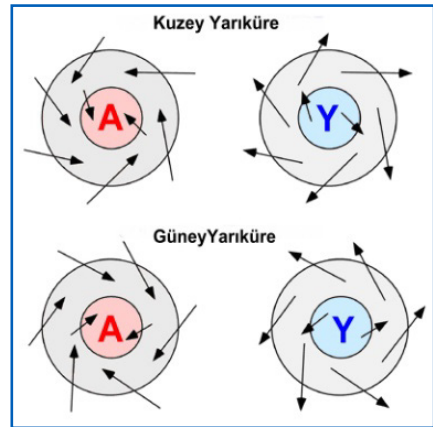
Rüzgâr en basit anlatımla yatay hava hareketi olup yüksek basınçtan alçak basınca doğru olan hava akımıdır. Rüzgâr hızı anemometre ile ölçülür, ancak artık meteorolojik ölçümlerin çoğu sensörler yoluyla otomatik meteoroloji istasyonları tarafından yapılmaktadır. Rüzgâr, doğu, batı, kuzey (yıldız) ve 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 Açıları

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 cepheler 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 kirlетici 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 kirlетicilerin 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 kuvvettir. 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 Etkiler: 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 m³ 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 m³ havanın belli bir sıcaklıkta taşıyabileceği nemin gram olarak ağırlığıdır. Hava kütleleri ısındıkça genişip 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 kütlesinin 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 en-verziyon 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 kirleticilerle maddelerin dağılımının gerçekleştiği atmosferik ortamdır. Bu parametre yerel kaynaklardan yayılan kirleticilerin 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 kirli hava, yükselme ve dağılma şansı bulunmaz. Alçak basınç (Siklon)'larda ise, hava hareketi yükselici özellik gösterir. Türbülans ve konvektif harekete sahiptir. Kirli havayı Atmosferin üst katlarına taşıyarak, yükseklerdeki rüzgarlarla dağılmasına neden olur. Rüzgarın varlığı, kirli havanın taşınması ve bir yerlere sürüklenmesi demektir. Rüzgarın sakin veya hafif olması ise, kirli havanın olduğu yerde kalması demektir. Bu nedenle, rüzgara kapalı alanlar, kirliliğin en yoğun olduğu alanlar olarak karşımıza çıkarlar. (5)

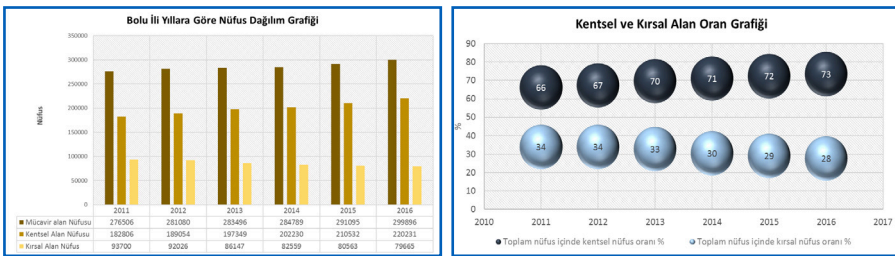




2. BOLU İLİNDE HAVA KİRLİLİK KAYNAKLARININ MEVCUT DURUMU

2.1. Isınma kaynağı

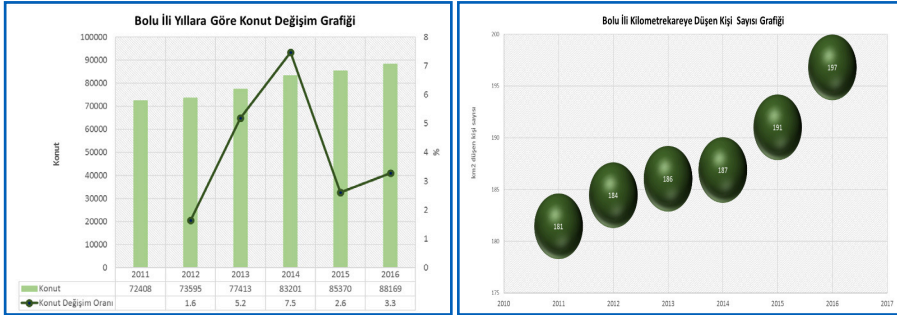
Isınma kaynağının hava kalitesi düzeyine olan katkısının değerlendirilebilmesi için; ısınma kaynağının bileşenleri olan konut sayısı, konutlarda ısıtmada kullanılan yakma sistemi türü, yakma sistemlerinde tüketilen yakıt türü ve miktarı bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Uzun dönem hava kalitesi düzeyi analizini içeren bu çalışma için ilde konut sayısını netleştirmek için referans 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 Bolu Belediye Başkanlığı, www.nufusu.com.tr 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 1524 km² olan ilde 2016 yılı itibarı ile km²'ye düşen kişi sayısı 128'dir. Bolu ili mücavir alan sınırları içinde kentsel ve kırsal alan nüfus dağılımı ve alansal bazda nüfus oranları Şekil-16'da verilmiştir.



Şekil 16: Yıllara Göre Nüfus Dağılımı ve Kentsel-Kırsal Alan Değişim Grafiği [4, 6]

Şekil-16'da görüldüğü üzere il genelinde yıllar itibarı kentsel alanda yaşayan nüfus ortalama %4 oranında artarken kırsal alandaki nüfus özellikle 2013 yılından itibaren azalma eğilimi göstermiştir. 2011-2016 dönemi için kentsel alanda yaşayan genel nüfusun ortalama %71'ine tekabül ederken kırsal

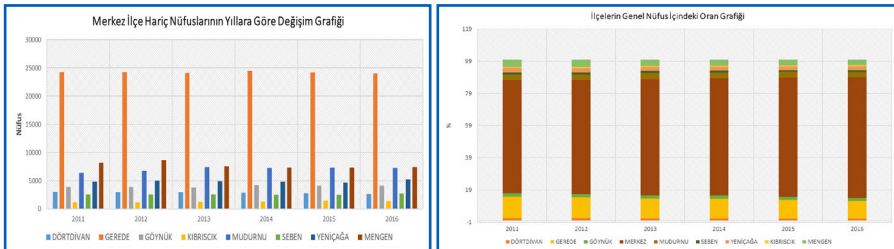
nüfus %29'una tekaül etmekte olup, bu durum ilde kentsel alanın ağırlığı göstermektedir. Isınma kaynaklı hava kirliliğinin ana nedeni yakma sistemleri olduğundan, il genelinde nüfustan sonra konutların durumunun analizi yakma sistemlerine ulaşmada önemli bir diğer unsurdur. İl genelinde en güvenilir konut verisi TÜİK'den alınmış olup sonuçlar Şekil-17'de verilmiştir.



Şekil 17: Yıllara Göre Konut Sayısı Değişim Grafiği (4, 6)

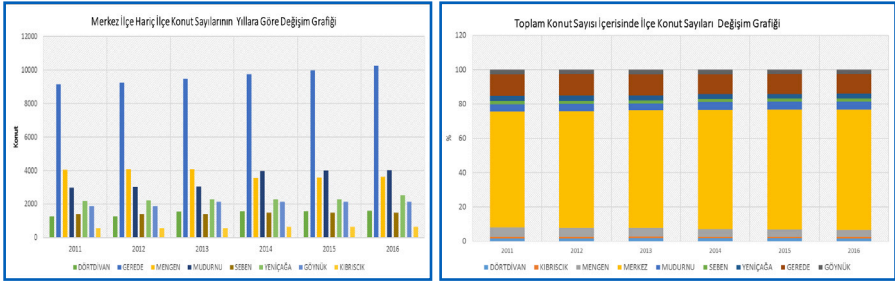
2010-2016 dönemi için il nüfusunun yaklaşık olarak %40 ına tekabül eden konut sayısı yıllar içerisinde artış eğiliminde olup en en yüksek artış %9.3 oranı ile 2014 yılında gözlenmiştir. Bolu ilinde kentsel alanda konut başına düşen kişi sayısı yaklaşık olarak 3 kişidir.

Hava kirliliğinde alan kaynak olarak tanımlanan ısınmanın ana aktörünün konutlar olması sebebiyle il genelinde nüfus ve konut sayısı değişiminden her bir ilçe bazındaki değişimin incelenmesi nüfus ve konut sayısı açısından öncelikli olarak ilçelerin tespiti açısından önemlidir. Bolu ili mücavir alan sınırları içerisindeki Merkez, Dörtdivan, Gerede, Göynük, Kıbrısık, Mengen, Seben, Yeniçağ, Mudurnu ilçelerinde nüfus yıllara göre nüfus ve konut değişimi analiz edilmiş olup sonuçlar Şekil 18 ve 19'da verilmiştir.



Şekil 18: İlçeler bazında Nüfus Değişim Grafiği

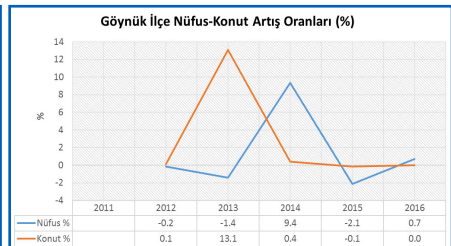
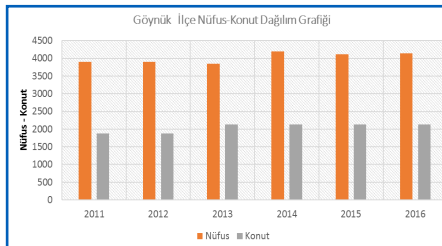
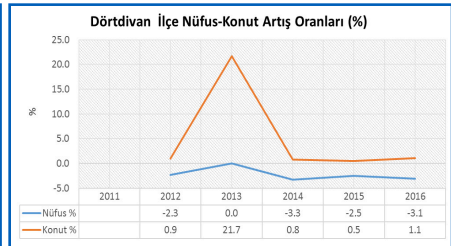
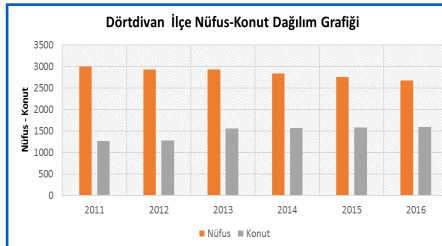
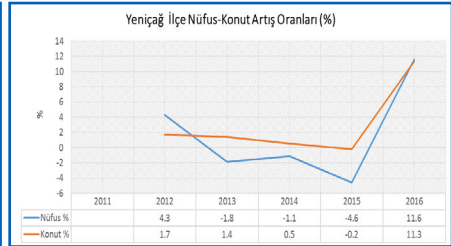
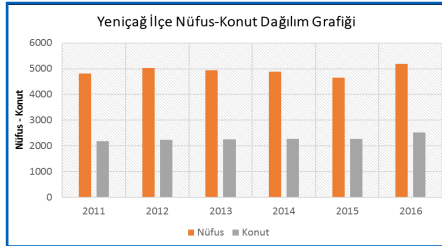
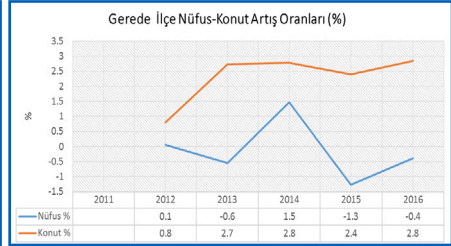
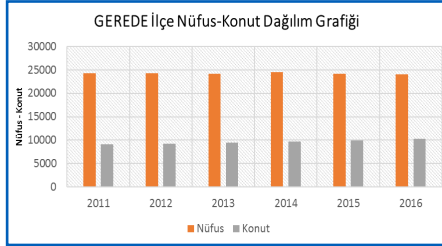
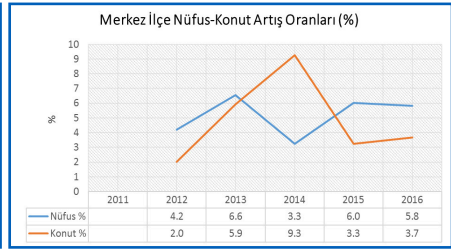
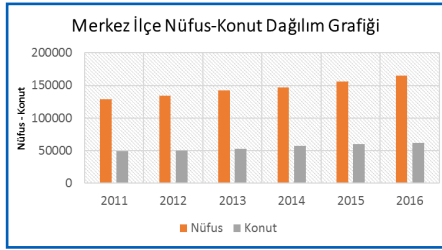
İl nüfusunun %69 una sahip olan merkez ilçe diğer ilçelerin nüfusunu baskıladığından Şekil 18’den çıkarılmıştır. İlde yer alan toplam 8 adet ilçenin toplam nüfusunun il nüfusuna oranı %31’dir. İlçeler arasında merkezden sonra en yüksek nüfus oranı %13 ile Gerede ilçesi olup bunu %2-4 oranındaki paylarla diğer ilçeler takip etmektedir. Yıllara göre nüfus sayısı çok değişmeyen ve il geneli içindeki en düşük nüfus oranına sahip ilçeler Seben ve Kıbrısçık’tır. 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 merkez ilçe ile Gerede ilçeleri en yüksek katkıya sahiptir. Bolu İl sınırları içerisinde yer alan ilçelerde nüfus ve konut sayısı değişimi ile yıllara göre artış ve azalış oranlarının analiz sonuçları Şekil 20’de yer almaktadır.





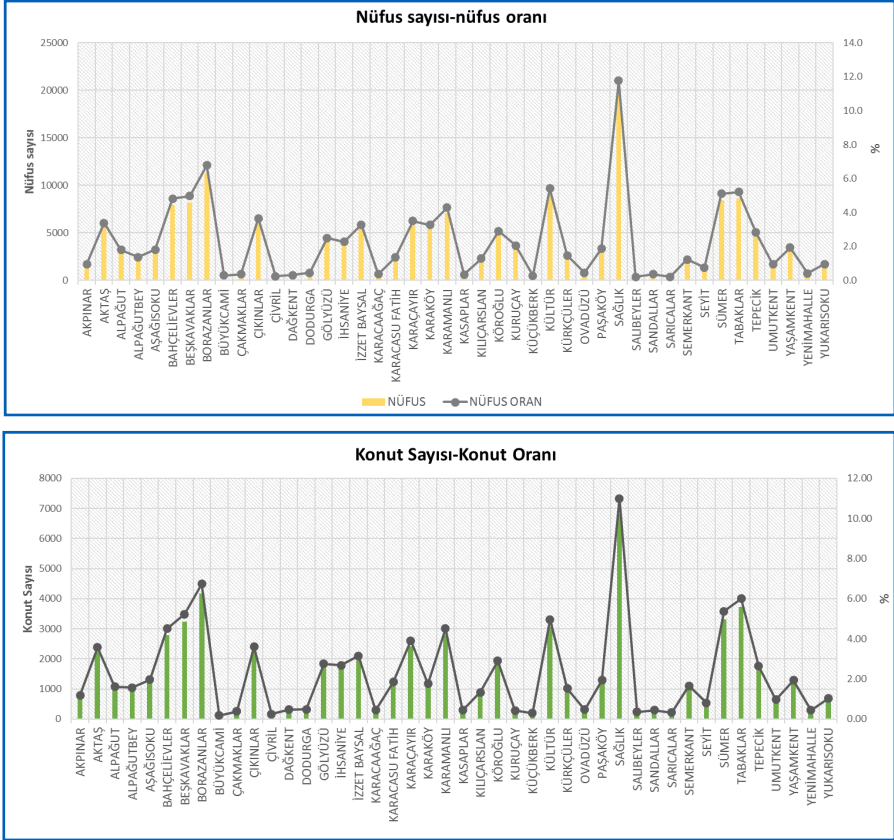


Şekil 20: Bolu İline bağlı ilçeler Nüfus ve Konut Sayılarının Yıllara Göre Değişim Grafiği (6)

Şekil 20’de görüldüğü üzere yıllara göre Merkez ilçe hariç diğer tüm ilçelerde nüfusta ve bazı yıllarda konut sayısının artış oranlarında düşüşler gözlenmiştir. Yıllar itibari ile en yüksek nüfus artışı %11.6 ile Yeniçağ ilçesi iken bunu 2015 yılından 2016 yılına geçişte %8.7 nüfus oranı ile Seben ve 2012 yılından 2013 yılına geçişte %6.6 nüfus oranı ile Merkez ilçeleri takip etmektedir. En düşük nüfus artış oranı ise oranı ile 2012 yılından 2013 yılına geçişte

-%11.6 oranı ile Mengen ilçesi olup bunu 2013 yılından 2014 yılına geçişte %3.3 ile Dörtdivan ve %3.1 ile Seben ilçeleri izlemektedir.

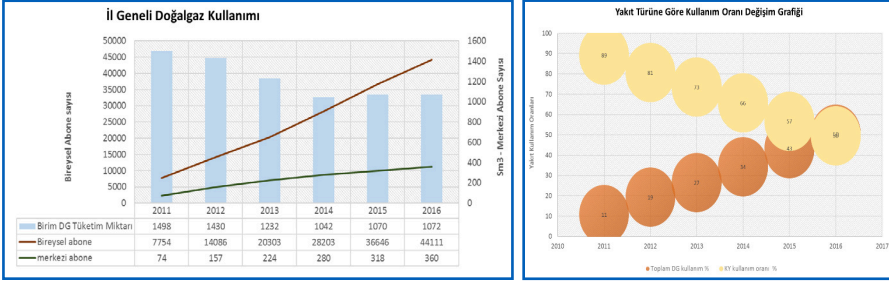
Bu raporun temel amacı il bazında hava kalitesi düzeyinde kaynakların etkisini incelemek olduğundan ısınma kaynaklı hava kirliliğine katkıda öncelikli olan ilçe merkez ilçe olması sebebi ile merkez ilçede nüfus ve konut değişimi mahalle bazlı analiz edilmiş olup sonuçlar Şekil 21’de verilmiştir.



Şekil 21: Merkez ilçe mahalleri nüfus - konut değişim grafiği

Şekil 21’de görüldüğü üzere merkez nüfusun %11,8 ve konutun %10,99’ una sahip mahalle Sağlık Mahallesi olup; bunu nüfusta %6,8 oranı ile Borazanlar, %6 ile Kültür, %5.8 ile Tabaklar ve Sümer mahalleleri izlemektedir. Konut oranı en düşük olan mahalleler ise Büyükcami, Çivril, Küçükberk, Kasaplar ve Salıbeyler mahalleleridir.

Isınma 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.

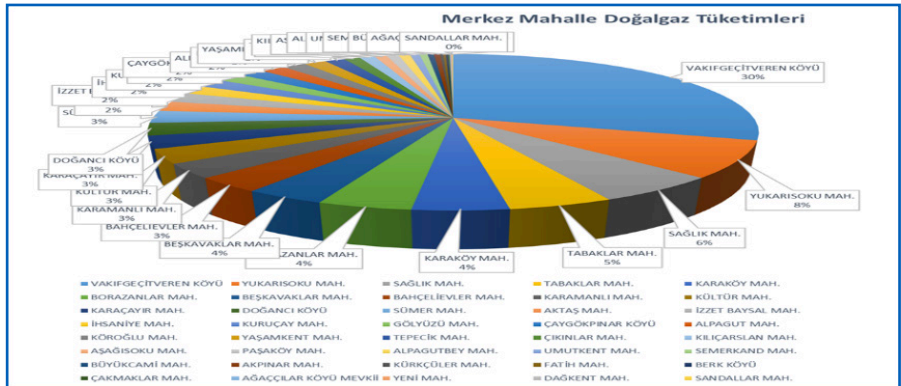


Şekil 22: İl bazında ısınmada kullanılan yakıt türleri ve kullanım oranları değişim grafiği

Şekil 22’de görüldüğü üzere İl genelinde;

- 2011 yılında kullanılan doğalgazın toplam konut sayısındaki kullanım oranı %11 iken 2016 yılında bu oranın %50 değerine ulaştığı,
- Katı yakıt kullanım oranı İl genelinde 2011 yılında %89 iken 2016 yılında bu oranın %50’ye düştüğü,
- İl genelinde 2011-2016 yılları arasında ortalama yıllık birim doğalgaz tüketiminin 1254 Sm³ olduğu, söz konusu dönemde en yüksek değer 1498 Sm³ ile 2011 yılında; en düşük birim tüketim miktarının ise 1042 Sm³ ile 2014 yılında olduğu,
- İl genelinde 2011 yılında katı yakıt kullanan hane sayısı 64580 iken 2016 yılında 43698 konut sayısına düştüğü

İl geneli özelinde yapılan yakıt dağılım çalışmasının ileler 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 kullanımının sadece Merkez ilçe ve Gerede İlçesinde olduğu, gerede ilçesinde doğalgaz kullanımına 2012 yılında başlandığı diğer 7 ilçede ise kömür kullanıldığı
- Doğalgazın merkez ilçede yaklaşık %99, Gerede ilçesinde ise %98 oranında bireysel yakma sistemlerinde kullanıldığı,
- Merkez ilçede birim doğalgaz tüketiminin 2011-2016 döneminde yıllık ortalaması 1275 Sm³ olup yıllar itibari ile 200 sm³ civarında bir değişim olduğu,
- Gerede İlçesinde yıllık birim tüketimin çok düşük değerlerde seyrettiği, en düşük değer 2012 yılında 205 Sm³ olduğu, 2016 yılında ilçedeki konut sayısının %54'ünde doğalgaz kullanılmasına rağmen Merkez ilçe birim doğalgaz tüketim miktarı referans alınarak yapılan değerlendirmede doğalgaz kullanım oranının %35 olduğu ve ilçede %65 oranında katı yakıt kullanıldığı,
- Merkez ve Gerede İlçeleri dışındaki toplam 7 ilçede %100 katı yakıt kullanımının olduğu, ancak 2017 yılında itibaren Yeniçağ İlçesinde Doğalgaz kullanımının başlayacağı,
- Katı yakıt tüketiminin Mengen, Mudurnu ve Yeniçağ ilçelerinde kullanımlarının diğer ilçelere göre yüksek olduğu,
- Merkez İlçede Vakıfgeçitveren ve Yukarısoku mahallerinde doğlagaz tüketiminin fazla olduğu, söz konusu tüketimde en yüksek katkının mahallelerde yer alan sanayi tesislerinden geldiği, tüketimin fazla olduğu ve tamamen ısınma kaynağının yer aldığı Sağlık ve Tabaklar Mahallerinde de diğer mahallelere oranla tüketimin yüksek 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 1200 Sm³ iken

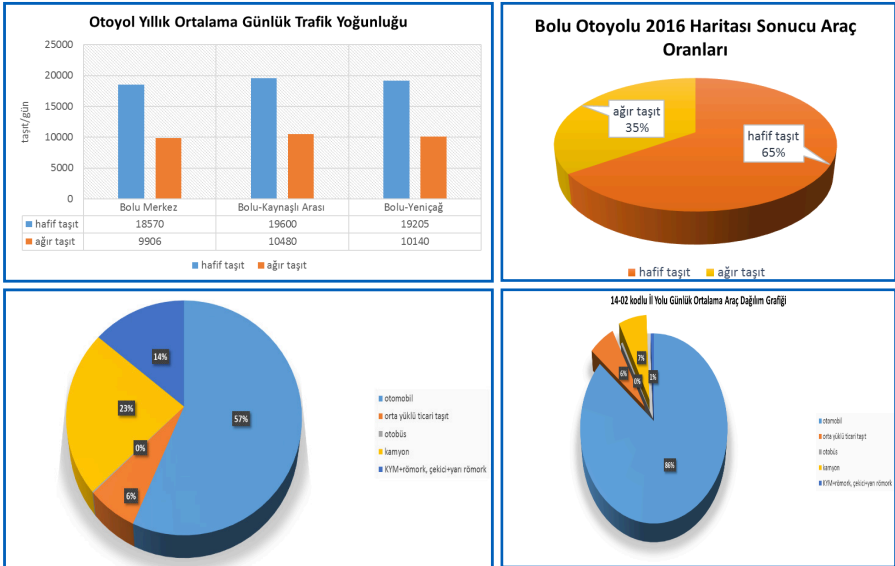
AKSA verilerine göre 1072 Sm³, anket sonuçlarına göre ise; 120 m²'lik bir binanın ısıtılmasında merkezi sistemde aylık tüketimin 157 m³, kombi sisteminde ise söz konusu binanın ısıtılmasına 298 m³ doğalgaz kullanıldığı tespit edilmiştir. Yıllar içerisinde yakıt tüketimindeki azalışın güvenilirliğini 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.



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 yılında olması 2010-2016 dönemi için, birim doğalgaz tüketimleri ile ısınma derece günlerinin birbiri ile paralellliğini göstermektedir.

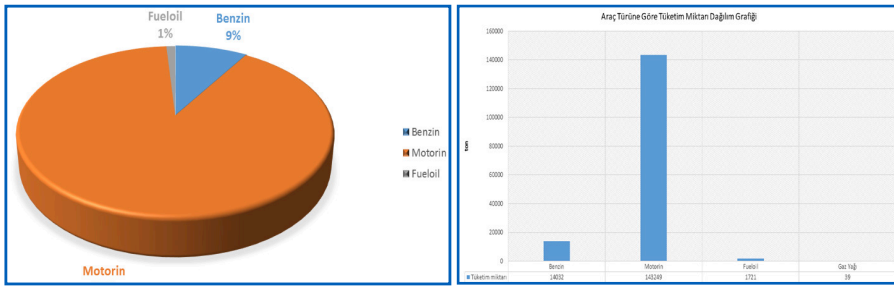
2.2. Ulaşım sektörü

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, şehirlere-rası yol durum verisi ise Karayolları Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Ancak ulaşım kaynaklı emisyonların çok farklı bileşenleri içermesi ve il öze-linde bu bileşenlerin yapılacakspezifik projeler dışında temini zor olduğun-dan bu bölümde çok genel bir değerlendirme yapılmıştır. Bolu ili çevresinde geçen İstanbul bağlantılı otoyol, Bolunun Merkez, Kaynaşlı ve Yeniçağ olmak üzere üç ilçesi ile bağlantılıdır. Söz konusu 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 Otoyol araç türlerine göre 2016 yılı günlük trafik yoğunluğu grafiği Şehrinde içinden geçen ve önemli bir araç hacmine sahip olan Bolu otoyolunda hafif taşıt oranı %65 iken ağır taşıt oranı %35'dir. Bolu ilinde yol kullanımında en yüksek pay %55 ile otoyol iken bunu %41 ile devlet yolu ve %4 ile il yolu izlemektedir. 14-02 kodlu yolda otomobil oranı %57 iken 14-25 kodlu yolda bu oran %86'dır. Ağır vasıta araçların %43 oranında olduğu 14-25 kodlu yol İlden yaklaşık 440 m mesafede olması ağır vasıta araç emisyonlarının il hava kalitesi düzeyine etki edeceğini göstermektedir. Enerji Pisayısı Düzenleme Kurulu'ndan temn edilen 2016 yılı il özelindeki araçlarda tüketilen yakıt türü ve miktarına ilişkin verilerin analiz sonucu Şekil-26'de yer almaktadır.



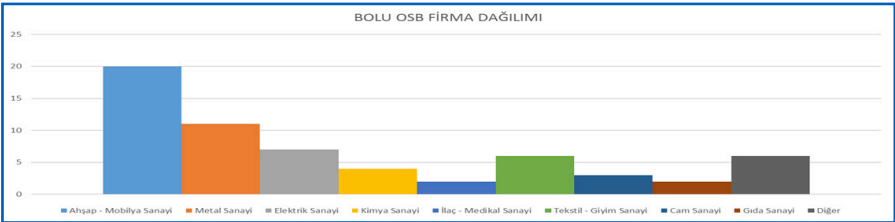
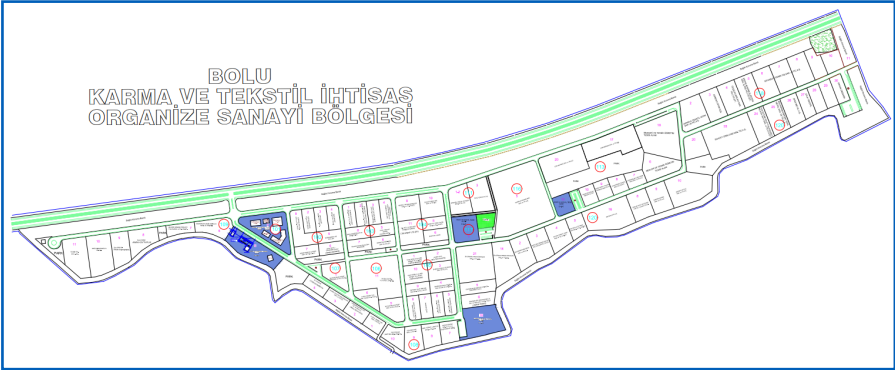
Şekil 26: Araç Türlerine Göre Yakıt Tüketim Miktarı Grafiği

Şekil 26'de görüldüğü üzere Bolu İl sınırları içerisindeki şehiriçi yollarda %90 oranı ile motorin ve %9 ile de benzin tüketiminin olması şehir merkezine yakın konumdaki il yolları ve otoyollarda yüksek kullanım oranına sahip motora bağlı olarak kükürt ve partikül madde bazında da katkının yüksek olacağını göstermektedir.

2.3. Sanayi Sektörü

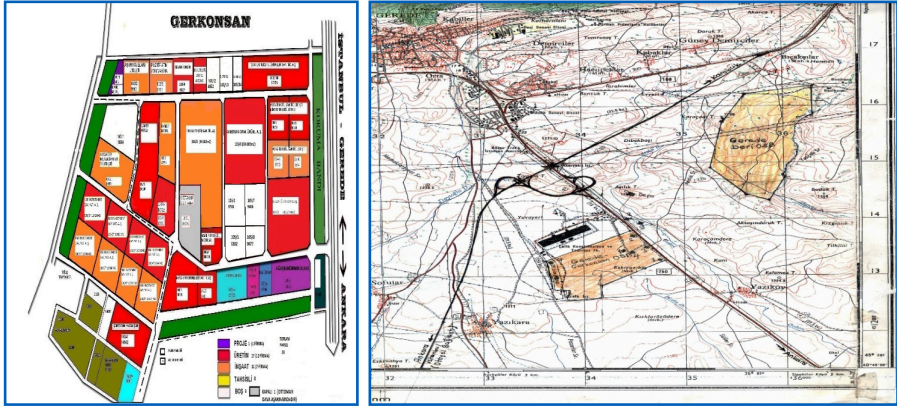
Nokta kaynak olarak nitelendirilen sanayi sektörü incelenirken Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB), ilgili Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri, www.firmalar.com internet adresi ile Organize Sanayi Bölge Müdürlüklerinden temin edilen veriler ışında Bolu il sınırları içinde sanayi sektörü dağılımının ağırlıklı olduğu ilçeler Merkez, Gerede, Mengen, Göynük ve Mudurnu'dur. Merkez ilçede; Ankara İstanbul otoyolu üzerinde Bolu Karma ve Tekstil İhtisas Organize Sanayi Bölgesi, çimento fabrikası ile merkezde küçük sanayi

sitesi bulunmaktadır. Merkez ilçede yer alan ve Ahşap-Mobilya sanayinin yanı sıra metal, tekstil ve elektronik sektörünün de faaliyet gösterdiği Organize sanayi bölgesi içinde sektörlerin dağılımı ve yeri Şekil 27’de verilmektedir. İl genelindeki sanayi tesislerinden 2 tanesinde SEOS ünitesi ayrıca toplam 87 tane işletmede ise Hava Emisyon Konulu İzin/izin ve Lisans (GFB) Belgesi bulunmaktadır.



Şekil 27: Merkez İlçe Sanayi Tesisleri Yeri ve Sektörel Dağılımı

Ankara Yolu üzerinde yer alan ikinci büyük ilçe olan Gerede ilçesinde Orman ürünleri üretimi ile Deri işleme sektörlerinin bulunduğu toplam 2 adet Organize Sanayi Bölgesi bulunmaktadır. (Şekil 28)

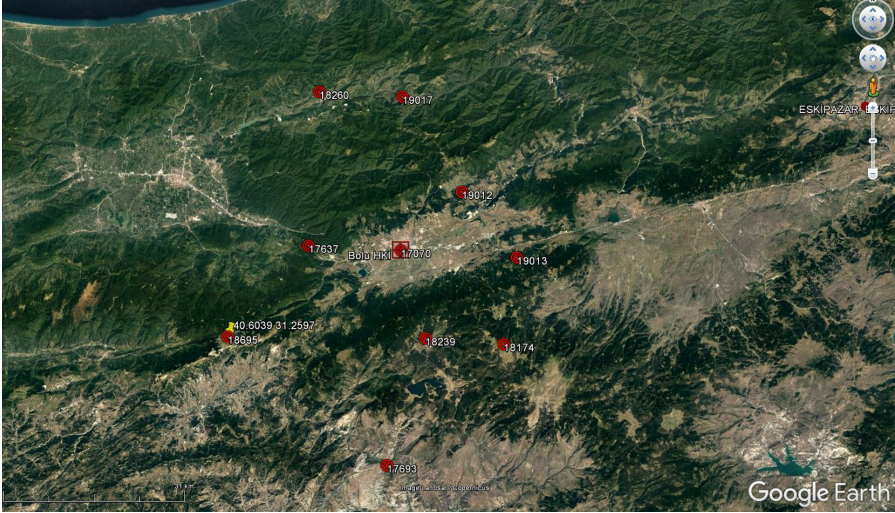


Şekil 28: Gerkonsan OSB ve Deri OSB Yer ve Sektörel Dağılımı

Bolu ilinde yer alan diğer ilçelerden Mudurnu ilçesi ağırlıklı tavukçuluk sektörünün yer aldığı ilçede bunun yanı sıra ağaç işleme faaliyetlerinin yürütüldüğü tesisler bulunmaktadır. Göynük ilçesinde ise kurulu gücü 270 MW olan termik santral dışında küçük ölçekte tavukçuluk işletmeleri, Mengen ilçesinde ise ağaç işleme ve tavukçuluk sektörü gibi tesisleri sıralamak mümkündür.

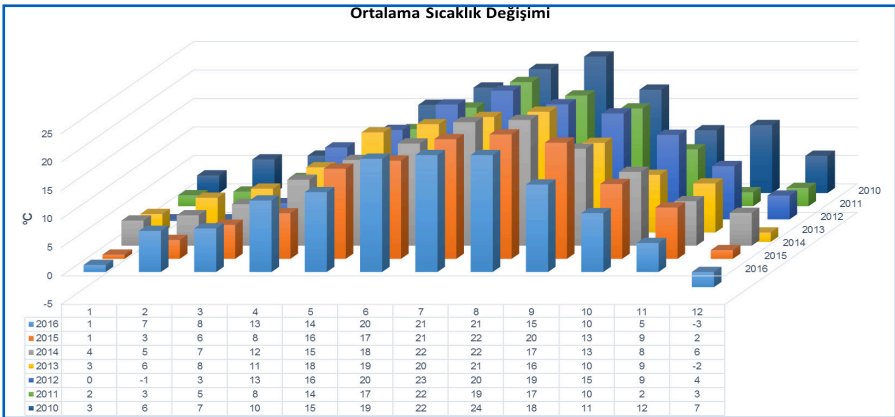
■ 2.4. Meteorolojik Faktörler

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 taşınımındaki etkisinden dolayı hava kirliliğine etki eden faktörler arasında yer almaktadır. Bolu il sınırları içerisinde toplam 10 adet meteoroloji istasyonu bulunmakta olup, 17070, 18239, 19012 17637, 19017, 19013, 18174, 18260, 17693, 18695 kodlu istasyonların yerleri Şekil 29' da verilmektedir. Söz konusu rapora ait hava kalitesi izleme istasyonunun hemen bitişiğinde yer alan 17070 kodlu meteorolojik istasyon verileri bu raporda kullanılmıştır.



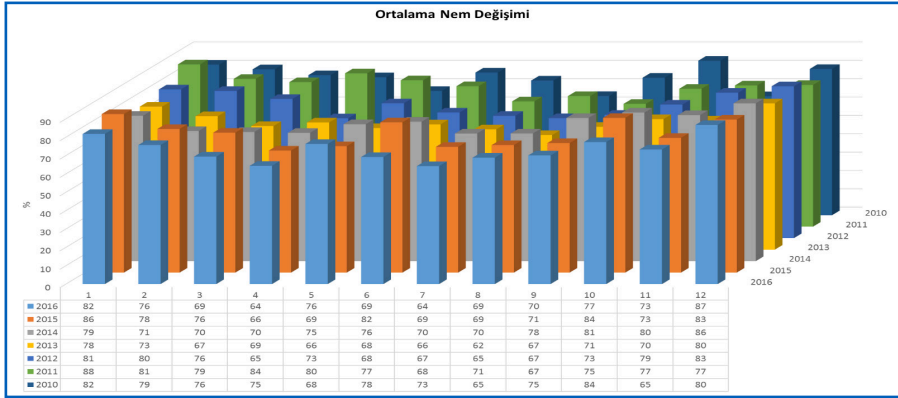
Şekil 29: Meteorolojik İstasyonların Konum Haritası

2010-2016 dönemi için 17070 kodlu istasyondan temin edilen sıcaklık değerlerinin analiz sonuçları Şekil 30'da verilmiştir. Ortalama sıcaklık -3 ile 24 °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 35-37 °C dir. En düşük sıcaklık ise; -15 °C ile 2012 Şubat tarihinde yaşanmıştır.



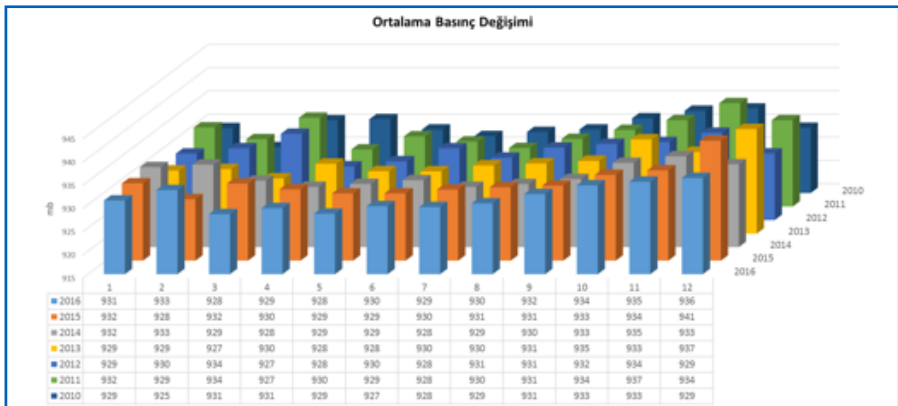
Şekil 30: Sıcaklık Değişim Grafiği

Hava kirliliğinde etkili bir diğer faktör olan nem'in yıllar içerisindeki değişimi Şekil 31'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.



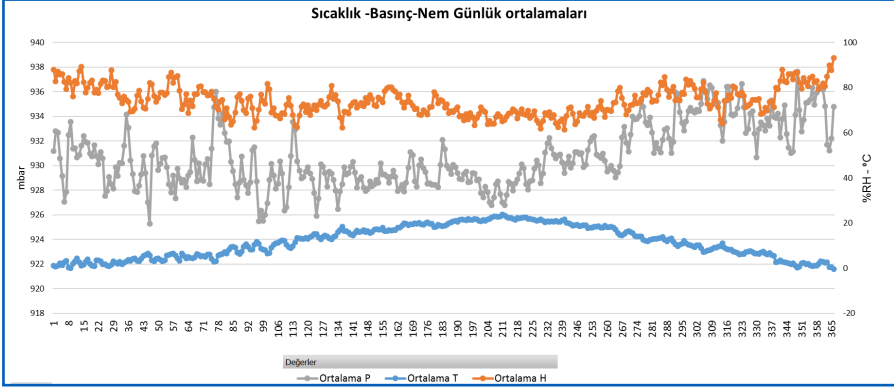
Şekil 31: Yıllara Göre Nem Dağılım Grafiği

Meteorolojik faktörlerden basıncın 2010-2016 dönemine ait analiz sonucu, ilin basınç değeri ortalama 931 mbar civarında olduğu Şekil 32' 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.



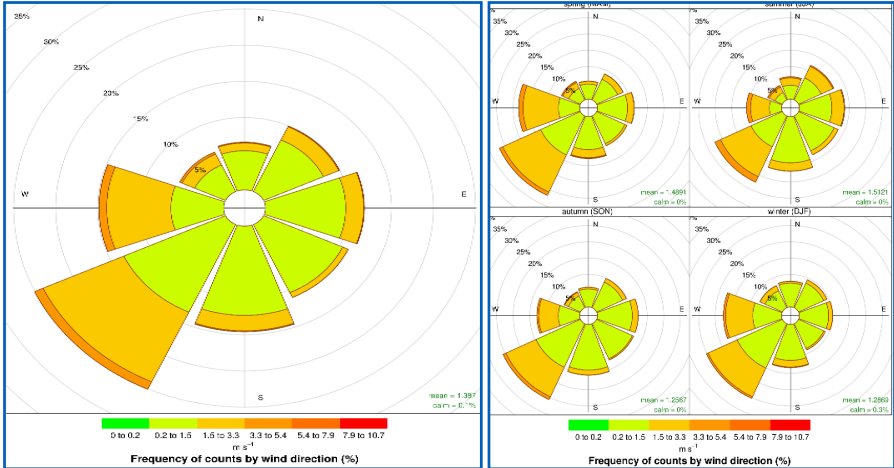
Şekil 32: Basıncı Değişim Grafiği

İlde meteorolojik veriler arasındaki ilişkinin net bir şekilde ortaya konulabilmesi için sıcaklık basınç ve nemin parametrelerinin değişimi birlikte incelenmiş olup sonuçlar Şekil 33' te verilmiştir.



Şekil 33: 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 34'de verilmiştir.



Şekil 34: Hakim Rüzgar Yönü ve Mevsimlere Göre Değişim Grafiği



İlde hakim rüzgar yönü ağırlıklı olarak %25 sıklıkla GüneyBatılı ve %15 sıklıkla Batılıdır. Söz konusu Yönlerin dışında %8-10 sıklıkla tüm yönlü rüzgârların etkili olduğu söylenebilir. İl genelinde rüzgârların ağırlıklı olarak sakın olduğu ancak GüneyBatı yönünde %10 sıklıkla diğer yönlerden ise %4 sıklıkla orta hızlı rüzgârların bulunduğu görülmektedir. Mevsimsel değişimde ise; mevsimler sarasında bariz farklılıklar olmadığı karakterittiğin hakim rüzgar yönüyle aynı olduğu yaz mevsiminde ise orta hızlı rüzgarların biraz daha fazla görüldüğü tespit edilmiştir.

3. HAVA KALİTESİ ÖLÇÜM SONUÇLARININ ANALİZİ

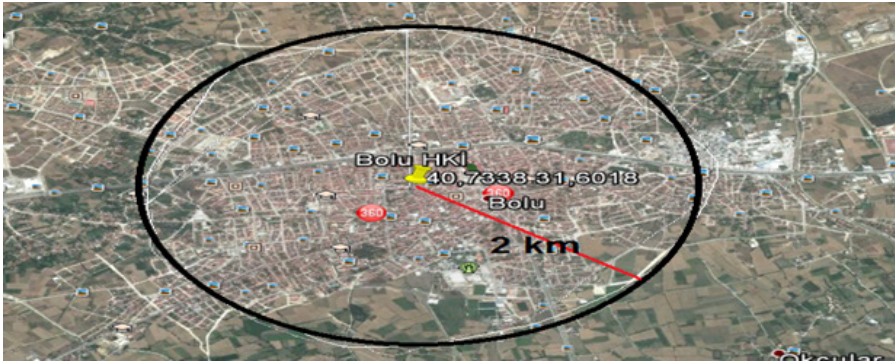
3.1. İstasyon Hakkında Genel Bilgi

Bolu İli Merkez İlçesinde 1 adet ısınma kaynaklı hava kalitesi izleme istasyonu bulunmakta olup görüntüsü Şekil 35' te verilmektedir. Bolu Hava Kalitesi İstasyonu Merkez İlçesi Karamanlı Mahallesi sınırları içerisinde 2007 tarihinde 40.733786 Enlem ve 31.601742 Boylam koordinatlarında kurulmuştur. Meteoroloji İl Müdürlüğünün bahçesinde bulunan istasyon, kentsel alanda ısınmadan kaynaklanan kirliliğin tespiti amaçlı kurulmuş olup PM10, SO2 kirlleticileri ölçülmektedir.



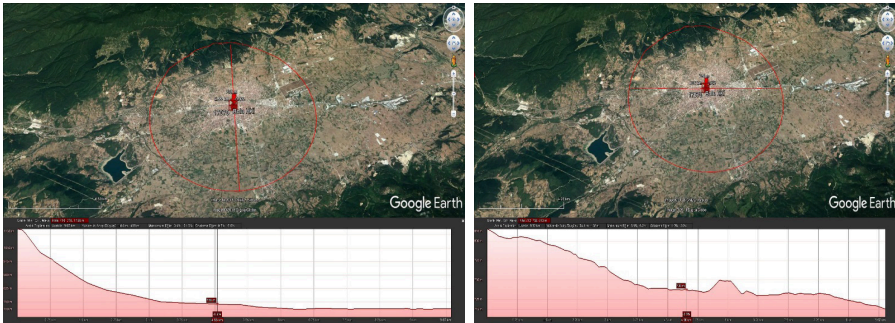
Şekil 35: HKİ İstasyonu Yeri

Alan olarak kentsel alanı hava kirliliği kaynağı olarak da ısınma kaynağını temsil eden istasyonda Enviroment Marka cihazla kükürtdioksit (SO2) ve Enviroment MP 101m Marka cihazla da partikül madde (PM10) ölçümleri yapılmaktadır. İstasyona ait ölçüm sonuçlarını analiz etmeden önce ölçüm sonuçlarının kaynakla ilişkilendirilebilmesi için HKDY Yönetmeliğinde tanımlanan temsil alanı için il merkezindeki hava kirliliği kaynaklarının dağılımı ve topoğrafik yapı yükselti değişimi dikkate alınarak yaklaşık 2 km ve 5 km yarıçaplı bir alan belirlenmiş olup görüntüsü Şekil 36'da verilmiştir.



Şekil 36: İstasyon Temsil Alanı

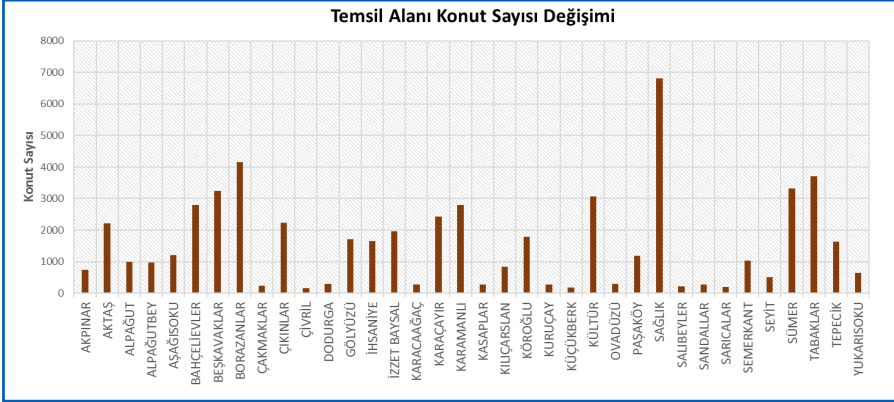
İstasyonun 2 km yarıçaplı temsil alanı içerisinde; istasyonun bulunduğu konuma göre tüm yönlerde yükselti hemen hemen aynı kalmaktadır. İstasyonun doğu yönünde 660 m mesafede Büycücamı Mahallesi, batı yönünde 400 m mesafede Bahçelievler Mahallesi, güney yönünde 1,07 km mesafede Karaçayır Mahallesi ve kuzey yönünde 1,32 km mesafede Kültür Mahallesi bulunmaktadır. İstasyonun kuzey yönünde 430 m mesafede D-100 Karayolu ve güneyneydoğu yönünde 560 m mesafede D-160 Karayolu bulunmaktadır. Şehrin yüzölçümü dikkate alındığında 5 km'lik alan içerisindeki yönsel yükselti değişimi analiz edilmiş olup sonuçlar Şekil 37'de verilmektedir.



Şekil 37: 5 km'lik alan için yükseklik kesitleri Alanı Yükseklik Kesitleri

Kirlenici parametrelerin alansal dağılımını etkileyen topografik yapının belirli yönlerde yükseklik kesitleri incelendiğinde; deniz seviyesinden 742 m yüksekliğinde olan HkI istasyonun Kuzey ve Batı yönüne doğru gidildikçe yüksekliğin arttığı Güney ve Doğu yönünde ise bariz bir değişikliğin olmadığı

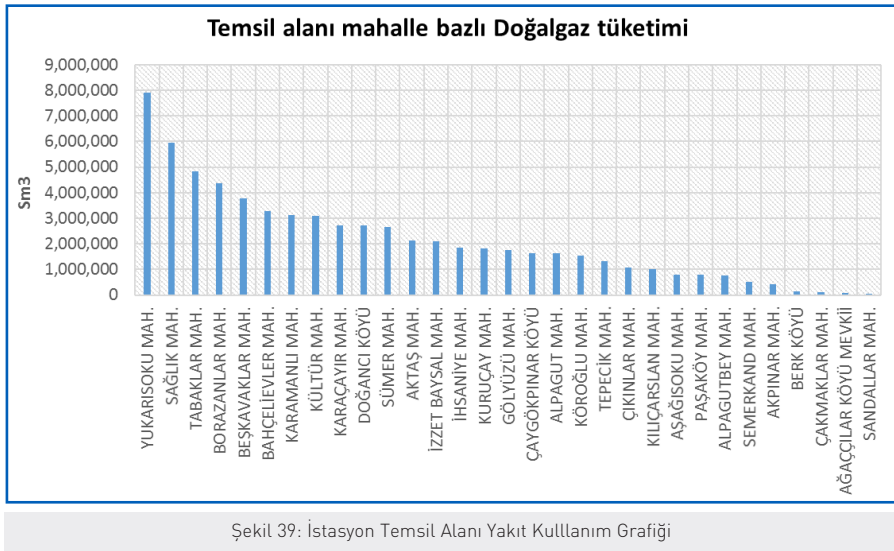
gözlenmiştir. Hava kalitesi izleme istasyonunun 2 km yarı çaplı alanı içerisinde yer alan hava kirliliği kaynakları ağırlıklı olarak ısınma olup bunun yanı sıra şehirçi yollar ile merkeze yakın konumdaki devlet yollarının etkisi söylenebilir. Isınma kaynağının etkisini değerlendirmek için il genelinde ilçe bazlı yapılan konut ve nüfus analizi istasyonun temsil alanındaki mahalleler bazında incelenmiş olup sonuçları Şekil 38’de verilmektedir.



Şekil 38: İstasyon Temsil Aalanı Nüfus ve Konut Sayısı Değişim Grafiği

Merkez ilçede toplam 31 adet mahalle bulunmakta olup, toplam mahalle sayısının %70,5 oranındaki mahalle sayısı hava kalitesi izleme istasyonunun 2 km yarıçaplı alanı içerisinde yer almaktadır. En yüksek nüfus oranını sahip mahalleler sırası ile Sağlık, Borazanlar, Kültür, Tabaklar ve Sümer'dir.

İstasyon temsil alanı içerisindeki mahallelerde yakıt kullanım durumları analiz edilmiş olup sonuçları şekil 39 da verilmiştir. Vakıfgeçitiçeren mahallesinde sanayi tesisleri olduğundan doğalgaz tüketim miktarı yüksek olup grafikten çıkarılmıştır.



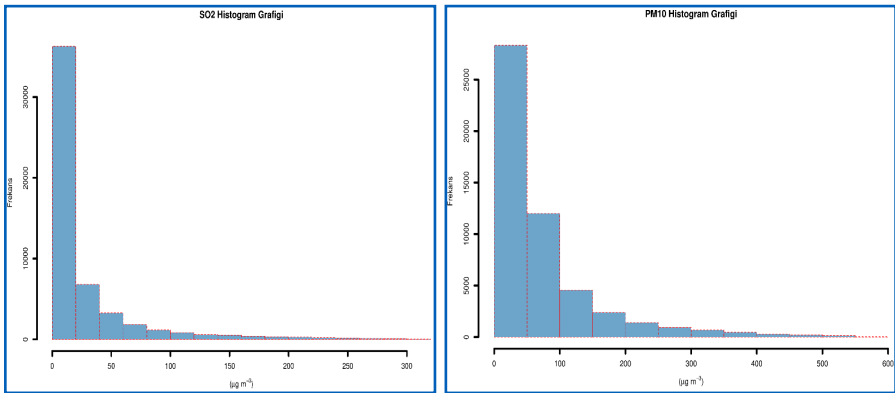
Doğalgaz tüketim miktarına göre sıralama ise; Vakıfgeçitveren, Yukarisoku, Sağlık, Tabaklar ve Borozanlar'dır. İstasyon temsil alanındaki mahallelerden Vakıfgeçitveren ve Yukarisoku mahallelerinde sanayiden kaynaklı tüketimin olduğu doğalgaz dağıtım firmasından temin ediler verilerden hareketle yapılan hesaplamalar ve arazi çalışmalarından tespit edilmiştir. İstasyon konumuna göre kuzey yönünde 1.76 km mesafede yer alan Sağlık mahallesinde doğalgaz kullanım oranı %44 iken, istasyonun batı yönünden 1,13 km mesafede Borozanlar mahallesinde ise kullanım oranı %32'dir. Doğalgaz tüketimi hiç olmayan mahalleler ise; nüfuslarına göre sırası ile Seyit, Dodurga, Ova düzü, Karaağaç, Kasaplar, Küçükberk, Çivril, Salıbeyler, Sarıcalar'dır.

İstasyonun temsil alanındaki ulaşım kaynağının durumu incelendiğinde istasyonun kuzey ve kuzeydoğu yönlerinde D-100 Karayolu geçmekte olup, yolun istasyona en yakın konumu kuzey yönünde ve 440 m mesafededir. İlın yakınında geçen bir diğer yol ise D160 olup istasyona en yakın konumu güneydoğu yönünde ve 570 m mesafededir.

Bolu ilinde kurulu bulunan sanayi tesislerinin detaylı analizi 1.3 bölümünde yer almakta olup hava kalitesi izleme istasyonu temsil alanı içerisinde istasyonun kuzeydoğu yönünde 1.92 km mesafede küçük sanayi sitesi ve 9 km doğusunda Ahşap ve Mobilya sektörünün ağırlıklı olduğu organize sanayi bölgesi bulunmaktadır.

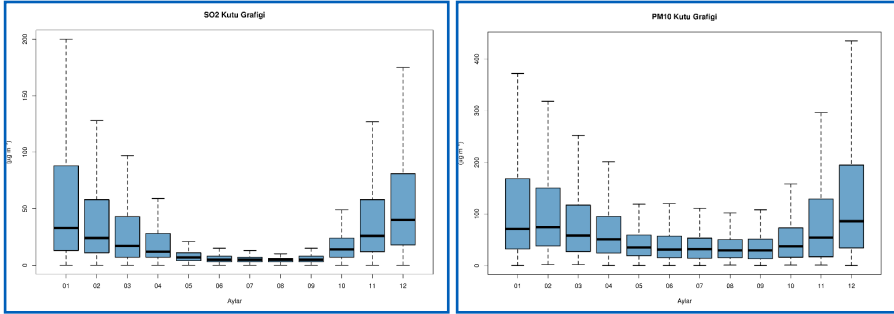
3.2. Ölçüm Sonuçlarının Analizi

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 rasgele ve rasgele olmayan örnekleme teknikleri kullanılabilir. Rasgele 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. (7) Toplanan verilerin özetlenmesinde kullanılan en basit yol frekans dağılımını özetleyen Histogram grafikleri olup söz konusu grafikler bir değişken içerisinde her bir değer yada değer kümelerinin kaç kez tekrar ettiğini görmeye yarayan araçlardır. (8) 2010-2016 dönemine ait istasyondaki kirlenici parametrelerin ölçüm sonuçlarının histogramı Şekil-40’ da verilmektedir. SO₂ verilerinin % 65’ i 0-20 µg/m³ iken %18’ i 20-50 µg/m³ aralığındadır. Toz konsantrasyonlarının ise %48’i 0-50 µg/m³ ve %19,5’ i ise 50-100 µg/m³ arasındadır. Kükürtdioksit parametresi için en yüksek değer 200 µg/m³ iken toz konsantrasyonu için bu değer 550 µg/m³’dir.



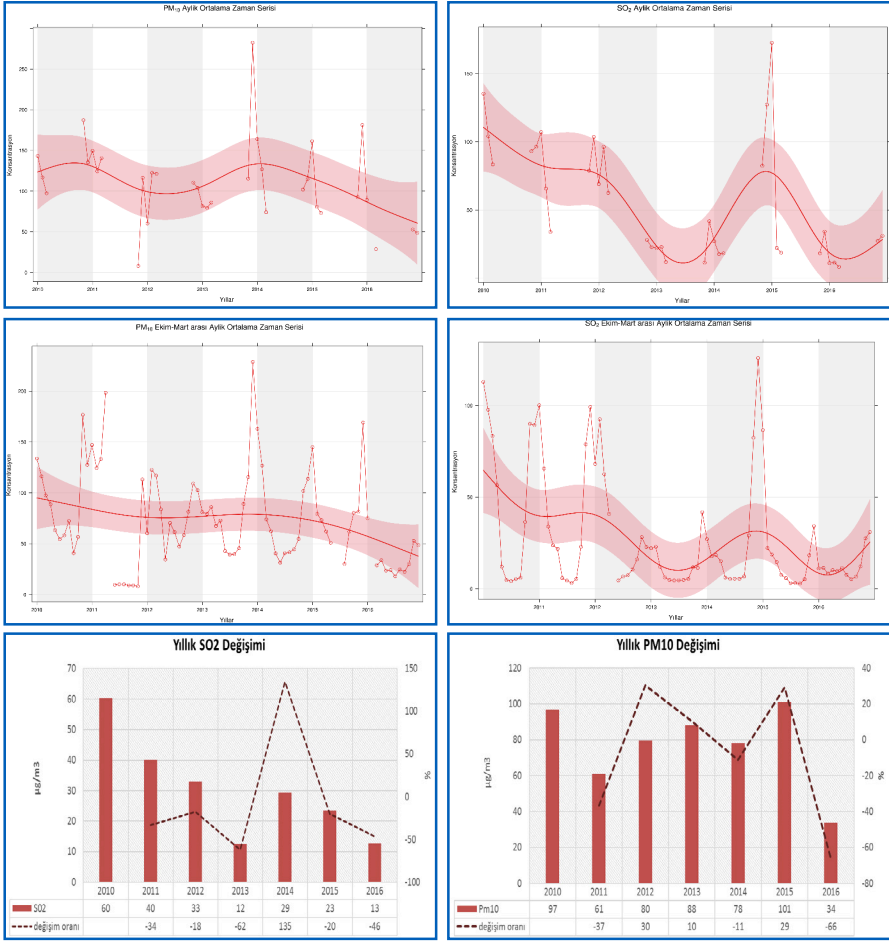
Şekil 40: Kirlenici Parametrelerinin Histogram Grafiği

Her iki kirlletici 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 41’de verilmiştir.



Şekil 41: Kirlletici Parametrelerinin Kutu Grafiği

SO2 parametresinde en yüksek ortanca değer Aralık ayında gözlenmiş olup, bunu Ocak ayı takip etmiştir. Kış aylarında ortanca değerler 10-45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında iken yaz aylarında birinci çeyrek, ortanca ve üçüncü çeyrek değerleri 0-20 aralığında birbirine çok yakın seyretmektedir. Dördüncü çeyrekte ise veriler yüksek değerlerde dağılım göstermiştir. PM10 parametresinde ise; verilerin 4. Çeyreğinde kış aylarında saçılımların fazla olduğu, ortanca değerler kış aylarında fazla olmakla birlikte 35-75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca her iki parametrenin karakteristiğinin kış aylarında değişimi aynı özellik göstermesine rağmen yaz aylarında toz konsantrasyonunun SO2 göre farklı saçılımının olması yaz aylarında başka bir kaynağın etkin olduğunu göstermektedir. Ölçüm sonuçlarının uzun dönem eğilimlerinin analiz edildiği trend sonuçlar Şekil 34’de verilmiştir.



Şekil 42: Kirlenici Parametrelerinin Trend Grafiği

SO₂ paramatresinde 2013-2014 dönemi dışında her iki paramatrenin Ekim-Mart dönemi olan ısınma sezonunda yüksek konsantrasyonlar gözlenmiştir. SO₂ parametresinin yıllar itibari ile değişimi 12-60 µg/m³ aralığında, toz konsantrasyonları ise 34-101 µg/m³ aralığında seyretmektedir. Toz konsantrasyon değerleri 2016 yılı hariç yıllara göre değişimi yakın aralıkta seyretmektedir. 2013 yılı baz aldığımızda 2010 yılı ortalama değeri baz değere göre %10 daha fazla iken 2016 yılında ise %61 oranında azalma gözlenmiştir. SO₂ konsantrasyonlarında ise yıllara göre değişim kendi içinde büyük iniş çıkışlar

şeklinde görülmekte olup, 2013 yılı baz aldığımızda 2010 yılı ortalama değeri baz değere göre %80 daha fazla iken 2016 yılında ise bir değişim gözlenmemiştir. 2010-2016 döneminde kirlетici parametrelerin aylık ve mevsimsel değişim analizi Şekil 43'de verilmiştir.



Şekil 43: PM10 S02 Aylık ve Mevsimsel Değişim Grafiği

Her iki kirlетici parametrede de kış aylarında yüksek konsantrasyonlar görülmürken yaz aylarında konsantrasyonlar oldukça düşük değerlerdedir.

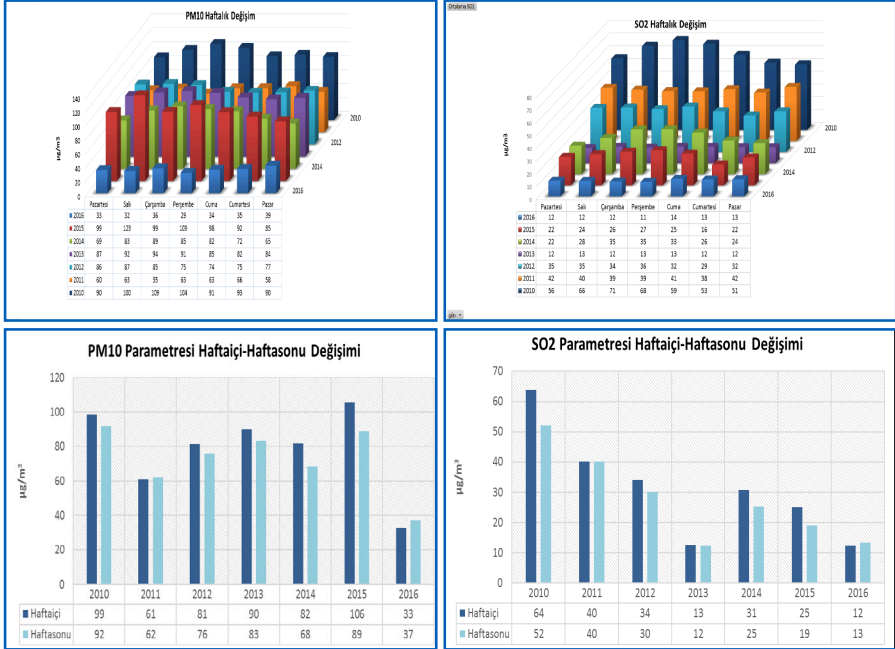
2016 yılında;

- S02 konsantrasyonlarında Ocak-Şubat aylarına göre Kasım, Aralık aylarında konsantrasyonların 3 katına çıktığı, Temmuz, Ağustos, Eylül dışında Ocak ve Şubat değerlerinin aynı seyrettiği gözlenirken yıllar itibari ile kış aylarında bariz düşüşler olduğu,
- Kış mevsiminde ölçülen S02 parametresinin ısınmadaki katkısı 2010-2016 döneminde %50 - %86 oranlarında değişmekte olup en yüksek 2015 ve en düşük oranı ise 2016 yılında gözlemlendiği,
- PM10 konsantrasyonlarında en yüksek değerin Ocak ayında gözlemlendiği, yaz aylarında en düşük konsantrasyonun Temmuz ayında gözlemlendiği, diğer dönemlerde aynı değerlerde seyrettiği,

- Kış mevsiminde ölçülen PM10 parametresinin ısınmadaki katkısı 2010-2016 döneminde %41 - %59 oranlarında değişmekte olup en yüksek 2014 ve en düşük oranı ise 2012 yılında gözlemlenmiştir.

tespit edilmiştir.

Her iki kirlenici parametrenin haftanın günlerine ve gün içindeki saatlik değişimlerini içeren genel analiz sonucu Şekil 44'de verilmiştir.

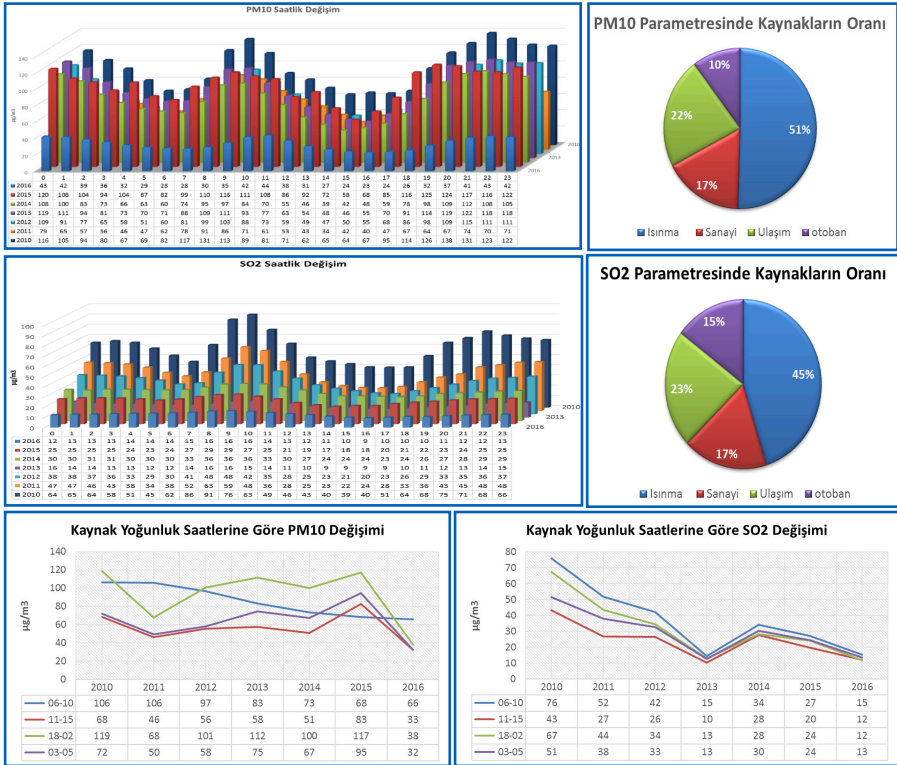


Şekil 44: Kirlenici Parametrelerin Günlere Göre Değişim Grafiği

SO2 parametresinde yıllar itibari ile Perşembe ve Cuma günlerinin haftanın diğer günlerine göre daha yüksek konsantrasyonlarda iken PM10 parametresinde 2010-2013 döneminde Salı ve Çarşamba günleri diğer günlere oranla yüksek konsantrasyondayken 2013 yılından sonra haftanın günlerinde değişiklik göstererek yüksek konsantrasyonların seyrettiği söylenebilir. Ayrıca her iki parametrede hafta içi konsantrasyonları biraz daha yüksek olmakla birlikte Haftasonundan farkı PM10 parametresi için yaklaşık 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ iken SO2 için bu değer 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tür.

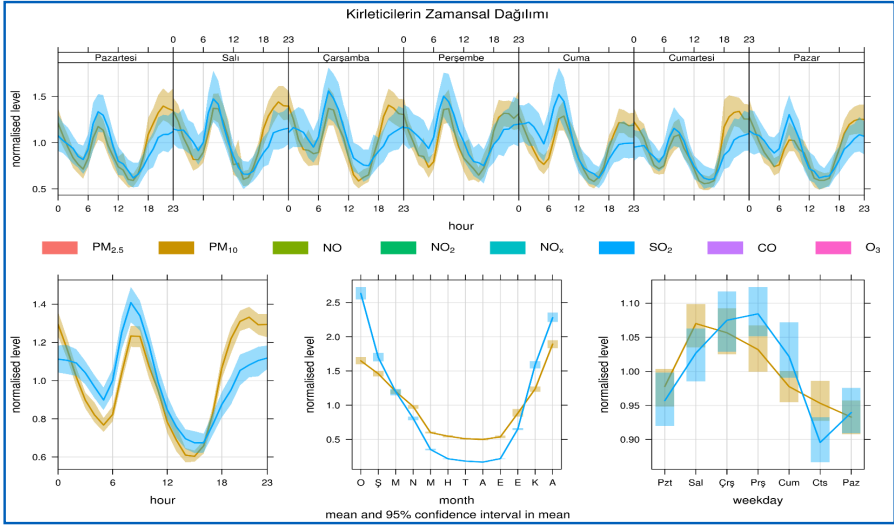
Saatlik değişim sonuçları Şekil 45'de verilmiş olup, saatlik değerler incelendiğinde SO2 ve PM10'un bütün yıllarda 07:00-11:00 saatleri arasında ve 19:00-

23:00 saatleri arasında yükseldiği, en yüksek SO₂ değerlerinin 2010 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 64 µg/m³ SO₂ nin ise 29 µg/m³ olması şehirler arası yolun yanısıra şehrin konumu itibarı ile PM10 da 44 µg/m³ SO₂ de ise 14 µg/m³ lük arka plan kirlilik düzeyinin olduğu görülmektedir. Sonuç olarak kaynakların yoğunluk saatlerinden hareketle yapılan değerlendirmede; PM10 da en yüksek katkı %51 ile ısınmadan gelirken bunu %22 ile ulaşım izlemektedir. SO₂ için ise ısınmanın oranı %45 iken bu oran ulaşım da %23 tür.



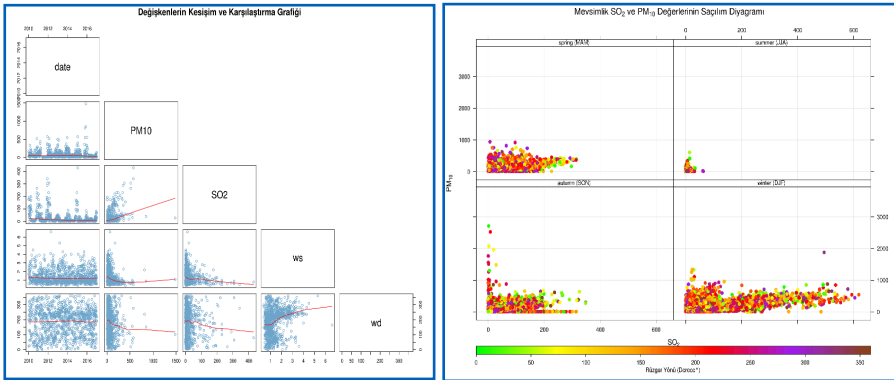
Şekil 45: Kirlenici Parametrelerin Saatlik Değişim ve Kaynak Oran Grafiği

Her iki kirlenici parametrenin yıllara göre günlük ve saatlik değişimleri arasındaki farklı eğilimleri daha net anlamlandırmak için Şekil 46'da yer alan normalize edilmiş zamansal dağılım grafiği hazırlanmıştır.



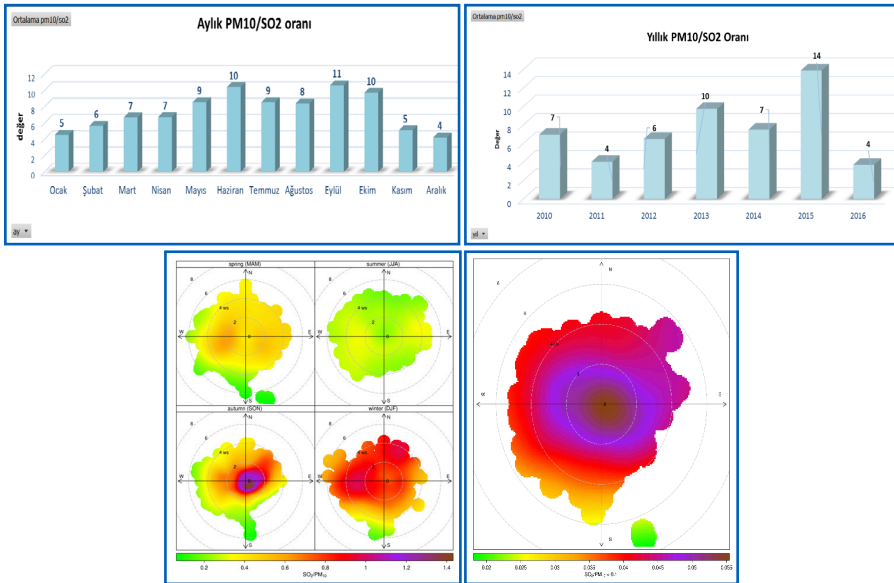
Şekil 46: Kirlenici Parametrelerinin Zamansal Değişim Grafiği

Şekil 46’da görüldüğü üzere her iki kirlenici parametrenin genel salınımında; saatlik değerlerde 06:00-10:00 ile 18:00-23:00 zaman dilimi diğer zaman dilimlerine; günlük değerlerde Salı, Çarşamba ve Perşembe 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 kirlenicilerin mevsimsel salınımı analiz edilmiş olup sonuçlar Şekil 47’de yer almaktadır.



Şekil 47: Değişkenlerin Keşim ve Karşılaştırma Grafiği

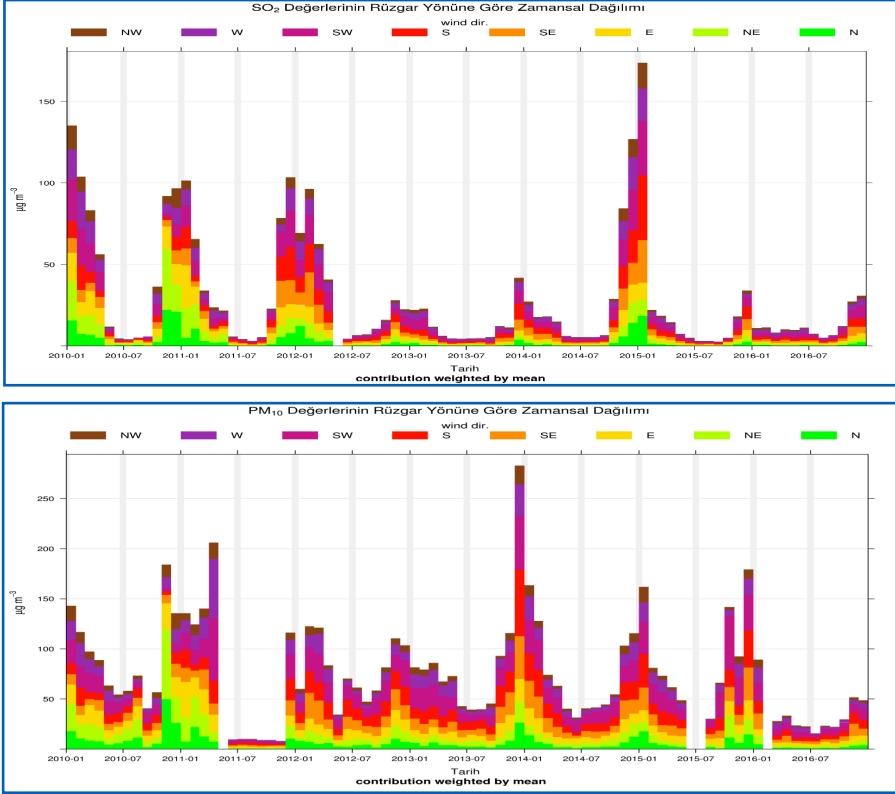
Her iki kirlenici parametrenin düşük konsantrasyonlarında aralarında pozitif ilişki varken yüksek konsantrasyonlarda doğrusallık devam etmektedir. Genellikle rüzgâr hızının 4 m/s nin altında ve rüzgâr yönü çoğunlukla homojen dağılım gösterirken özellikle rüzgârın güneybatı yönünde SO₂ konsantrasyonlarının biraz daha yoğunlaşmaktadır. Her iki kirlenici parametre için de rüzgâr hızı ile konsantrasyonlar ters orantılı olarak değişim göstermektedir. Yüksek hızlı rüzgarlar batılı yönlerden olup; genellikle hakim olan saikin rüzgarlarda konsantrasyonların rüzgar yönü ile direkt ilişkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Her mevsim farklı saçınımların gözlemlendiği saçılım grafiğinde; yaz mevsimi hariç kirlenicilerin konsantrasyonlarının yüksek olduğu özellikle kış mevsiminde saçılımların fazla görülmektedir. Sonbahar mevsiminde toz konsantrasyonları daha yüksek değerlere ulaşırken SO₂'de yaz döneminde 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 SO₂ ve PM₁₀ parametrelerinin Isınma Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yöneteliğinde özellikleri verilen ithal ve yerli kömür kriterlerine göre değerlendirildiğinde; ithal kömür için PM₁₀/SO₂ oranı 18 iken yerli kömürde bu oran 13 olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda PM₁₀/SO₂ oranında $\leftarrow 25$ aralığı esas alınarak yapılan analiz sonuçları Şekil 48'de verilmiştir. Yıllar itibarı ile Sonbahar ve Kış mevsiminde düşük hızlı tüm yönlü rüzgarlarda kirleniciler arasındaki oran yerli kömürü göstermektedir.



Şekil 48: Yıllık ve Aylık Kirlenicilerin Birbirine Oran Grafiği

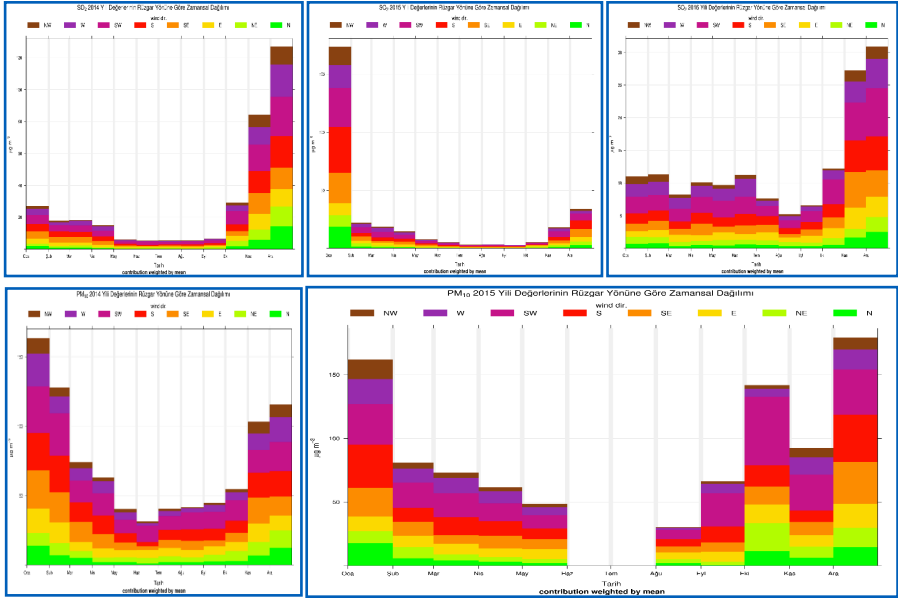
3.3. Meteorolojik Faktörlere Göre Ölçüm Sonuçlarının Analizi

Her iki kirlenici parametrenin meteorolojik faktörlerle ilişki hava kirliliğine neden olan kaynağın belirlenmesinde önemli bir faktör olduğundan 17070 kodlu istasyondan elde edilen rüzgâr hızı ve yönü verileri ile ölçüm sonuçlarının birlikte analizi Şekil 49’da verilmiştir.



Şekil 49: Kirlenicilerin rüzgâr yönlerine göre dağılım grafiği

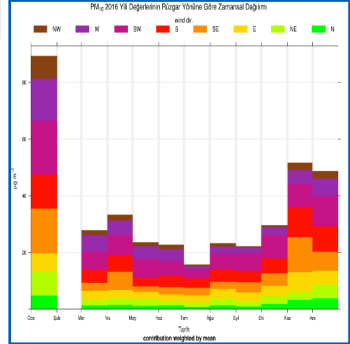
Şekil 49’da görüldüğü üzere; her iki kirlenici parametre için gerek yaz gerekse kış döneminde en düşük konsantrasyon değerlerinde Kuzey ve Kuzey doğulu rüzgarlar hakimdir. Her iki kirlenicinin yüksek konsantrasyonları kış döneminde görülmekte olup güney, güneybatı ve batılı rüzgarlar hakimdir. 2014-2016 dönemi için; rüzgâr yönüne göre konsantrasyonların aylık değişimi analiz edilmiş olup; sonuçları Şekil 50’de verilmektedir.



Şekil 50: Aylık Kirleticilerin rüzgar yönüne göre değişim grafiği

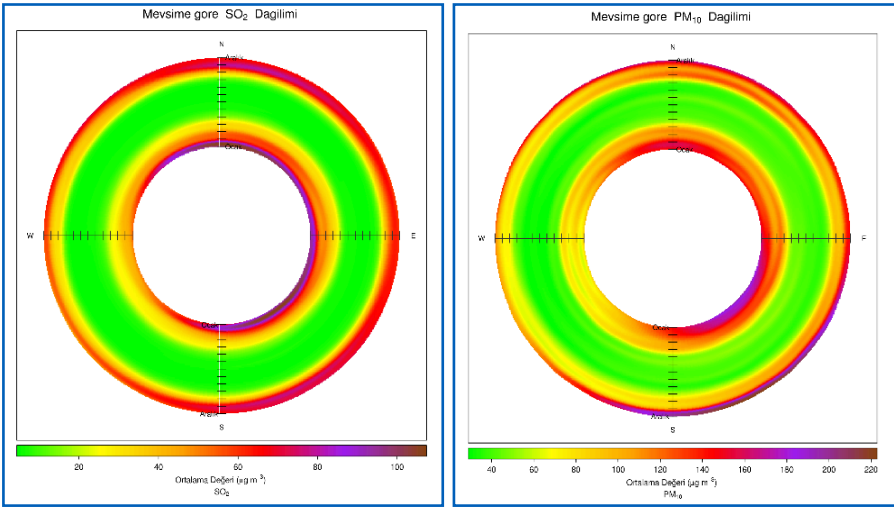
Aylık olarak konsantrasyonların değişiminde;

- Her iki kirlenici parametrenin düşük konsantrasyon değerlerinde Kuzey, Kuzeydoğu, Doğu yönlü rüzgarların ve özellikle yaz aylarında güneyli ve güneybatılı rüzgarların hakim olduğu,
- SO₂ parametresinde Ekim 2014 ve Ocak 2015 dönemleri arasında gözlenen yüksek konsantrasyonların tüm yönlerden gelen rüzgarların etkisinde olduğu ancak, güneyli ve güneybatılı rüzgarların yüksek frekansa gözlemlendiği,
- SO₂ parametresinde 2014 ve 2015 yılında 120 µg/m³ değerler ölçülürken, 2016 yılında en yüksek değer 30 µg/m³ olarak görülmektedir. 2016 yılında 10 ay boyunca yaklaşık 10 µg/m³ konsantrasyonunda devam ettiği,
- PM₁₀ parametresinde 2014-2015 yılının frekanslarının ve konsantrasyonlarının benzer özellik gösterdiği ancak 2016 yılında ocak ayı hariç azalmaların olduğu, yaklaşık 30-40 µg/m³ civarında konsantrasyonların değiştiği ve tüm yıllarda güneybatılı rüzgarların frekansının yüksek olduğu, aynı zamanda biraz batılı ve biraz da güneyli rüzgarların etkili olduğu,



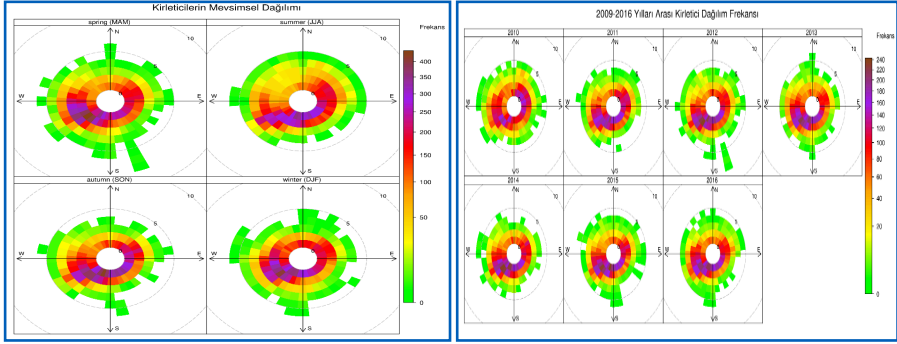
- PM10 parametresinde 2014 (ocak) ve 2015 (ocak ve aralık) yılında en yüksek parametreler yaklaşık $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iken 2016 yılında en yüksek konsantrasyon $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olduğu tespit edilmiştir.

Kirleticilerin rüzgâr yönüyle ilişkilendirilmesini farklı bir açıdan ele alan ve sonuçları Şekil 51’de verilen halka grafikte görüldüğü üzere; SO2 ve PM10 konsantrasyonları kış aylarında genellikle batı ve güneybatı yönleri hariç tüm rüzgâr yönlerinde yüksektir.



Şekil 51: Kirleticilerin mevsimsel Dağılımı Grafiği

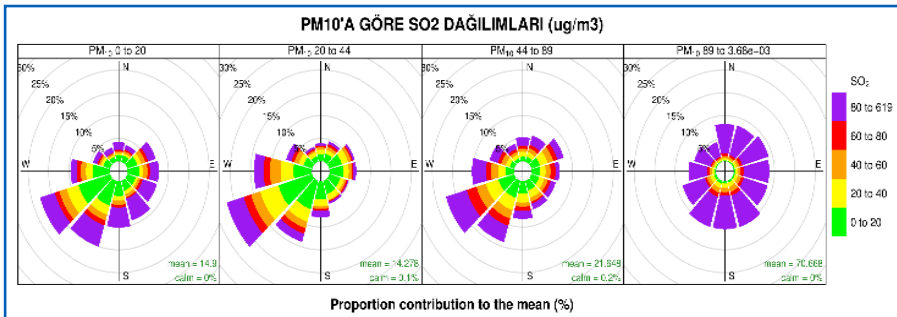
Kirleticilerin gerek mevsimsel gerekse yıllara göre frekans dağılımının rüzgâr yönüne ilişkisi Şekil 52'de yer almaktadır.

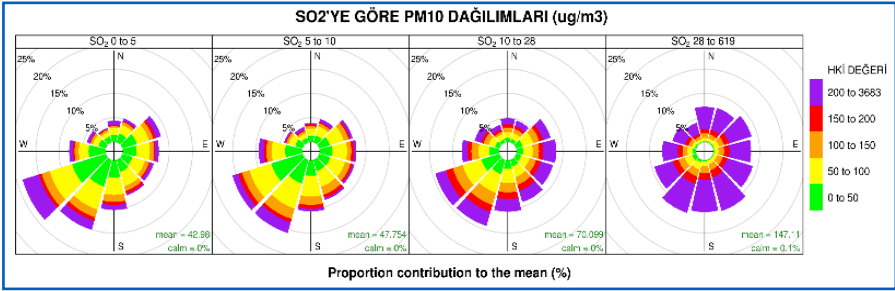


Şekil 52: Kirleticilerin mevsimsel ve yıllık değişim grafiği

Şekil 52 analiz edildiğinde; yaz ve ilkbahar mevsimlerinde güney ve güney batılı rüzgârlar yüksek frekansta seyrederken sonbahar ve kış mevsiminde söz konusu yönlere ilaveten kuzey yönünde de yüksek frekanslar olduğu görülmektedir. Yıllara göre değişimde tüm yıllarda 240 frekans aralığında güneybatılı rüzgârlar görülürken, 100-150 frekans aralığı kuzeybatı hariç tüm yönlere ve tüm yıllarda görülmüştür. 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.

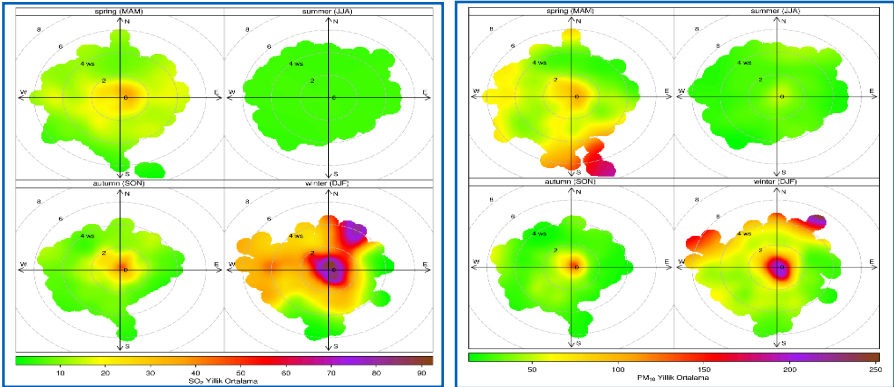
Kirleticilerin birbirlerine göre dağılımlarının hava kalitesi indeks göstergelerine göre değerlendirmesini içeren analiz sonuçları Şekil 53'de verilmiştir.





Şekil 53: Kirleticilerin birbirlerine göre dağılımı grafiği

SO₂'nin en düşük konsantrasyon değerlerinde PM₁₀ ortalaması 43 µg/m³ olup bu durumda %10 sıklıkla 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 Güneybatıdan Güneye doğru kaymıştır. PM₁₀'nun en düşük değerleri nde SO₂ nin ortalama değeri 15 µg/m³ olup, %10 sıklıkla güneybatılı rüzgârların etkisi ile HKİ değerleri "İYİ" aralığındadır. PM₁₀ değerinin 89 µg/m³ ve üzeri olduğu durumlarda SO₂ ortalama değeri 71 µg/m³ seviyesinde iken rüzgârların güneybatıdan güneye kaydığı görülmektedir. Bu durumda HKİ değeri "KÖTÜ" değerindedir. Hakim rüzgar yönü dikkate alınarak kirleticilerin dağılım yönlerini gösteren kirlilik gülü hazırlanmış olup sonuç Şekil 54'da verilmiştir.



Şekil 54: Kirleticilere göre kirlilik gülü

Sonuçlar analiz edildiğinde;

İlkbahar mevsiminde;

- SO₂ değeri; doğulu ve kuzeydoğulu sakin rüzgârlarda 20-30 µg/m³ aralığında olup diğer yön ve hızlarda konsantrasyonların 10 µg/m³ değerinde olduğu,
- PM10 değeri; Güneydoğulu yüksek hızlı rüzgârlarda yaklaşık 150-200 µg/m³ değerlerinde seyrettiği, yüksek hızlı batılı rüzgârlarda ise 50-100 µg/m³ aralığında olduğu, orta hızlı kuzeydoğulu rüzgârlar geldiğinde ise konsantrasyonların düştüğü,

Yaz mevsiminde;

- SO₂ değeri tüm yönlerdeki rüzgar hızlarında ağırlıklı olarak 0-10 µg/m³ aralığında olduğu,
- PM10 değeri, tüm yönlerdeki rüzgar hızlarında ağırlıklı olarak 0-50 µg/m³ aralığında kaldığı,

Sonbahar mevsiminde;

- SO₂ değerinin; heryöndeki sakin rüzgarlarda 40 - 50 µg/m³ aralığında iken tüm yönlerde rüzgarın hızı arttıkça düştüğü,
- PM10 değerinin; heryöndeki sakin rüzgarlarda 50 - 150 µg/m³ aralığında iken tüm yönlerde rüzgarın hızı arttıkça düşük konsantrasyonların görüldüğü,

Kış mevsiminde;

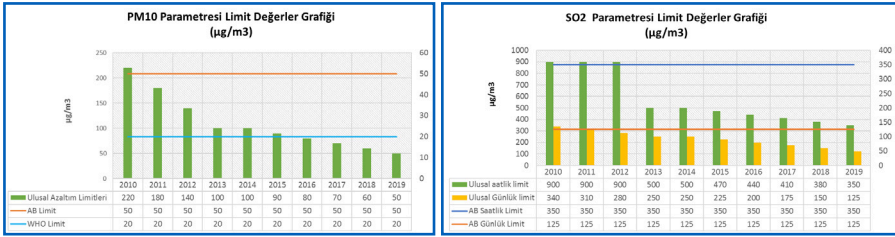
- SO₂ değeri; düşük hızlı rüzgarlarda tüm yönlerde ve hızlı kuzeydoğulu rüzgarlarda 70-80 µg/m³ değerinde seyrettiği, orta ve yüksek hızlı kuzeybatı, güneybatı ve güneydoğu yönlerindeki rüzgarlarda 30-50 µg/m³ arasında değişken orta - yüksek hızlı doğulu ve güneyli rüzgarlarda konsantrasyonların düştüğü,
- PM10 değerinin, en yüksek konsantrasyonları sakin tüm yönlü rüzgarlar ile yüksek hızlı kuzey doğu ve kuzeybatılı rüzgarla da ortaya çıktığı

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.

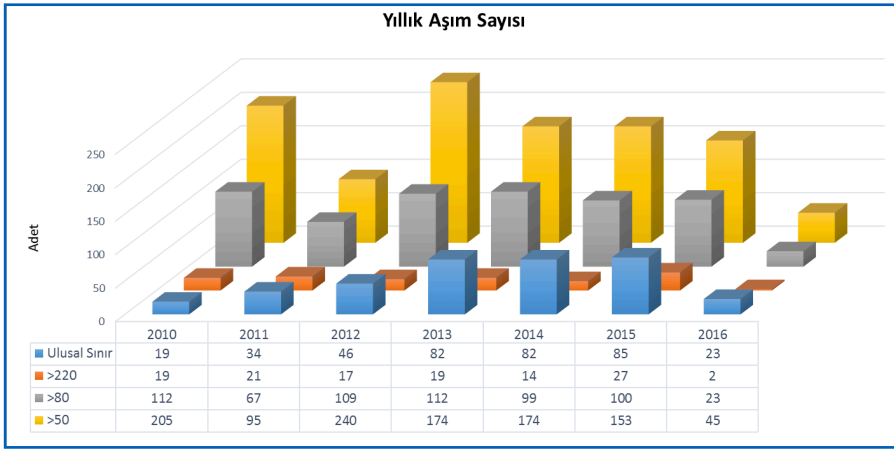
Analiz dönemini içeren 2010-2016 dönemine ait kirleticiler parametre bazındaki yıllara göre mevzuatta tanımlı limit değerler grafiği Şekil 54 te verilmiştir.



Şekil 55: Mevzuatta Yer Alan SO2 ve PM10 Sınır Değerleri ve Uyarı Eşikleri

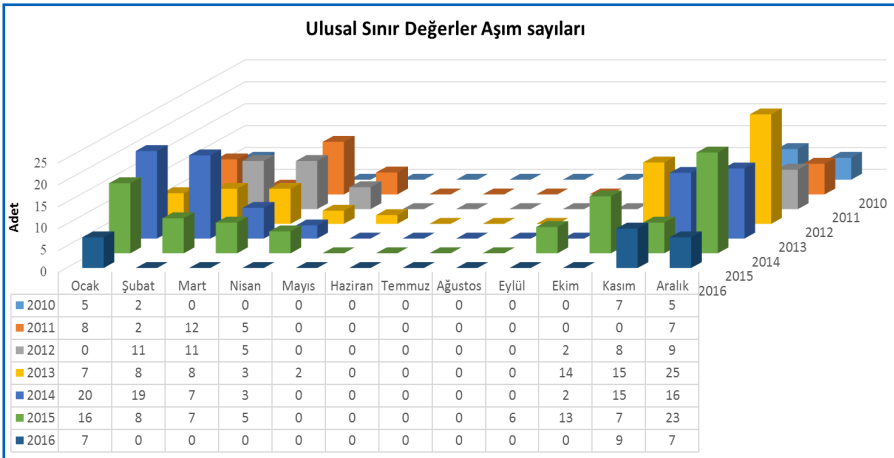
Mevzuatta tanımlı limit değerler AB limit değerlerine ulaşıncaya kadar Ülkemizdeki hava kirliliği kaynaklarının mevcut alt yapısı esas alınarak belirlenmiş olup, yıllar itibari ile bir azaltım uygulanarak SO2 için Ülkemizde 2010 yılında günlük limit değer 340 µg/m3 ve PM10 için ise 220 µg/m3 iken 2019 yılında SO2 için AB limit değerleri olan 125 µg/m3 ve PM10 için ise 50 µg/m3 değerlerine ulaşılması hedeflenmiştir.

Bolu ilinde ölçümü gerçekleştirilen söz konusu parametrelerin yıllar itibari ile HKDY Yönetmeliğinde SO2 için tanımlı saatlik ve günlük limit değer ile PM10 için tanımlı günlük limit değerleri aşım sayıları incelenmiş olup sonuçlar Şekil 56’da verilmiştir. Bolu ilinde SO2 parametresinde saatlik ve günlük limit değerler aşılmadığından değerlendirme PM10 üzerinden yapılmıştır.



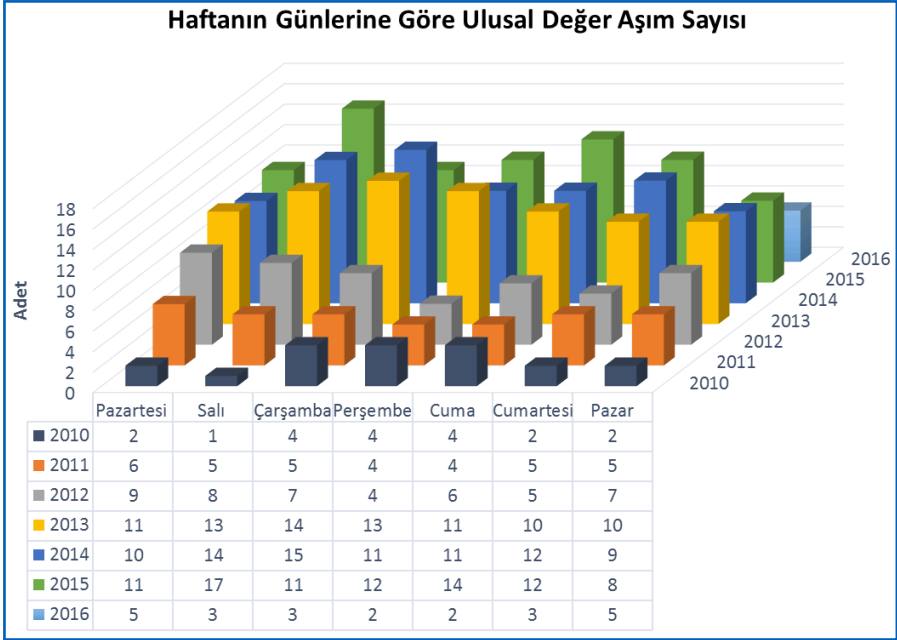
Şekil 56: Yıllık Aşım Sayısı Grafiği

Şekil 56'da 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; 2012, 2013, 2014, 2015 yıllarında değerlerin aşıldığı görülmektedir. 2016 yılında limit değer azalmasına rağmen aşım sayısı da azalmış olup; bu durum hava kalitesindeki iyileşmenin göstergesidir. Yıllar içerisinde aylık değişimlere bakıldığında ise;



Şekil 57: Yıllara Göre Aylık Aşım Sayısı Değişim Grafiği

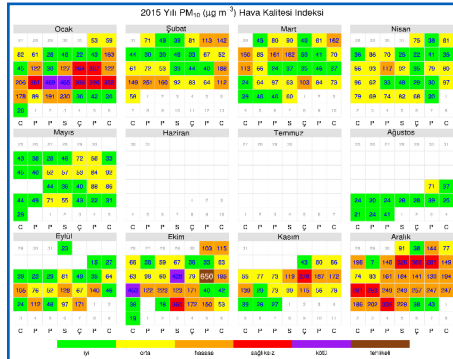
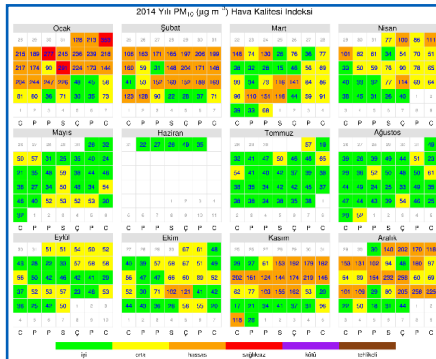
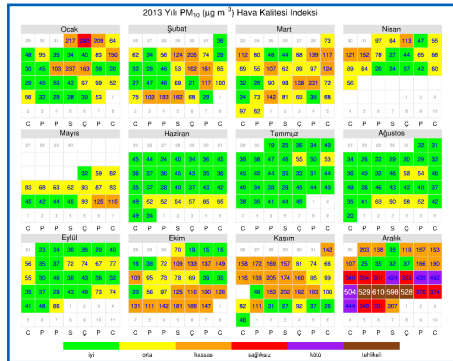
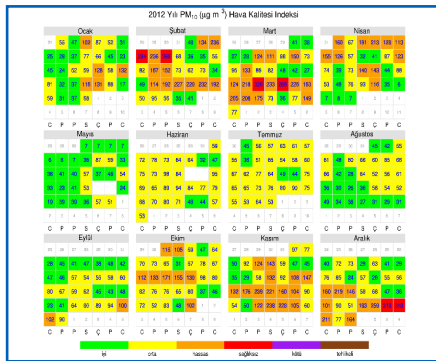
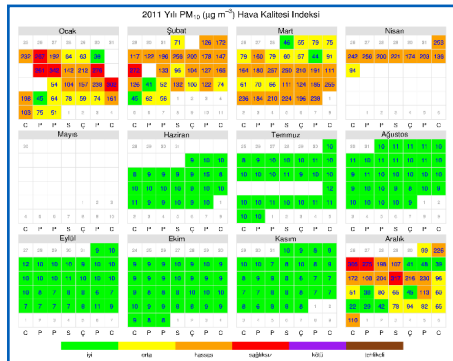
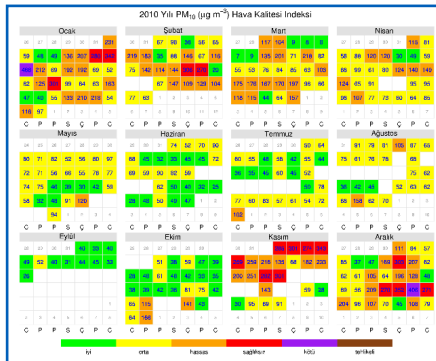
Şekil 57’de görüldüğü üzere yıllar itibari ile aşımaların HKDY Yönetmeliğinde tanımlanan 35 kez aşım sayısının %90’dan fazlası kış aylarının her birinde aşılması ilde baskın hava kirliliği kaynağında ısınmanın etkisini göstermekte olup, hava kirliliğinin azaltılmasında keskin tedbirlerin alınmasını da kaçınılmaz kılmaktadır. Aşım sayılarının haftanın günlerine göre analiz sonuçları Şekil 58’de yer almaktadır.

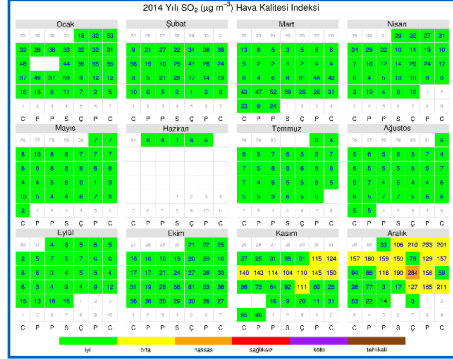
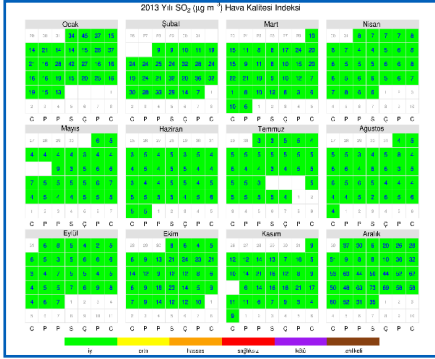
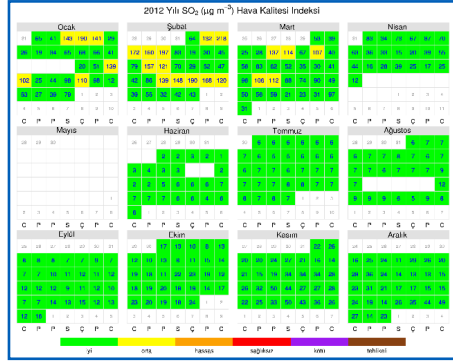
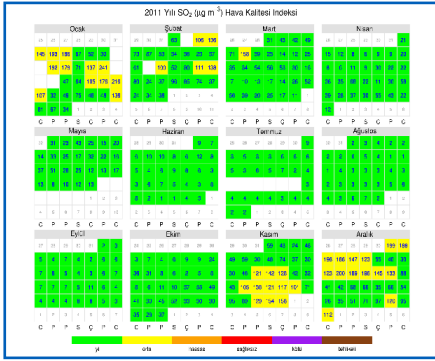
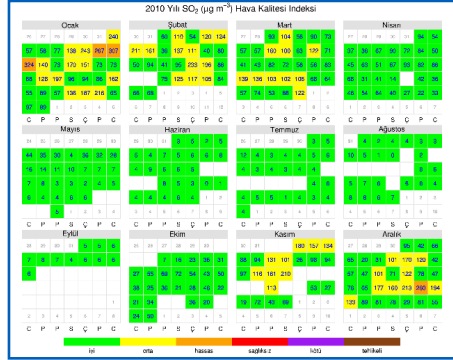
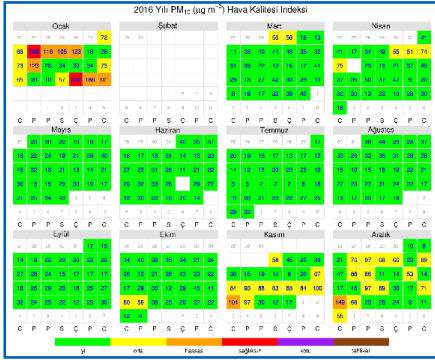


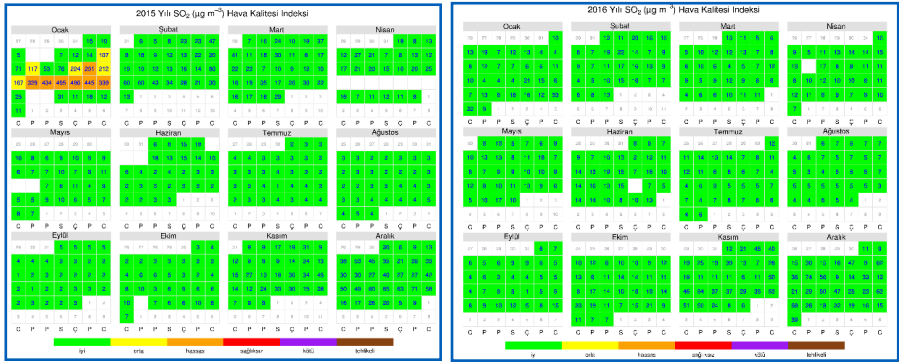
Şekil 58: Haftanın Günlerine Göre Yıllar İtibari İle Ulusal Limit Değer Aşım Sayıları Sayısı Değişim Grafiği

Şekil 58’de görüldüğü üzere yıllar itibari ile aşım sayısında günlere göre artış ve azalış olmasına rağmen genel olarak en yüksek aşımalar Salı, Çarşamba 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 59’ta verilmektedir.

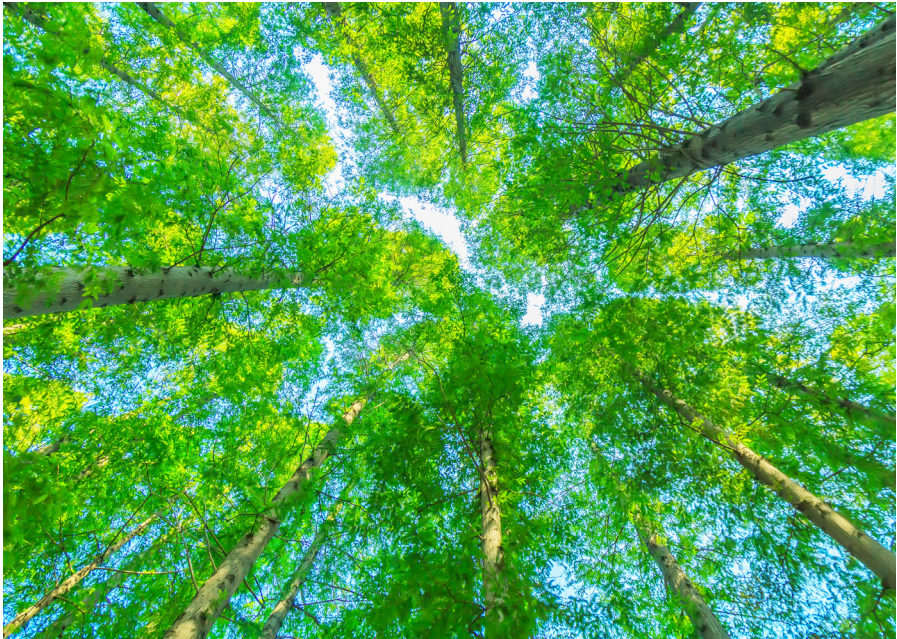






Şekil 59: Kirleticilerin Takvimsel Grafiği

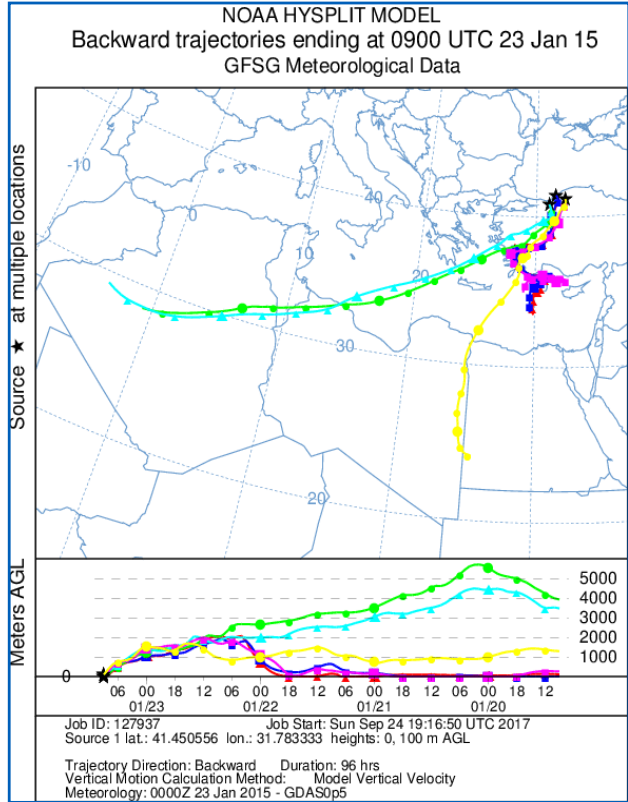
Şekil 59'da görüldüğü üzere; 2010-2016 döneminde tüm aylarda SO2 parametresi HKİ indeks değeri 0-50 aralığına tekabül eden yeşil (İYİ)'dir. PM10 parametresinde ise; yaz aylarında HKİ indeks değeri İYİ koşulunda iken, kış aylarında ise HASSAS SAĞLIKSIZ ve yer yer KÖTÜ koşulu ortaya çıkmıştır. HKİ indeks göstergesinin mevsimsel farklılıkları kaynakların etkisini bariz bir şekilde ortaya koymaktadır.



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. Kirlletici 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 kirleticilerin dağılımında önemli bir etkiyi sahip olmaktadır. Bu amaçla episot günleri incelenirken bölgenin sinoptik analizi yapılmış ve kirlletici yoğunluğunun artmasının sebepleri araştırılmıştır. Ayrıca meteorolojik parametrelerin kirlletici dağılımında hesaba katıldığı 'HYSPLIT' programı kullanılarak bölgesel ölçekteki kirliliğin kaynağı 3 günlük geri yörünge analizi yapılarak araştırılmıştır.

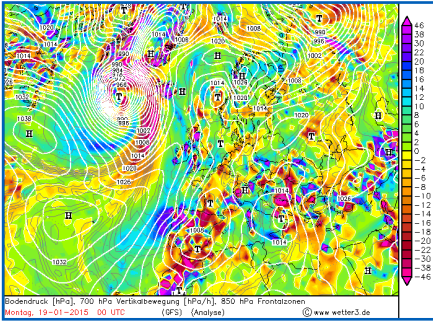
Yapılan çalışmada episot günleri seçilirken yıllara göre PM10 hava kalitesi sınır değerleri referans alınmıştır. Seçilen günlerde karşılaştırma yapılabilmesi için genellikle yaz ve kış mevsimlerine ait tarihler tercih edilmiştir. Meteorolojik parametrelerin farklılık gösterdiği yaz ve kış aylarında kirlletici



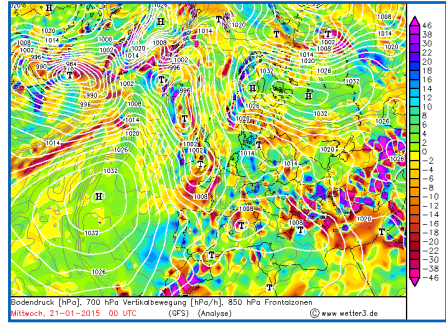
konsantrasyonunun da farklı değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Seçilen tarihler için çalışma alanları tek tek incelenmiştir ve rapora eklenmiştir. Birden fazla ilin etkilendiği periyodik günler de dikkate alınarak 19 – 23 Ocak 2015 günü episot dönemi olarak belirlenerek 3 noktalı HYSPLIT yörünge analizi 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.

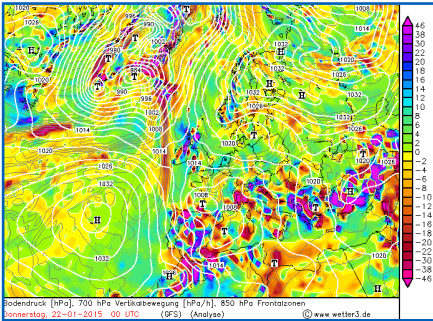
19 Ocak eş basınç



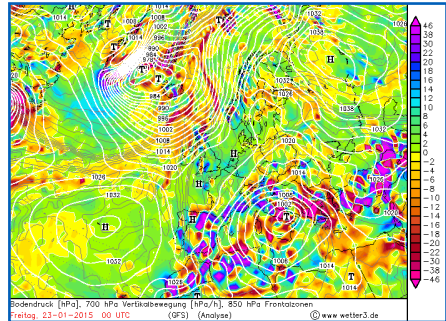
21 Ocak eş basınç



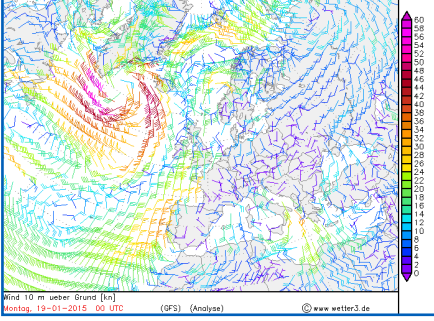
22 Ocak eş basınç



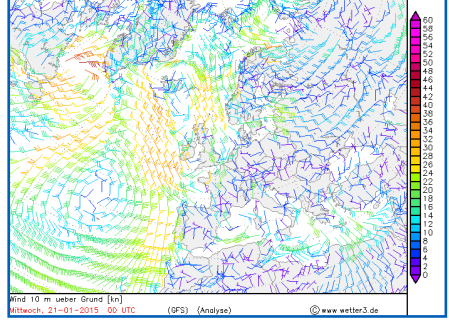
23 Ocak eş basınç



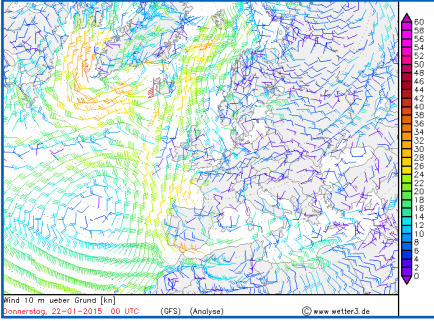
19 Ocak rüzgar



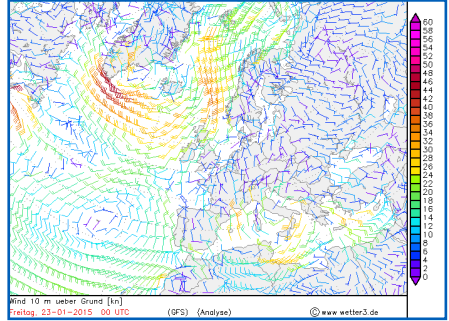
21 Ocak rüzgar



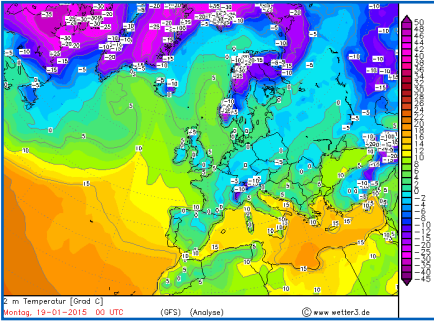
22 Ocak rüzgar



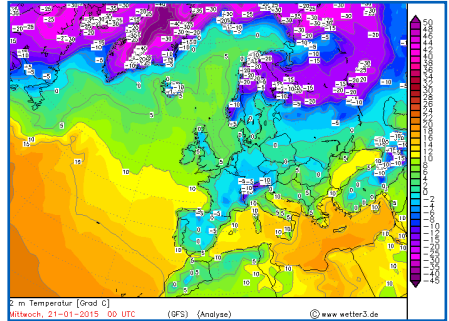
23 Ocak rüzgar



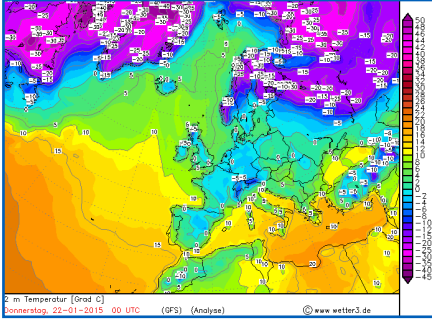
19 Ocak eş sıcaklık



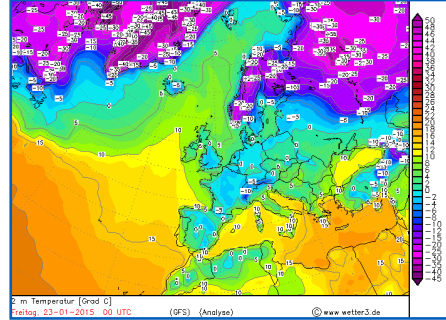
21 Ocak sıcaklık



22 Ocak sıcaklık



22 Ocak sıcaklık



6. HAVA KİRLİLİĞİNDE ETKEN KAYNAĞIN BELİRLENMESİ

2010-2016 dönemi için ortalama olarak kentsel alan oranı %71, kırsal alan oranı %29 olan Bolu ilinde yıllar itibari ile kentsel alan nüfus oranı %4 artış gösterirken 2013 yılından itibaren kırsal alan nüfusunun azalma eğilimi göstermesi, ilde hava kirliliği kaynaklarının bu düzeyde devam etmesi durumunda Hava Kalitesi Limit Değerlerinin AB normlarına çekileceği 2019 yılında sağlanmasında güçlük çekileceğini göstermektedir.

İl geneli için doğalgaz kullanan konut sayıları hesaplandığında 2011 yılında toplam konutun % 11'i doğalgaz kullanırken 2016 yılında bu oran %50'ye yükselmiştir. Bu yükseliş dolayısı ile katı yakıtında % 89'dan % 50'ye düşmesine neden olmuştur. İlde sadece Merkez ve Gerede ilçelerinde doğalgaz kullanılmaktadır. 2017 yılı itibari ile Yeniçağ ilçesine doğalgaz bağlantıları yapıldığı ve 2018 yılı sonu itibari ile de Dörtdivan İlçesine doğalgaz verilmesi Doğalgaz firmaları tarafından planlanmaktadır. Doğalgaz birim tüketimleri yıllar bazında incelendiğinde yıllar arasında farklılık göstermekle birlikte yaklaşık olarak yıllık 1100-1400 sm³ civarında olup, yıllar itibari ile tüketim miktarlarındaki değişim Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan ısınma gün derece arasındaki lineerlik ilde doğalgaz aboneliği olan konutlarda yüksek oranda kullanıldığını göstermektedir.

Merkez mahalleri bazında nüfus sıralamasına göre bakıldığında; sadece Seyit Mah. (İstasyonun 3,51 km güneybatısı), Dodurga Mah. (İstasyona 2,90 km kuzeydoğu), Ovadüzü Mah. (İstasyonun 4,17 güneydoğu), Karaağaç Mah. (0,66 güneydoğu), Kasaplar Mah. (3,72 km güneybatı), Küçükberk Mah. (2,21km Güney), Çivril Mah. (4,28 km batı), Salıbeyler Mah (2,57 km kuzey) , Sarıcalar



{2,58 km kuzey} mahallerinde katı yakıt kullanıldığı, bu mahallelerden Karaağaç Mahallesinin istasyona en yakın konumda bulunduğu, ve dolayısı ile güneydoğulu rüzgarlar hakim olduğu zaman konsantrasyonların artışına neden olabileceği tespit edilmiştir.

Meteoroloji ile ölçüm sonuçları incelendiğinde her iki kirlenici parametrenin de kış dönemlerinde yakın kaynak ve kuzeydoğu ile kuzeybatı yönündeki uzak kaynaklardan etkilendiği ayrıca ilkbahar ve sonbahar döneminde yakın kaynağın her iki kirlenici üzerinde etkisinin yanı sıra özellikle ilkbahar döneminde güney yönündeki uzak kaynağın toz parametresini etkilediği açık bir şekilde görülmektedir.

İstasyon temsil alanı içinde yer alan yakın kaynaklardan ısınmanın toz emisyonundaki katkısı % 51 iken SO₂'nin katkısı %45'dir. İstasyonun güneybatı yönünde yer alan ve yoğunlukları yüksek olan Atatürk Bulvarı, Cumhuriyet Cad. ve istasyona 400-500 m mesafedeki devlet yollarından kaynaklanan toz emisyonunun katkısı %22 iken SO₂ katkısı %23'dür.

İlde bulunan sanayi tesislerine bakıldığında ise Hava Kalitesi izleme istasyonuna mesafelerinin yaklaşık 9 km kuzeydoğu olması sebebi ile çok fazla etkisinin olabileceği düşünülmemekle birlikte istatistiksel analiz sonuçlarında özellikle kuzey ve kuzey doğulu yüksek hızlı rüzgarlarda konsantrasyonlardaki artışların kaynağı olabileceği bunun yanı sıra toz emisyonlarında arka planın 44 µg/m³ SO₂ de ise 14 µg/m³ olması kent çevresindeki kaynaklardan da bir taşınım olduğunun göstergesidir

7. KAYNAKLAR

1. Bolu 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, Bolu 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 İnversiyon 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
29. <http://airnow.gov/index>
30. https://www3.epa.gov/airnow/aqi_
31. Ankara THM Ön Değerlendirme Raporu 2014
32. cevresagligi.thsk.saglik.gov.tr



KUZEY İÇ ANADOLU
TEMİZ HAVA
MERKEZ MÜDÜRLÜĞÜ

Haymana Yolu 5. Km
Gölbaşı / ANKARA

www.csb.gov.tr

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