

# Bitlis Hava Kirliliği Emisyon Envanteri ve Sağlık Etkilerinin Çoklu Lineer Regresyonla Tahmini

Sinan Mehmet Turp<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitlis. ORCID: 0000-0002-6645-764X

## Özet

Bitlis ili topoğrafik yapısı ve coğrafik konumu nedeni ile karasal bir iklime sahiptir. Ülkemizde sıcaklık ortalaması düşük illerden biri olan Bitlis'te kışlar oldukça soğuk ve uzun geçmektedir. Uzun süren kış döneminin çok soğuk ve ağır geçmesi nedeniyle kömürün bilinçsizce ve aşırı tüketiminden dolayı en fazla hava kirliliği kış aylarında görülür. Kış aylarında kullanılan bu yakıtların neden olduğu kirletici konsantrasyonları hava kalitesi sınır değerlerini aşmamakla birlikte inversiyon etkisiyle Bitlis ili hava kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Hava kirliliğine neden olan bu gaz veya toz halindeki kirleticiler solunum sistemine zarar vermektedir. Hava kirliliğinin insan sağlığına olan etkileri maruziyet süresine ve kirletici miktarına göre değişmektedir. Son yıllarda hava kirliliğinin kısa süreli ve uzun süreli etkileriyle ilgili birçok çalışma yapılmış ve dolaşım sistemine bağlı olarak hastalık ve ölüm oranlarının arttığı gözlemlenmiştir. Bitlis Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden alınan verilere göre 2015 yılında, Bitlis iline giriş yapan kömür miktarı toplam 55.118,63 kg.'dır. 2015 yılında, hava kirliliğindeki birincil kirleticilerden SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> ve CO parametreleri sırasıyla, 1.980 kg, 176 kg, 210 kg ve 2.211 kg atmosfere deşarj edildiği hesaplanmıştır. Bu çalışmada, kirletici parametrelerin SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO ve PM<sub>10</sub> ölçüm değerlerinden yararlanılmıştır. Bitlis Sağlık İl Müdürlüğü'nden solunum ve akciğer hastalıklarından kaynaklı hastanelere başvuran hasta sayısı verileri alınmıştır. Bu verilere göre çoklu lineer regresyon yöntemi kullanılarak gelecek yıldaki hasta sayısı tahmin edilmiştir. Gerçek veriler ve tahmin verileri karşılaştırılarak R<sup>2</sup>=0,98 oranında uyum sağlanmıştır.

## Anahtar Sözcükler

Hava Kirliliği, Emisyon Envanter Hesaplama, Kirleticilerin Sağıksal Etkileri, Çoklu Lineer Regresyon Analizi

## Bitlis Air Pollution Emission Inventory and Estimation of Health Effects by Multiple Linear Regression

### Abstract

The province of Bitlis has a terrestrial climate due to its topographic structure and its geographical location. In Bitlis, which is one of the lowest temperature averages in our country, winters are quite cold and long. Due to the long cold winter and the heavy weather conditions, the highest air pollution rates are observed during the winter months because of unconscious and excessive consumption of the coal. The pollutant concentrations caused by these fuels used in the winter months do not exceed the air quality limit values but they affect the air quality of Bitlis province negatively by the effect of inversion Those pollutants such as gas or dust that cause air pollution damage the respiratory system. The effects of air pollution on human health vary according to the duration of exposure and the amount of pollutants. In recent years, a number of studies have been conducted on the short-term and long-term effects of air pollution and it has been observed that the disease and mortality rates are increasing due to the cardiovascular system. According to Bitlis Provincial Directorate of Environment and Urban Planning, the total amount of coal entering Bitlis province in 2015 is 55.118,63 kg. In 2015, the SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> and CO parameters from the primary pollutants in the air pollution were calculated to be 1.980 kg, 176 kg, 210 kg and 2.211 kg respectively. In this study, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO and PM<sub>10</sub> measurement values of pollutant parameters were utilized. The number of patients who applied to hospitals from respiratory and lung diseases was taken from Bitlis Health Directorate. According to this data, the number of patients in the next year was estimated by using multiple linear regression method. The actual data and forecast data were achieved by comparing R<sup>2</sup> = 0.98.

### Keywords

Air Pollution, Calculation of Emission Inventory, Healthy Effects of Pollutants, Multiple Linear Regression Analysis

### 1. Giriş

Bitlis ilinin yeryüzü şekillerini Van Gölü'nün güneyinde ve kuzeyinde bulunan, genellikle volkanik bir yapı gösteren dağlar ile bunların üzerindeki düzlükler belirler. İlin güneyindeki dağlar Güneydoğu Torosların uzantısı biçimindedir. Bunlar Van Gölü'nün hemen yakınından doğan akarsu vadileriyle parçalanmıştır. Bitlis İli deniz seviyesinden 1.545 metre yüksekliktedir. %71'ini dağlar, %16'sını platolar, %3'ünü yaylalar ve %10'unu da ovalar oluşturmaktadır.

Merkez ilçe dâhil olmak üzere Adilcevaz, Ahlat, Güroymak, Hizan, Mutki ve Tatvan olmak üzere toplam 7 ilçesi vardır. Bitlis ili toplam nüfusu 341.225'tir. Bitlis İli'nin kırsal alanlarında yeterli iş imkânının olmaması, miras yoluyla arazilerin bölünmesi veya çiftçilikle geçinen ailelerin toprak sahibi olamamaları, kan davası, yayla yasağı vb. il içi ve dışına göçün başlıca nedenleri arasında sayılabilir. İl'in kentleşme oranı (%51), son 4 yılda %3'lük bir azalma göstererek, ülke ortalamasının (%76) altında kalmaktadır. Bitlis'in toplam bağımlılık oranı (%75,8) olarak ülke ortalamasının (%48,9) oldukça üstünde yer almaktadır. Genç nüfusun ülke ortalamasının yaklaşık iki katı kadar olması, İl'de istihdam olanaklarının artırılmasını gerekli kılmaktadır (URL-1 2017).

Hava kirliliği; endüstriyel faaliyetler, doğal olaylar ve antropojenik kaynaklar sonucu atmosfere çeşitli kirleticilerin yayılmasıyla birlikte insan sağlığını ve ekosistemi olumsuz yönde etkileyecek konsantrasyonlara ulaşmaktadır. Hava kirleticilerini arttıran sebepler olarak; başta endüstriyel üretim, ısınma kaynaklı yakıt kullanımının artması, taşıt trafiği, sanayi kuruluşlarının şehir merkezinde düzensiz konumlandırılması, hızlı nüfus artışı ve kentleşme yer almaktadır. Artan hava kirliliği küresel ısınma, iklim değişikliği, asit yağmurları, kuraklık ve canlı sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri gibi sorunlarla sadece ülkemizde değil uluslararası önemli bir problem haline gelmiştir. Ülkemizin karasal iklime sahip bölgelerinde sert geçen kış aylarında; kullanılan yakıt miktarının artması, kalitesiz ve ucuz yakıt tercihi, doğru yakma tekniklerinin uygulanmaması hava kirliliği emisyonlarını arttıran sebepler arasında sayılabilir (Kırmhan 2006).

Renksiz bir gaz olan kükürt dioksit ( $SO_2$ ), atmosfere deşarj edildikten sonra diğer gazlarla etkileşime girerek sülfat ve sülfürik asit olarak oksitlenir. Diğer kirleticiler ile birlikte taşınan damlalar veya katı partiküller meydana gelir.  $SO_2$  ve oksidasyon ürünleri kuru ve nemli depozisyonlar (asitli yağmur) sayesinde atmosferden uzaklaştırılır. Azot oksitler ( $NO_x$ ), Azot monoksit (NO) ve azot dioksit ( $NO_2$ ), toplamı azot oksitler ( $NO_x$ ) olarak adlandırılır. Azot oksitler, çoğunlukla (%90 durumda) NO olarak deşarj edilir. NO ve  $NO_2$ 'nin ozon veya radikallerle (OH veya  $HO_2$  gibi) reaksiyonu sonucunda meydana gelir. İnsan sağlığını en çok etkileyen azot oksit türü olması itibarı ile  $NO_2$ , yerleşim bölgelerindeki en önemli hava kirleticilerinden biri olmaktadır. Azot oksit ( $NO_x$ ) emisyonları, antropojenik bir kaynaktır. Ana kaynakların başında kara, hava ve deniz trafiğindeki araçlar ve endüstriyel tesislerdeki yakma kazanları gelmektedir. İnsan sağlığına etkileri açısından, sağlıklı insanların çok yüksek  $NO_2$  derişimlerine kısa süre dahi maruz kalmaları, şiddetli akciğer tahribatlarına yol açabilir. Kronik akciğer rahatsızlığı olan kişilerin ise bu derişimlere maruz kalmaları, akciğerde kısa vadede fonksiyon bozukluklarına yol açabilir.  $NO_2$  derişimlere uzun süre maruz kalınması durumunda ise buna bağlı olarak solunum yolu rahatsızlıklarının ciddi oranda arttığı gözlenmektedir.

Toz Partikül Madde ( $PM_{10}$ ), partikül madde terimi, havada bulunan katı partikülleri ifade eder. Bu partiküllerin tek tip bir kimyasal bileşimi yoktur. Katı partiküller insan faaliyetleri sonucu ve doğal kaynaklardan, doğrudan atmosfere karışırlar. Atmosferde diğer kirleticiler ile reaksiyona girerek  $PM$ 'yi oluştururlar ve atmosfere verilirler.  $PM_{10}$ ,  $10\text{ }\mu\text{m}$ 'nin altında bir aerodinamik çapa sahiptir.  $2,5\text{ }\mu\text{m}$ 'ye kadar olan partikülleri kapsayacak yasal düzenlemeler konusunda çalışmalar devam etmektedir.  $PM_{10}$  için gösterilebilecek en büyük doğal kaynak yollardan kalkan tozlardır. Diğer önemli kaynaklar ise trafik, kömür ve maden ocakları, inşaat alanları ve taşocaklarıdır. Sağlık etkileri açısından,  $PM_{10}$  solunum sisteminde birikir ve çeşitli sağlık etkilerine sebep olabilir. Astım gibi solunum rahatsızlıklarına sebep olup, erken ölümü de içeren çeşitli ciddi sağlık etkilerine sebep olur. Astım, kronik tıkalı akciğer ve kalp hastalığı gibi, kalp veya akciğer hastalığı olan kişiler  $PM_{10}$ 'a maruz kaldığında sağlık durumları kötüleşebilir. Yaşlılar ve çocuklar,  $PM_{10}$  maruziyetine karşı hassastır.  $PM_{10}$  yardımıyla toz içerisindeki mevcut diğer kirleticiler akciğerlerin derinlerine kadar inebilir. İnce partiküllerin büyük bir kısmı akciğerlerdeki alveollere kadar ulaşabilir. Buradan da kurşun gibi zehirli maddeler %100 olarak kana geçebilir.

Karbon monoksit (CO), kokusuz ve renksiz bir gazdır. Yakıtların yapısındaki karbonun tam yanmaması sonucu oluşur. CO derişimleri, tipik olarak soğuk mevsimlerde en yüksek değere ulaşır. Soğuk mevsimlerde çok yüksek değerler ulaşılmasının bir sebebi de inversiyon durumudur. CO'nin global arka plan konsantrasyonu  $0.06$  ve  $0.17\text{ mg/m}^3$  arasında bulunur. 2000/69/EC sayılı AB direktifinde CO ile ilgili sınır değerler tespit edilmiştir (URL-1 2017).

Ege bölgesinde yapılan çalışmada alınan resmi istatistiklere ve bilimsel ölçüm sonuçlarına göre, bölgesel ölçekte hava kirleticisi kaynaklarının (sanayi, evsel ısınma ve trafik) envanter çalışması yapılmıştır. Çalışma sonuçları, bazı illerdeki verilerin eksik olması sebebiyle istenilen değerde olmayıp yurtiçinde bölgesel hava kalite belirleme çalışmaları için örnek teşkil edecek özelliktedir. Çalışma sonucunda, Ege bölgesinin tamamında (Kütahya ili hariç)  $131.904\text{ ton/yıl}$  toz (PM),  $899.831\text{ ton/yıl}$  kükürt oksit ( $SO_x$ ),  $63.323\text{ ton/yıl}$  azot oksit ( $NO_x$ ),  $18.515\text{ ton/yıl}$  metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC) ve  $18.538\text{ ton/yıl}$  karbon monoksit (CO) emisyonunun atmosfere verildiği hesaplanmıştır (Elbir vd. 2001).

Düzce ilinde yapılan başka bir çalışmaya göre; Düzce ilinin 1 Ekim-31 Mart 2015 tarihleri arasındaki hava kalitesi verilerinin haftanın günlerine, aylara ve yaz-kış sezonuna göre derişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Web Sitesi'nde Düzce'nin 1 Ekim-31 Mart 2015 tarihleri arasındaki  $PM_{10}$ ,  $SO_2$  ve rüzgâr ölçüm sonuçları alınmıştır. Çalışmada hava kirliliği derişimleri hafta, ay ve mevsimlere bağlı olarak incelenmiştir.  $PM_{10}$  ve  $SO_2$  ölçüm sonuçlarının en düşük olduğu günler cumartesi ve pazar iken, en yüksek olduğu günün çarşamba olduğu görülmüştür. Aylar arasında en yüksek  $PM_{10}$  değeri Aralık ayına ait iken, en düşük değer Ağustos ayına aittir. Aylar arasında rüzgâr hızı ortalamalarına bakıldığında en yüksek değer Temmuz ayına, en düşük değer ise Kasım ayına ait olduğu görülmüştür. Düzce'de hafta içi günlerde rüzgâr hızının düşük olduğu aylarda ve kış sezonunda kirlilik oranlarında artış görülmektedir. Rüzgâr hızının en yüksek olduğu Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında ve endüstriyel etkinlikler ile şehir içi trafik yoğunluğunun azaldığı pazar günlerinde  $PM_{10}$  değerinin en düşük düzeyde olduğu görülmüştür (İskender vd. 2015).

Şehirleşmede yanlış yer seçiminin hava kirliliği üzerindeki etkisine örnek olarak Kastamonu ilinde çalışma yapılmıştır. Çalışmada, şehrin konumu ve yerleşim düzenine bağlı olarak esen rüzgârların sirkülasyonunun kısıtlanarak, şehirde oluşan hava kirliliğinin dağılmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca fabrikalardan çıkan kirletici gazların ise hâkim rüzgâr yönü ile yerleşim merkezine doğru taşınarak inversiyon tabakası oluşturduğu görülmüştür. Sonuç olarak Kastamonu ili örnek alınarak şehirlerin ileri yönelik gelişim planları yapılırken, hava kirliliğinin engellenmesi açısından coğrafik çevre koşullarının göz önüne alınması önerisinde bulunulmuştur (İbret vd. 2009).

İstanbul ilinde, çocuk oyun parklarında partikül madde (PM<sub>2,5</sub> ve PM<sub>10</sub>) kirliliği ile ilgili yapılan inceleme de, sanayi ve taşıt emisyonlarından kaynaklanan hava kirliliğinin insan sağlığını olumsuz yönde etkilediği, çocukların ise daha fazla zarar gördüğünden bahsedilmiştir. İstanbul'da 2009 yılının Mart ve Aralık aylarında trafik yoğunluğunun fazla olduğu 5 farklı çocuk oyun parkı seçilip ölçüm istasyonları yerleştirilerek, partikül madde konsantrasyonlarına bakılmıştır. Bu ölçümler sonucunda; PM<sub>2,5</sub> ve PM<sub>10</sub> konsantrasyonları trafiğin yoğun olduğu oyun parklarında kritik boyutlarda, deniz kenarında bulunan parklarda düşük değerlerde ve orman içerisindeki parklarda ise konsantrasyonların sınır değerlerin altında kaldığı görülmüştür (Özdemir vd. 2010).

Çin'de yapılan bir çalışmada partikül madde konsantrasyonları incelenerek hava kirliliğinin insan sağlığına etkilerine bakılmıştır. Çin'de büyük bir sorun olan hava kirliliği artmakta ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu sebepten dolayı hava kirliliğini değerlendirmek amacıyla, Çin'in önemli üç şehri olan Pekin, Nanjing ve Guangzhou'da anket araştırılması yapılmıştır. Yapılan anketler sonucunda kış aylarında ve sisli günlerde hava kirliliğinin daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca anket sonuçlarının Hava Kirliliği Kontrol Eylem Planı'nın hazırlanmasında ve oluşabilecek risk seviyelerinin kontrolü açısından önemli bir etkiye sahip olması planlanmaktadır (Huang vd. 2017).

Aydın ilinin 1997-2004 yılları arasında hava kirliliğini değerlendirmeye yönelik bir çalışmada parametre olarak SO<sub>2</sub> ve PM ölçülmüştür. SO<sub>2</sub> ve duman ölçüm cihazlarıyla şehrin 14 farklı yerinde sabah saat 8-9 ve akşam saat 4-5 arasında olmak üzere 2 farklı ölçüm yapılmıştır. Bu çalışma sonucundaki veriler, önceki metotlarla kıyaslanmıştır. Ölçümler, halk sağlığı laboratuvarı tarafından yapılmıştır. Önceki veriler ise İl Sağlık Müdürlüğü Çevre Sağlığı Şubesinden alınmıştır. Sonuç olarak Aydın ilinde 1997-2004 arasındaki PM ve SO<sub>2</sub> değerleri daha önceki yıllara göre pek bir farklılık göstermemiştir. Kış mevsiminde özellikle Ocak ayında kirliliğin fazla olduğu görülmüştür. Bunu engellemek için yetkili görevliler tarafından sürekli ölçüm ve izlenimlerin yapılması gerektiği belirtilmiştir (Başar vd. 2005).

Kapalı ortam hava kirliliği derlemesinde, konutlarda ve endüstriyel faaliyetin olmadığı diğer kapalı yapılarda SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> radon, asbest ve sigara dumanının iç ortam hava kirliliğine neden olduğu, bu kirleticilerin insan sağlığına etkilerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kapalı ortam hava kirleticilerini önlemek amacıyla sigara içme yasağı getirilmesi, ısıtma ve bina yapımında kullanılan malzemelerin dikkatli seçilmesi ve insanların bu konuda bilinçlendirilmesi gerektiği üzerine durulmuştur (Soysal vd. 2007).

Türkiye'de 1990-2000 yılları arasında hava kirliliği sorununu coğrafi bölgelere göre dağılımı değerlendirilerek Türkiye şehirlerindeki hava kirliliğinin kökenleri atmosfer kirleticilerinin kaynakları ve bu kirleticilerin şehrin özelliklerine göre önem dereceleri araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucu olarak belirtilen tarihler aralığında, Türkiye bölgesel olarak hava kirliliği dereceleri verilere dayandırılarak ortaya konmuştur. İnsan sağlığını tehdit edici seviyelere ulaşan iller belirlenmiş ve gerekli önlemlerin alınması gerektiği dile getirilmiştir. Ayrıca bu kirleticilerin kaynağında azaltılması gerektiğine değinilmiştir (Garipağaoğlu 2003).

Hava kirliliği ve solunum sağlığına etkilerinin incelendiği bir çalışmada, hava kirleticilerinin insan sağlığı üzerinde akut ve kronik etkiler sonucu organ ve sistemlerin etkilendiği belirtilmiştir. Ayrıca atmosfere salınan hava kirleticilerinin atmosfer kompozisyonunu bozarak iklim değişikliklerine sebep olduğundan bahsedilmiştir (Varınca vd. 2008).

Hava kirliliği ve kardiyovasküler sistem üzerine yapılan bir çalışmada ise, havada kirliliğine neden olan partikülün insan sağlığına etkisinin partikülün fiziksel ve kimyasal yapısına göre değiştiği, 10 mikrondan büyük olan partiküllerin alveollere geçemediğinden dışarı atılırken, 10 mikrondan küçük partiküllerin alveollere geçerek kalp ve kan damarların da hastalık ve ölümlere neden olduğu belirtilmiştir (Kardeşoğlu vd. 2011).

Hava kirliliğinin insan sağlığına etkileri ile ilgili düzenlenen panelde, kış aylarında Diyarbakır ilinde sanayileşme, nüfusun artması ve çarpık kentleşmenin etkisiyle, hava kirliliğinin ciddi bir boyuta taşındığı belirtilmiştir. Ayrıca Diyarbakır'da kalitesiz ucuz yakıtların kullanımını önleyerek kalorifercilere, kazanlarda yakma tekniğine uygun yakıtların yakılmasına yönelik bilgiler verilerek, ilgili görevlilerce düzenli olarak denetimler yapılarak hava kirliliğinin önlenmeye çalışıldığı, kullanılan bu ucuz ve kalitesiz yakıtların insan ve toplum sağlığına etkilerini halka anlatılarak bilinçlendirilmesinin gerektiği belirtilmiştir (Bayram vd. 2006).

Bitlis ilinde hava kalitesini olumsuz yönde etkileyen faktörlerin başında kalitesiz kömürlerin bilinçsizce kullanılması, şehre giren kömürlerin iyileştirilme işlemlerine tabi tutulmadan yakılması ve doğru yanma tekniklerinin kullanılmaması gelmektedir. Özellikle kış aylarında hava kirliliği oranlarında ciddi bir artış olup, aşırı soğuk ikliminden dolayı yüksek miktarlarda yakılan kömüre bağlı olarak hava kalitesi olumsuz yönde etkilenmektedir. Yapılan çalışmada, Bitlis Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden alınan kömür verileri doğrultusunda, Bitlis iline giren kömürlerin oluşturduğu hava kirliliğinde etkili olan birincil kirleticiler (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> ve CO) hesaplanarak, ısınmadan kaynaklanan kirletici konsantrasyonları bulunmuştur. Bitlis Sağlık İl Müdürlüğü'nden 2015 yılında solunum ve akciğer hastalıkları şikayeti ile başvuruda bulunan hasta sayısı ile bu kirletici konsantrasyonlarına, çoklu lineer regresyon yöntemi uygulanarak gerçek hasta sayısı ve tahmin edilen hasta sayısı karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Kış mevsiminde ısınma amaçlı kullanılan yakıtlar, Türkiye’de kentlerde hava kalitesini düşürmektedir. Bitlis’te kış aylarında kömür kullanılması sebebiyle hava kirliliği etkisini göstermektedir. Topografik yapısı, atmosferik koşulları, konut sayısının fazlalığı ve sıkışıklığı, Bitlis’te hava kirliliğinin artması açısından iyi bir zemin oluşturmaktadır. 2013/37 sayılı Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Genelgesinde Ek IV’de Bitlis ili için emisyon envanter hazırlama tarihi 2017 yılının Aralık ayı olarak belirtilmekte olup, bakanlığın önceden yayınladığı emisyon envanteri kılavuzuna göre hazırlanmıştır. Bu çalışmada, emisyonların hesaplanması için aşağıdaki basamaklar izlenmiştir;

- Bu makalede yakıt olarak kömür kullanıldığından ve yakma prosesi olarak, kömür tüketimi için soba ve orta boy kazan (50 kW– 1 MW), doğalgaz yakımı içinde <50 kW’ın altında olan küçük kazan (kombi) kullanıldığından emisyon faktörleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 2’de gösterilen 2015 yılına ait tüketilen kömür miktarları Bitlis Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden alınmıştır.
- Emisyon envanterinin oluşturulması aşamasında yapılan hesaplamalarda, ülkemize ait bir standart olmadığı için Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından yayınlanan Emisyon Envanteri Kılavuz Kitabı’nda ve Sera Gazı Raporu’nda bulunan emisyon faktörleri değerlerinden faydalanılmıştır. 09.09.2013 tarihli ve 2013/37 sayılı Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Genelgesi kapsamında Bitlis İli Temiz Hava Eylem Planı’ndan yararlanılmıştır. 2016 yılı Bitlis İli Çevre Durum Raporundan da faydalanılmıştır.
- Kömür ile ilgili emisyon faktörleri tablolarında, SO<sub>2</sub> emisyon faktörü değeri hesaplanırken kömürün kükürt içeriğinin % 1.2 ve alt ısı değeri 5.731 kcal/kg olduğu varsayılmıştır. Ancak, Bitlis’te kullanılan kömürün çeşitleri ve özellikleri bu değerlerden farklılık göstermektedir. Bu nedenle, Bitlis’te kullanılan kömürlere ait SO<sub>2</sub> emisyon faktörü hesaplanırken Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’nde verilen ithal kömür için alt ısı değeri (AID): 4.800kcal/kg ve içerdiği kükürt (S): %2 değerleri kullanılmıştır. Ayrıca, Avrupa Çevre Ajansı’na ait kitapta, Bitlis iline ait değerler aşağıdaki Eşitlik (1)’e konularak, yerli ve/veya ithal katı yakıt (kömür) için SO<sub>2</sub> emisyon faktörleri hesaplanmıştır.

$$EF_{SO_2,k} = 2 \cdot \overline{C_{s,k}} \cdot (1 - \overline{\alpha_{s,k}}) \cdot \frac{1}{H_k} \cdot 10^6 \quad (1)$$

EF<sub>SO<sub>2</sub>,k</sub> = k tipi yakıtlar ve SO<sub>2</sub> için Emisyon Faktörü (g/GJ)

C<sub>sk</sub> = k tipi yakıtta ortalama kükürt miktarı (kütleli S/kütleli yakıt [kg/kg])

H<sub>k</sub> = k tipi yakıt için ortalama alt ısı değeri [MJ/kg]

$\overline{\alpha_{s,k}}$  = külde tutulan ortalama kükürt. Ulusal verilerde olmadığından bu değer 0.1 olarak alınmıştır.

Tablo 1: İthal ve yerli kömür için emisyon faktörleri

| Kirleticiler     | İthal Kömür İçin Emisyon Faktörleri (Kg/Ton) |                                          | Yerli Kömür İçin Emisyon Faktörleri (Kg/Ton) |                                          |
|------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|
|                  | Soba                                         | Orta boy kazanlar (50 kW ile 1 MW arası) | Soba                                         | Orta boy kazanlar (50 kW ile 1 MW arası) |
| SO <sub>2</sub>  | 1717.98                                      | 17.98                                    | 35.93                                        | 35.93                                    |
| NO <sub>2</sub>  | 2.68                                         | 4.28                                     | 2.01                                         | 3.21                                     |
| PM <sub>10</sub> | 1212.04                                      | 5.08                                     | 9.03                                         | 3.81                                     |
| CO               | 13133.76                                     | 53.50                                    | 100.32                                       | 40.13                                    |

Tablo 2: 2015 Yılı Bitlis’te kullanılan kömür miktarları (kg)

| Aylar (2015)          | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | TOPLAM |
|-----------------------|------|-------|------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|--------|
| Kömür Miktarları (kg) | 4232 | 3965  | 4232 | 3254  | 5353  | 3296    | 4009   | 3421    | 5076  | 8687 | 5610  | 3977   | 55118  |

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Emisyon Hesaplanması

Kış mevsiminde ısınma amaçlı kullanılan yakıtlar, Türkiye’de kentlerde hava kalitesini düşürmektedir. Bitlis’te kış aylarında kömür kullanılması sebebiyle hava kirliliği etkisini daha fazla göstermektedir. Topografik yapısı, atmosferik koşulları, konut sayısının fazlalığı ve sıkışıklığı, Bitlis’te hava kirliliğinin artması açısından iyi bir zemin oluşturmaktadır. Bu çalışmada, emisyonların hesaplanması için aşağıdaki basamaklar izlenmiştir. Yapılan çalışmada, fuel-oil, linyit, odun, vb. yakıtlar dahil edilmemiş, sadece kömür tüketimleri ile ilgili veriler toplanmıştır. Noktasal kaynaklı birçok kirlletici emisyonu, emisyon faktörleri yakıt tüketimi verileri ile hesaplanmıştır. Yakıt sarfiyatı, enerji kullanımı istatistiklerine göre tahmin edilir ve tera-joules olarak belirlenir. Kütle ve hacmi bilinen yakıt tüketim verileri ilk olarak, enerji sabitine dönüştürülür. Birimlerdeki yakılmış yakıt miktarı, etken girdi şeklinde kullanılır (Eşitlik 2).

$$E = A \cdot E_f \cdot ((1 - E_r)/100) \quad (2)$$

E: Emisyon

A: Aktivite sabiti

$E_f$ : Emisyon faktörü

$E_r$ : Toplam Emisyon verimi (%)

EEA’nın Tier-2 yöntemi, emisyon faktörlerinin hesaplanmasında verilere uygun olarak seçilmiştir. Ayrıca IPCC’nin Tier-1 yöntemi ise sera gazı emisyon faktörleri için tercih edilmiştir (Sonsuz vd. 2011). Hesaplamalar doğrultusunda 2015 yılına ait aylık emisyon değerleri, bulgular ve tartışma bölümünde Tablo 4 ‘te verilmiştir.

### 2.2.2. Çoklu Lineer Regresyon

Doğrusal regresyonun kullanışlı bir uzantısı, y’nin iki veya daha çok bağımsız değişkenin doğrusal fonksiyonu olduğu durumdur (Eşitlik 3).

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n + e \quad (3)$$

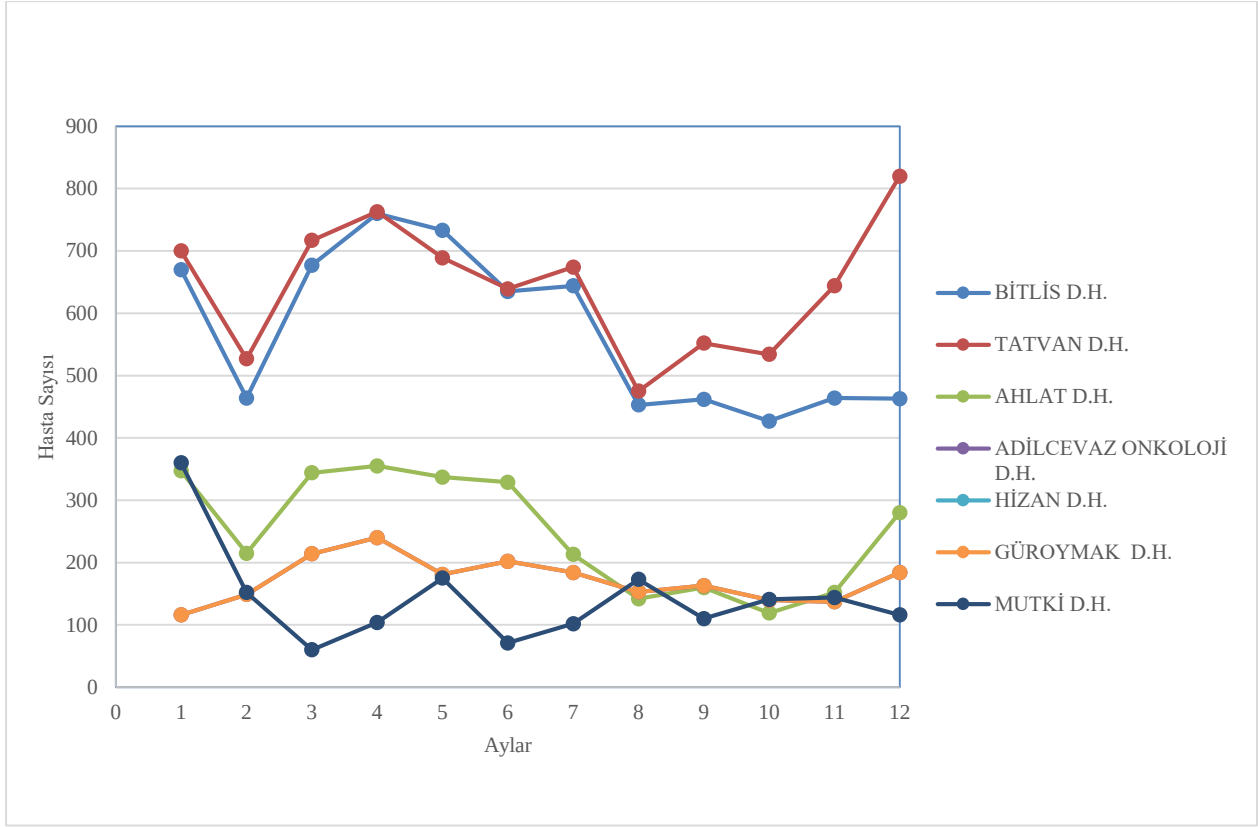
Denklemden (Eşitlik 3), incelenen değişken diğer iki değişkenin bir fonksiyonu olduğunda, deneysel verilere eğri uydurmak için kullanılmaktadır. Bu iki boyutlu durum için regresyon “doğrusu” bir “düzleme” dönüşmektedir. Daha önceki durumlarda olduğu gibi, katsayıların “en iyi” değeri, artıkların karelerinin toplamı yardımıyla belirlenir (Eşitlik 4)

$$S_r = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i)^2 \quad (4)$$

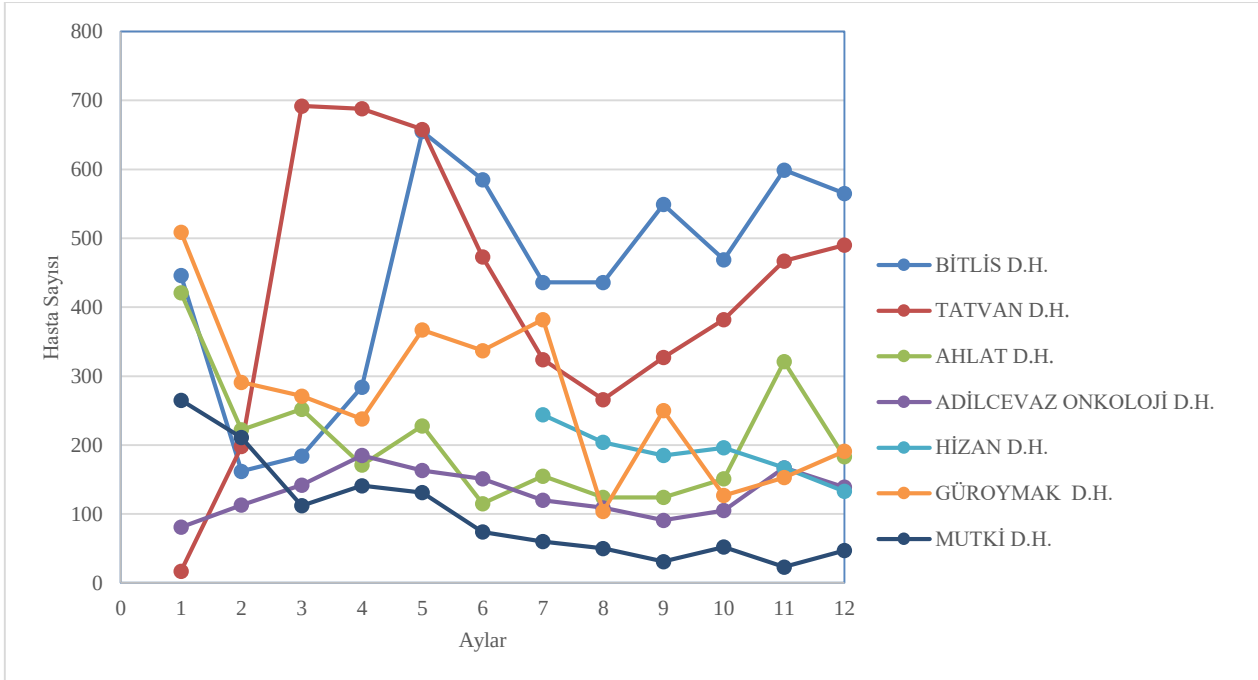
Buradaki fonksiyonda,  $a_0$  SO<sub>x</sub> verilerini,  $a_1$  NO<sub>x</sub> verilerini,  $a_2$  PM<sub>10</sub> verilerini,  $a_3$  CO verilerini,  $a_4$  hastanelere başvuruda bulunan hasta sayılarını, e ise ÇLR’da kesme verisi ve  $f(x)$  çıkış verisi olarak tahmin verisini, hasta sayısını kapsamaktadır. ÇLR modelleri genellikle tahmin verileri ile birlikte, yukarıda bahsi edilen kirlletici konsantrasyonların aralarındaki ilişki değerlerini de vermektedir. ÇLR modelinde giriş verisi olarak kirlletici değerleri ve hastanelere başvuruda bulunan hasta sayıları tanıtılmıştır. Elde edilen tahmin verileri ile gerçek veriler Şekil 6’da karşılaştırılmıştır (Chapra vd. 2003).

### 2.2.3. Sağlık Verilerinin Temini

Bitlis ve ilçelerinden 2012- 2015 yıllarına ait akciğer solunum rahatsızlığı (KO-AH, Astım, vb.) geçiren ve devlet hastanelerine (D.H.) başvuran hasta sayıları Bitlis İl Sağlık Müdürlüğü’nün alınmıştır. Veriler, Şekil 1-4’te verilmiştir.

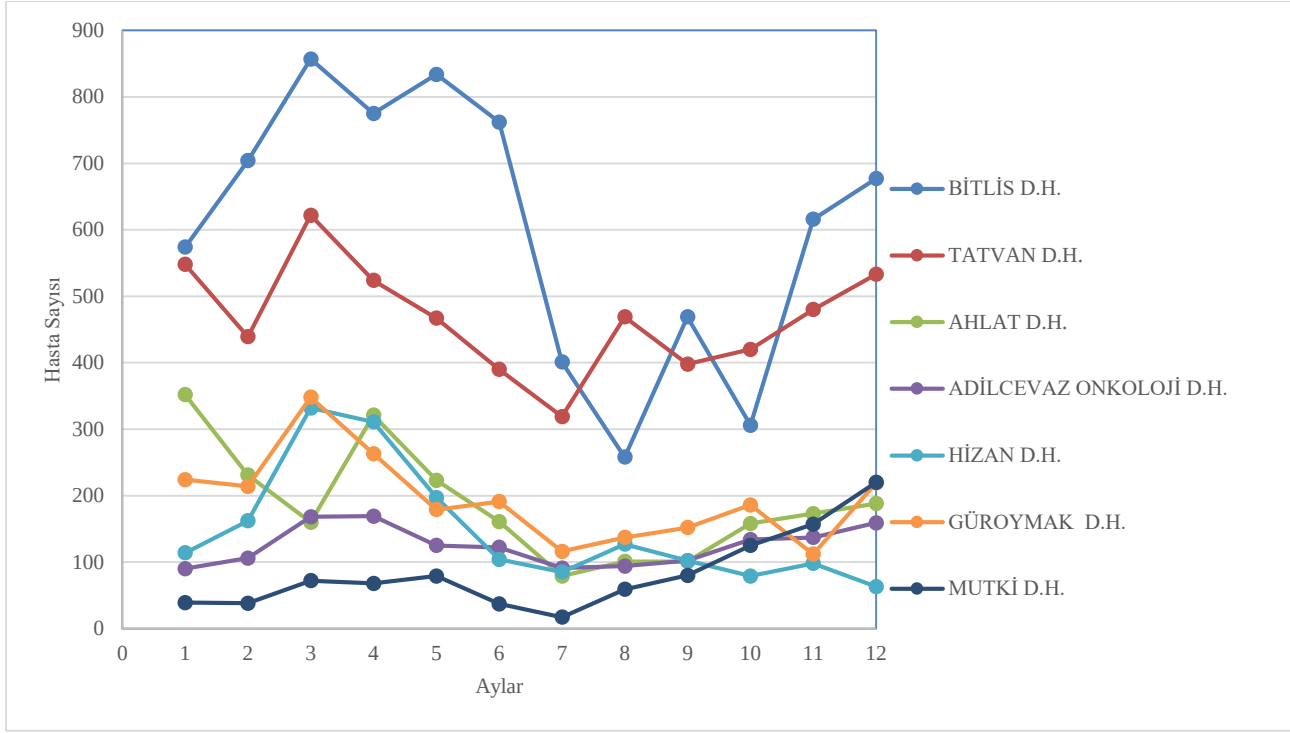


Şekil 1: 2012 yılında aylara ve ilçelere göre Bitlis ili Devlet Hastanelerine başvuran hasta sayıları

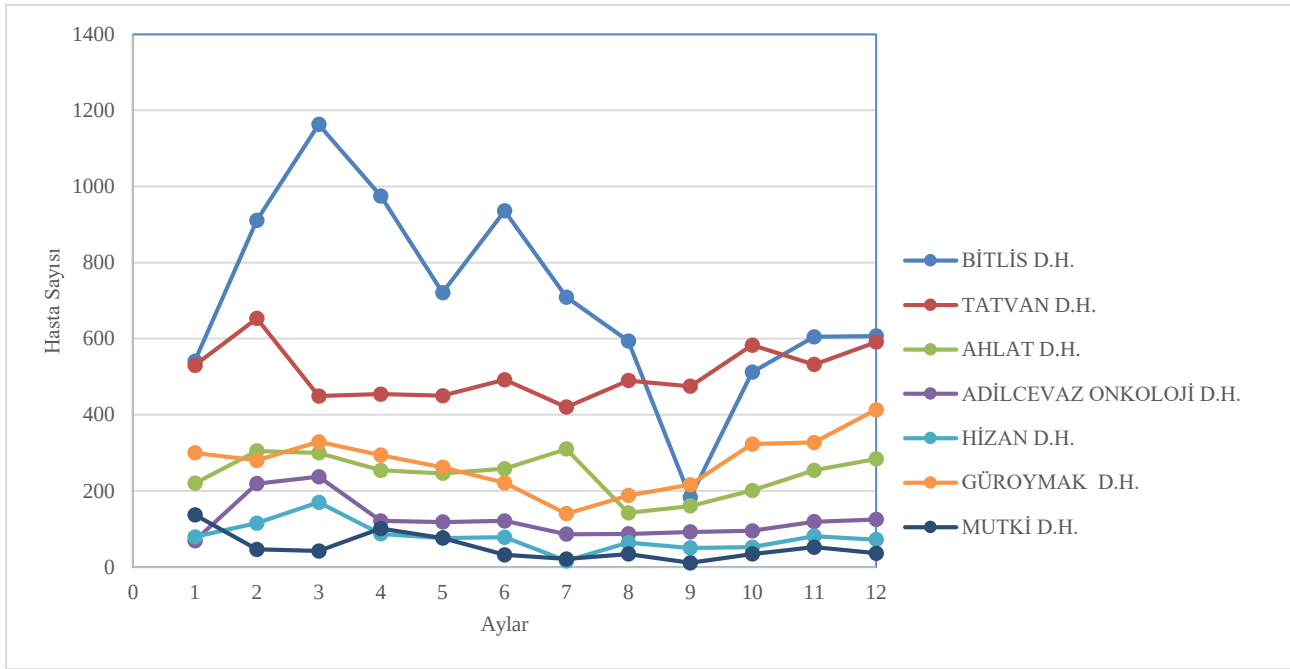


Şekil 2: 2013 yılında aylara ve ilçelere göre Bitlis ili Devlet Hastanelerine başvuran hasta sayıları





Şekil 3: 2014 yılında aylara ve ilçelere göre Bitlis ili Devlet Hastanelerine başvuran hasta sayıları



Şekil 4: 2015 yılında aylara ve ilçelere göre Bitlis ili Devlet Hastanelerine başvuran hasta sayıları

### 3. Bulgular ve Tartışma

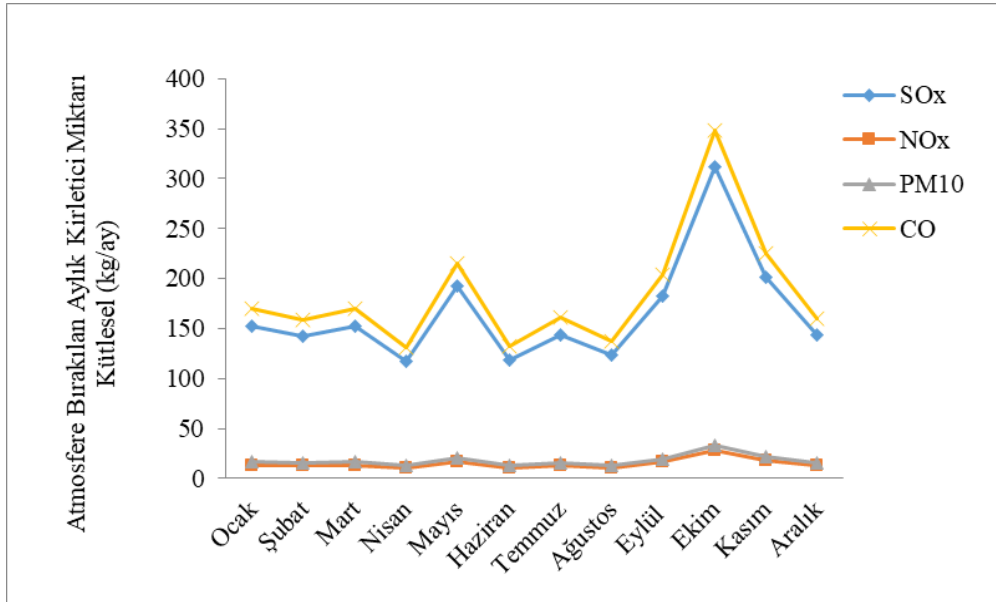
Bitlis iline ait, 2015 yılı atmosfere deşarj edilen aylık kirletici miktarları Şekil 5'de belirtilmiştir. Atmosfere salınan kirletici miktarının artmasına bağlı olarak soğuk havanın Ekim ayında etki gösterdiği söylenebilir. Meteoroloji genel müdürlüğünden alınan verilere göre Bitlis ilinde ortalama en düşük sıcaklık Ekim ayında başlamakta olup, yıl boyunca görülen artışlar ve azalmalar, hava durumu ve sıcaklık farklarına göre değişmektedir (Tablo-3). Buna göre sıcaklık düşmelerinden kaynaklanan kömür tüketimi, hava kirliliğini olumsuz yönde etkileyerek aynı zamanda hastaneye akciğer hastalıkları sebebiyle başvuruda bulunan hastaların sayısı da doğru orantılı olarak artmaktadır (Şekil 1-4). Hesaplanan emisyon değerlerinden faydalanılarak ve kullanılan kömür miktarına bağlı olarak 2015 yılında solunum ve akciğer

rahatsızlıkları nedeniyle Bitlis ilinde merkez ve ilçelerde hastanelere başvuran hasta sayısı çoklu lineer regresyon yöntemiyle hesaplanmış, gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Korelasyonun 0.992778 olarak hesaplanmış ve  $R^2=0.98$  uyum sağlamıştır (Şekil 6).

Tablo 3: Bitlis İline ait en düşük ve en yüksek sıcaklıklar (Ölçüm Periyodu: 1963- 2017)

| Bitlis                  | Ocak  | Şubat | Mart  | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Yıllık       |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|--------------|
| En Yüksek Sıcaklık (°C) | 15.10 | 21.90 | 23.00 | 27.80 | 29.40 | 34.00   | 38.0   | 37.4    | 35.5  | 30.2 | 22.0  | 15.60  | <b>38.00</b> |
| En Düşük Sıcaklık (°C)  | -24.1 | -22.0 | -20.7 | -15.6 | -2.5  | 1.0     | 7.0    | 7.0     | 1.80  | -6.0 | -17.0 | -21.9  | <b>-24.1</b> |

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmi internet sitesi (Erişim Tarihi: 18.05.2018)



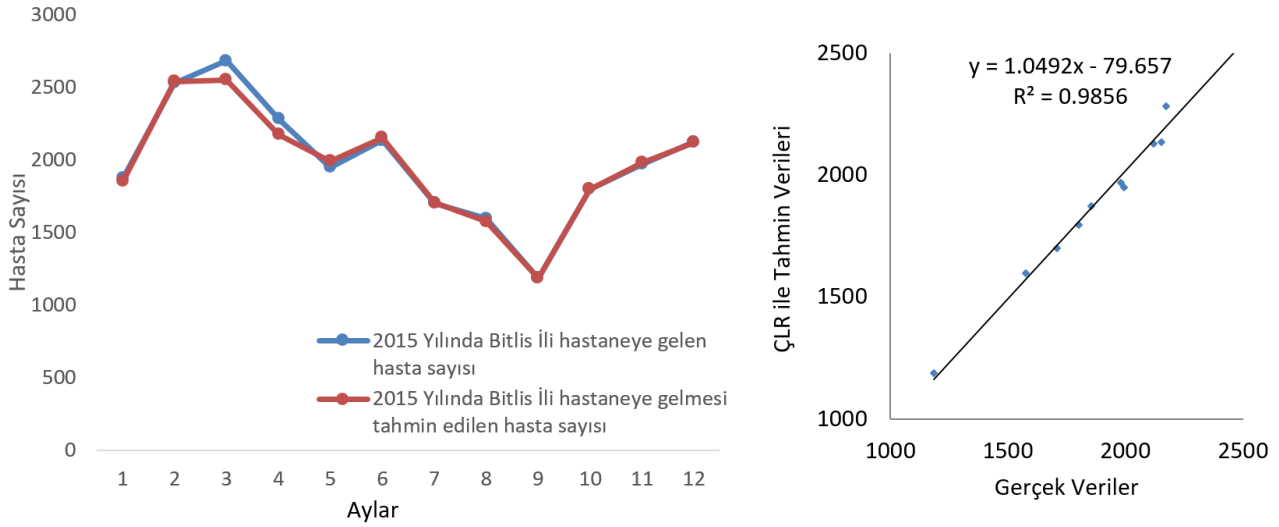
Şekil 5: Bitlis ili 2015 yılında aylara göre birincil kirleticilerin atmosfere dağılımı

Tablo 4: 2015 yılına ait emisyon envanteri (kg/ay)

| 2015 Yılına ait Emisyon Envanteri | SO <sub>x</sub> | NO <sub>x</sub> | PM <sub>10</sub> | CO              |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Ocak                              | 152.084         | 13.58724        | 16.12691         | 169.8617        |
| Şubat                             | 142.4844        | 12.72961        | 15.10898         | 159.14          |
| Mart                              | 152.084         | 13.58724        | 16.12691         | 169.8617        |
| Nisan                             | 116.9459        | 10.44799        | 12.40089         | 130.6162        |
| Mayıs                             | 192.3539        | 17.18498        | 20.39712         | 214.839         |
| Haziran                           | 118.4552        | 10.58284        | 12.56094         | 132.3019        |
| Temmuz                            | 144.0541        | 12.86985        | 15.27543         | 160.8932        |
| Ağustos                           | 122.923         | 10.98199        | 13.0347          | 137.292         |
| Eylül                             | 182.3921        | 16.29498        | 19.34077         | 203.7126        |
| Ekim                              | 312.1374        | 27.88648        | 33.0989          | 348.6244        |
| Kasım                             | 201.5913        | 18.01024        | 21.37664         | 225.1561        |
| Aralık                            | 142.907         | 12.76737        | 15.15379         | 159.612         |
| <b>TOPLAM</b>                     | <b>1980.412</b> | <b>176.9308</b> | <b>210.002</b>   | <b>2211.911</b> |



Emisyon envanteri değerleri ve aylık Bitlis Devlet Hastanelerine başvuruda bulunan hasta sayısı ÇLR ile istatistiksel olarak değerlendirilerek bir tahmin kümesi oluşturulmuş ve gerçek değerlerle tahmin verileri Şekil 6'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 6: 2015 yılına ait Bitlis İli hastanelerine gelen hasta sayısı ve çoklu lineer regresyon yöntemi ile 2015 yılında hastaneye gelmesi tahmin edilen hasta sayısı

Bitlis Çevre İl Müdürlüğü'nden alınan 2015 yılına ait Bitlis İli kömür miktarları aylık kullanımı ile 2015 yılına ait Bitlis ili hastanelerine akciğer rahatsızlığı ile gelen hasta sayılarının çok lineer regresyon yöntemine ilişkin performans göstergesi Şekil 6'da gösterilmiştir.

#### 4. Sonuç

Bitlis İlinde kış aylarının uzun sürmesi ayrıca yaz aylarında da sıcak su temini için kömür kullanılması yıl boyunca hava kirliliği emisyonuna neden olmaktadır. Bitlis Çevre İl Müdürlüğü'nden alınan 2015 yılına ait Bitlis İli kömür miktarları verilere göre kömür kullanımı yaklaşık 55 tona kadar ulaşmaktadır. Kömür miktarlarına göre emisyon envanteri oluşturulurken Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından yayınlanan Emisyon Envanteri Kılavuz Kitabı'nda ve Sera Gazı Envanter Raporu'nda bulunan emisyon faktörleri değerlerinden faydalanılmıştır. Yakma sistemi olarak soba ve orta boy kazan (50kw-1 MW) emisyon faktörleri, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> ve CO olarak yer almaktadır. Buna göre kirletici emisyon envanteri hesaplanmıştır.

Bitlis ilinde özellikle kış aylarında kükürt dioksit oranında ciddi bir artış vardır. Ancak bu verileri Hava Kalitesi İzleme ağındaki veriler ile karşılaştırıldığında ilin hava kalitesi indeksi yeterli ve iyi görünmektedir. İl'deki hava kirliliğinin en az seviyeye indirmek için şehre doğalgaz şebekesi kurulması planlanarak proje çalışmalarına başlanmıştır. Hava kirliliğinin kontrol altına alınabilmesi için kış aylarında ısınma amaçlı kullanılan kömür kalitesinin kontrol altına alınması, kirlilik düzeylerinin daha sık ölçülmesi ve izlenimlerinin yapılması gerekmektedir. Bitlis ili 2015 yılında elde edilen tüm hava kirliliği ölçüm değerleri incelendiğinde soğuk geçen kış aylarında sınır değerlerin aşıldığı görülmüştür. Hava kirliliği göstergelerinden SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> ve CO değerlerinin yüksek olması, ısınma amaçlı kullanılan yakıtların kalitesinden kaynaklanmaktadır.

Bitlis ilinde son yıllarda artan hava kirliliği parametrelerinde görülen artışlar insan sağlığına tehdit yaratmaktadır. Özellikle kış aylarına üst solunum yolu rahatsızlığı ile hastaneye başvuran hasta sayısında artışlar görülmektedir. Her bir kirleticinin 2015 yılında aylık değerleri ifade edilmiştir. Kirletici değerleri, kış aylarında çok yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Şehir üzerinde oluşan kirli hava nefes alınmasını güç duruma getirmekte ve insan sağlığını ciddi anlamda tehdit etmektedir.

Ayrıca kullanılan kömür miktarına bağlı olarak hastanelere başvuruda bulunan hasta sayısı çoklu lineer regresyon yöntemi uygulanarak gerçek değerlerle karşılaştırılmış ve %98 oranında uyum sağlamıştır. Bu çalışmada, Bitlis İli'nde ısınmadan kaynaklı hava kirliliği envanter hesaplaması ile kirletici seviyelerinin ne kadar yüksek olduğunu verilerle açıklanmıştır. Sanayi bölgesi olmamasına rağmen sadece ısınmadan kaynaklanan hava kirliliği kullanılan kömürün kalitesizliğinden dolayı Bitlis İlinde çok büyük bir problem haline gelmektedir. Bu çalışmadan sonrasında yapılacak çalışmalar, kaynak olarak kullanılabilir ve hava kalitesini iyileştirmek için ileriye yönelik planlamalara yol gösterebilir.

## Kaynaklar

- Başar P., Okyay P., Ergin F., Coşan S., Yıldız A., (2005), *Aydın ili kent merkezinde hava kirliliği*, ADÜ Tıp Fakültesi Dergisi, 6(3), 11-15.
- Bayram H., Dörtbudak Z., Evyapan Fişekçi F., Kargın M., Bülbül B., (2006), *Hava kirliliğinin insan sağlığına etkileri, dünyada, ülkemizde ve bölgemizde hava kirliliği sorunu*, Dicle Tıp Dergisi, 33(2), 105-112.
- Chapra S.C., Canale R.P., (2003), *Mühendisler İçin Sayısal Yöntemler*, Literatür Yayıncılık, 1004ss.
- Elbir T., Müezzinoğlu A., Bayram A., Seyfioğlu R., Demircioğlu H., (2001), *Ege bölgesi hava kirletici emisyon envanteri*, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 3(2), 21-27.
- Garipağaoğlu N., (2003), *Türkiye’de hava kirliliği sorununun coğrafi bölgelere göre dağılımı*, Doğu Coğrafya Dergisi, 8(9), 57-77.
- Huang L., Rao C., Kuijp T.J., Bi J., Liu Y., (2017), *A comprasion of individual exposure, perception, and acceptable levels of PM<sub>2,5</sub> with air pollution policy objectives in China 2017*, Environmental research, 157, 78-86.
- İbret B.Ü., Aydınöz D., (2009), *Şehirleşmede yanlış yer seçiminin hava kirliliği üzerine olan etkisine bir örnek: Kastamonu şehri*, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi, 18, 71-88.
- İskender S., Bolu F., Yılmaz M., Mayda A.S., (2015), *Düzce hava kalitesi izleme istasyonu 1 Ekim 2011-31 Mart 2015 tarihleri arasındaki verilerinin incelenmesi*, Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(3), 161-167.
- Kardeşoğlu E., Yalçın M., Işılak Z., (2011), *Hava kirliliği ve kardiyovasküler sistem*, TAF Preventive Medicine Bulletin, 10(1), 97-106.
- Kırımhan S., (2006), *Hava kirliliği ve kontrolü*, Turhan Kitabevi, Ankara, 400ss.
- MGM, (2018), Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=BITLIS>, [Erişim 18 Mayıs 2018].
- Özdemir H., Borucu G., Demir G., Yiğit S., Ak N., (2010), *İstanbul’daki çocuk oyun parklarında partikül madde (PM<sub>2,5</sub> ve PM<sub>10</sub>) kirliliğinin incelenmesi*, Ekoloji 20, 77, 72-79.
- Sonsuz B., Kargioğlu A.F., Şıpka M., Oruç M.M., Hepşen Ö., Selvi E., Mustak H., Kargı H., Karafazlıoğlu M., (2011), *Adapazarı ilçesindeki endüstriyel kaynaklı emisyonların envanterlenmesi*, Lisans Bitirme Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Soysal A., Demiral Y., (2007), *Kapalı ortam hava kirliliği*, TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 6(3), 221-226.
- URL-1, (2017), *Bitlis İli 2016 Yılı Çevre Durum Raporu*, T.C. Bitlis Valiliği, Bitlis Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, <http://webdosya.csb.gov.tr/db/bitlis/icerikler/2016-cevre-durum-raporu-20180226094608.pdf>, [Erişim 11 Temmuz 2018].
- Varınca K.B., Güneş G., Ertürk F., (2008), *Hava kirleticilerinin insan sağlığı ve iklim değişikliği üzerine etkileri*, Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu (UHAKS), 30-31 Mayıs, Konya, ss.161-168.