

**HAVA KİRLİLİĞİ ZAMAN SERİLERİNİN
ÖNGÖRÜ AMACIYLA ANALİZİNDE ARIMA
MODELLERİ VE BİR UYGULAMA**

Atilla YILMAZ
(Yüksek Lisans Tezi)

Eskişehir, 2004

**HAVA KİRLİLİĞİ ZAMAN SERİLERİNİN ÖNGÖRÜ AMACIYLA ANALİZİNDE
ARIMA MODELLERİ VE BİR UYGULAMA**

Atilla YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İşletme Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ahmet ÖZMEN**

**Eskişehir
Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
Temmuz 2004**

YÜKSEK LİSANS TEZ ÖZÜ

HAVA KİRLİLİĞİ ZAMAN SERİLERİNİN ÖNGÖRÜ AMACIYLA ANALİZİNDE ARIMA MODELLERİ VE BİR UYGULAMA

Atilla YILMAZ

İşletme Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Haziran 2004

Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet ÖZMEN

Bu çalışmada Ocak 1988-Haziran 2003 tarihleri arasında Eskişehir ilindeki hava kirlilik verileri derlenerek, ARIMA modelleri yardımıyla öngörü yapılmıştır.

Üç bölümden oluşan çalışmanın birinci bölümünde hava kirliliği hakkında genel bilgi verilmiştir. Havayı kirleten faktörler, kirletici çeşitleri, kirleticilerin etkileri, yakıt türleri bu bölümde ele alınan konulardır.

İkinci bölümde, zaman serisi özellikleri, zaman serilerine ilişkin sınıflandırma ve ARIMA modellerine ilişkin bilgiler verilmiştir. Ayrıca zaman serisi çözümlemesinde ARIMA modellerinin kullanılması hakkında bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise, ARIMA modelleri yardımı ile Eskişehir ilindeki ön dönem hava kirlilik değerleri öngörülmüştür.

ABSTRACT

In this study, a forecasting is made using the ARIMA models on the air pollution data collected in Eskişehir province for the period of January 1988-June 2003.

In the first chapter, a literature on air pollution is introduced. Among the topics addressed are air polluting factors, type of polluters, the effects of polluters and type of fuels.

In the second chapter, a related literature on characteristics of time series, classifications of time series and ARIMA models is introduced.

In the third chapter preliminary period air pollution values in Eskişehir is forecasted using ARIMA models.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Atilla YILMAZ'ın "Hava Kirliliği Zaman Serilerinin Öngörü Amacıyla Analizinde Arıma Modelleri ve Bir Uygulama" başlıklı tezi 7 Temmuz 2004 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, İşletme (Sayısal Yöntemler) Anabilim Dalında, yüksek lisans tezi olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Prof.Dr.Ahmet ÖZMEN
Üye : Yrd.Doç.Dr.Harun SÖNMEZ
Üye : Yrd.Doç.Dr.Zeki YILDIZ


Prof.Dr. Nuhhan AYDIN
Anadolu Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında yaptığı katkılardan dolayı, sabrı ve anlayışı için değerli hocam Prof. Dr. Ahmet ÖZMEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Sevgilerini her zaman arkamda hissettiğim aileme ve emeği geçen herkese sonsuz teşekkürler.

Temmuz 2004

Atilla YILMAZ

İÇİNDEKİLER

ÖZ	ii
ABSTRACT	iii
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	iv
ÖNSÖZ	v
ÖZGEÇMİŞ	vi
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

TEMİZ HAVA VE HAVA KİRLİLİĞİ

1. TEMİZ HAVA VE TEMİZ HAVAYI BOZAN FAKTÖRLER	4
1.1. Temiz Havanın Özellikleri	4
1.2. Temiz Havayı Bozan Faktörler	5
1.2.1. Doğal Kaynaklar	6
1.2.2. Yapay Kaynaklar	6
1.2.2.1. Eysel Isınma	7
1.2.2.2. Endüstriyel Prosesler	8
1.2.2.3. Motorlu Taşıtlar	10
2. HAVA KİRLİLİĞİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	10
2.1. Hava Kirliliğinin Tanımı	11
2.2. Hava Kirlilik Terimleri	12
2.3. Hava Kirliliğine Sebep Olan Bazı Etkenler	14
3. KİRLİLETİCİ ÇEŞİTLERİ VE ETKİLERİ	14
3.1. Kirletici Çeşitleri	14
3.1.1. Kükürt Oksitleri (SO _x)	15
3.1.2. Partikül Madde (PM)	16
3.1.3. Azot Oksitleri (NO _x)	17
3.1.4. Karbonmonoksit (CO)	17
3.1.5. Hidrokarbonlar (HC)	18
3.2. Kirleticilerin Etkileri	18
3.2.1. İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri	19
3.2.2. Bitki ve Hayvan Üzerindeki Etkileri	19
3.2.3. Eşyalar Üzerindeki Etkileri	20
4. YAKIT TÜRLERİ VE ETKİLERİ	20
4.1. Yakıt Türleri	21
4.1.1. Katı Yakıtlar	21
4.1.2. Sıvı Yakıtlar	22
4.1.3. Gaz Yakıtlar	23
4.2. Doğalgaz Hakkında Genel Bilgi	23
4.2.1. Doğal Gazın Tanımı	24
4.2.2. Doğalgazın Özellikleri	24
4.2.3. Doğalgazın Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması	25
4.3. Yakıt Türlerinin Çevreye Etkisi	27
5. HAVA KİRLİLİĞİNE KARŞI ALINCAK ÖNLEMLER	28

5.1.	Kısa Vadede Alınabilecek Önlemler	28
5.2.	Orta Vadede Alınabilecek Önlemler	28
5.3.	Uzun Vadede Alınabilecek Önlemler	29
6.	KONUNUN HUKUKİ BOYUTU	29

İKİNCİ BÖLÜM

ZAMAN SERİSİ ÖNGÖRÜ AMACIYLA ANALİZİNDE ARIMA MODELLERİ

1.	ZAMAN SERİSİ TANIMI VE ÖZELLİKLERİ	31
1.1.	Zaman Serisi ve Zaman Serisi Çözümlemesinin Tanımı	31
1.2.	Zaman Serisinin Özellikleri	32
1.2.1.	Dört Unsurdan Meydana Gelme Özelliği	32
1.2.2.	Bağımlılık Özelliği	33
1.2.3.	Stokastik Süreç Olma Özelliği	34
1.3.	Zaman Serisi Çözümlemesinde Durağanlık Kavramı	34
2.	ARIMA MODELLERİNİN TANITILMASI	35
2.1.	Genel Bilgiler	35
2.2.	ARIMA Modellerinin Sınıflandırılması	36
2.2.1.	Doğrusal Durağan Stokastik Modeller	36
2.2.1.1.	Otoregresif Modeller	36
2.2.1.2.	Hareketli Ortalama Modelleri	37
2.2.1.3.	Otoregresif Hareketli Ortalama Modeller	38
2.2.2.	Durağan Olmayan Doğrusal Stokastik Modeller	39
2.2.3.	Mevsimsel Modeller	40
2.3.	ARIMA Modelleriyle Çözümleme	41
2.3.1.	Çözümleme Sürecinde Kullanılacak Grafik Ve Fonksiyonlar	41
2.3.1.1.	Kartezyen Grafik	41
2.3.1.2.	Otokorelasyon Fonksiyonu	41
2.3.1.3.	Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu	42
2.3.2.	Çözümleme Sürecinin Aşamaları	42
2.3.2.1.	Uygun ARIMA Model Grubunun ve Geçici Model Tipinin Belirlenmesi	42
2.3.2.2.	Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahmini	42
2.3.2.3.	Geçici Modelin Uygunluk Testi	43
2.3.2.4.	Uygun Modelin Öngörü Amacıyla Kullanılması	44

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ESKİŞEHİR İLİ HAVA KİRLİLİK DEĞİŞKENLERİNİN ÖNGÖRÜ AMACIYLA ANALİZİ

1.	SO ₂ VE PM ZAMAN SERİLERİNİN ÖNGÖRÜ AMACIYLA ANALİZİNDE ARIMA MODELLERİ UYGULAMASI	45
1.1.	Araştırmanın Amacı	45
1.2.	Araştırma Evreni ve Örneklemenin Tanıtılması	45
1.3.	Değişkenlerin Tanıtılması	45
1.4.	SO ₂ Miktarı Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözümlemesinde ARIMA Modellerinin Kullanılması	47
1.4.1.	SO ₂ Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözümlemesi	47

1.4.1.1.	Uygun ARIMA Model Grubunun ve Geçici Model Tipinin Belirlenmesi	47
1.4.1.2.	Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahminlenmesi	51
1.4.1.3.	Geçici Modelin Uygunluk Testi	51
1.4.2.	öSO ₂ Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözümlemesi	52
1.4.2.1.	Uygun ARIMA Model Grubunun ve Geçici Model Tipinin Belirlenmesi	52
1.4.2.2.	Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahminlenmesi	56
1.4.2.3.	Geçici Modelin Uygunluk Testi	56
1.4.2.4.	Uygun Modelin Öngörü Amacıyla Kullanılması	57
1.4.2.5.	öSO ₂ Öngörü Değerlerinin Değerlendirilmesi	58
1.4.3.	sSO ₂ Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözümlemesi	58
1.4.3.1.	Uygun ARIMA Model Grubunun ve Geçici Model Tipinin Belirlenmesi	58
1.4.3.2.	Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahminlenmesi	61
1.4.3.3.	Geçici Modelin Uygunluk Testi	62
1.4.3.4.	Uygun Modelin Öngörü Amacıyla Kullanılması	63
1.4.3.5.	sSO ₂ Öngörü Değerlerinin Değerlendirilmesi	63
1.5.	PM Miktarı Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözümlemesinde ARIMA Modellerinin Kullanılması	63
1.5.1.	PM Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözümlemesi	63
1.5.1.1.	Uygun ARIMA Model Grubunun ve Geçici Model Tipinin Belirlenmesi	63
1.5.1.2.	Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahminlenmesi	67
1.5.1.3.	Geçici Modelin Uygunluk Testi	67
1.5.1.4.	Uygun Modelin Öngörü Amacıyla Kullanılması	68
1.5.1.5.	PM Öngörü Değerlerinin Değerlendirilmesi	69
1.5.2.	öPM Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözümlemesi	69
1.5.2.1.	Uygun ARIMA Model Grubunun ve Geçici Model Tipinin Belirlenmesi	69
1.5.2.2.	Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahminlenmesi	72
1.5.2.3.	Geçici Modelin Uygunluk Testi	73
1.5.2.4.	Uygun Modelin Öngörü Amacıyla Kullanılması	74
1.5.2.5.	öPM Öngörü Değerlerinin Değerlendirilmesi	75
1.5.3.	sPM Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözümlemesi	75
1.5.3.1.	Uygun ARIMA Model Grubunun ve Geçici Model Tipinin Belirlenmesi	75
1.5.3.2.	Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahminlenmesi	78
1.5.3.3.	Geçici Modelin Uygunluk Testi	79
1.5.3.4.	Uygun Modelin Öngörü Amacıyla Kullanılması	80
1.5.3.5.	sPM Öngörü Değerlerinin Değerlendirilmesi	80
	SONUÇ	81
	KAYNAKÇA	82

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1: Temiz Havanın Doğal Bileşimi (hacim/hacim).....	4
Tablo 2: Türkiye’de Yıl içinde Havaya Karışan Kirletici Maddeler.....	5
Tablo 3: 2000 Yılında Türkiye’nin Sektörel Emisyonları.....	6
Tablo 4: Türkiye’deki Bazı Endüstrilerden Yayılan Kirletici Miktarları (ton/yıl).....	9
Tablo 5: Yakıt Cinsine Göre Termik Santrallerin Kirletici Etkileri ($\mu\text{g.m}^{-3}$).....	10
Tablo 6: Hava Kalitesi Sınır Değerleri.....	13
Tablo 7: Kış Sezonu Ortalaması Sınır Değerleri.....	13
Tablo 8: Yakacaklardaki Çeşitli Elemanların Yoğunluk ve Isıl Değerleri.....	21
Tablo 9: Bazı kömür Türlerinin Analiz Değerleri.....	22
Tablo 10: Yakıt Türlerinin Emisyonlarının Karşılaştırılması.....	23
Tablo 11: Rusya’dan İthal Edilen Doğal Gazın Garanti Edilen Özellikleri.....	24
Tablo 12: Çeşitli Yakıt Türlerinin Karşılaştırılması.....	26
Tablo 13: Yakıtların Yanma Öncesi Çevre Üzerindeki Etkileri.....	27
Tablo 14: Hava Kirliliğini Önlemeye Yönelik Genelgeler.....	30
Tablo 15: Ocak 1988-Haziran 2003 Dönemi Havadaki SO_2 Miktarı ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	46
Tablo 16: Ocak 1988-Haziran 2003 Dönemi Havadaki PM Miktarı ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	46
Tablo 17: ARIMA (1,0,0)(1,1,0) ₁₂ Model Parametreleri.....	51
Tablo 18: ARIMA (1,0,0)(1,1,0) ₁₂ Modeli Q Değerleri.....	51
Tablo 19: ARIMA (1,0,0)(0,1,1) ₁₂ Model Parametreleri.....	56
Tablo 20: ARIMA (1,0,0)(0,1,1) ₁₂ Modeli Q Değerleri.....	56
Tablo 21: ARIMA(1,0,0)(0,1,1) ₁₂ Modeli Kullanılarak Elde Edilen Öngörü Değerleri..	
Tablo 22: ARIMA (1,0,0)(1,1,0) ₁₂ Model Parametreleri.....	57
Tablo 23: ARIMA (1,0,0)(1,1,0) ₁₂ Modelinin Q Değerleri.....	61
Tablo 24: ARIMA(1,0,0)(1,1,0) ₁₂ Modeli Kullanılarak Elde Edilen Öngörü Değerleri..	62
Tablo 25: ARIMA (1,0,0)(0,1,1) ₁₂ Model Parametreleri.....	67
Tablo 26: ARIMA (1,0,0)(0,1,1) ₁₂ Modelinin Q Değerleri.....	67
Tablo 27: ARIMA(1,0,0)(0,1,1) ₁₂ Modeli Kullanılarak Elde Edilen Öngörü Değerleri..	68
Tablo 28: ARIMA (1,0,0)(1,1,1) ₁₂ Model Parametreleri.....	72

Tablo 29: ARIMA (1,0,0)(1,1,1)₁₂ Modelinin Q Değerleri.....	73
Tablo 30: ARIMA(1,0,0)(1,1,1)₁₂ Modeli Kullanılarak Elde Edilen Öngörü Değerleri..	74
Tablo 31: ARIMA (0,0,1)(1,1,0)₁₂ Modeli Parametreleri.....	78
Tablo 32: ARIMA (0,0,1)(1,1,0)₁₂ Modelinin Q Parametreleri.....	79
Tablo 33: ARIMA(0,0,1)(1,1,0)₁₂ Modeli Kullanılarak Elde Edilen Öngörü Değerleri..	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Asit Yağmurlarının Oluşumu.....	15
Şekil 2: SO ₂ Serisinin Kartezyen Grafiği.....	47
Şekil 3: SO ₂ Serisinin Korelogramı.....	48
Şekil 4: Doğal Logaritması ve 12'şerli Farkı Alınmış Serinin Kartezyen Grafiği.....	49
Şekil 5: Doğal Logaritması ve 12'şerli Farkı Alınmış Serinin Korelogramı.....	50
Şekil 6: Doğal Logaritması ve 12'şerli Farkı Alınmış Serinin Kısmi Korelogramı.....	50
Şekil 7: öSO ₂ Zaman Serisinin Kartezyen Grafiği.....	53
Şekil 8: öSO ₂ Zaman Serisinin Korelogramı.....	53
Şekil 9: 12'şerli Farkı Alınmış öSO ₂ Serisi Kartezyen Grafiği.....	54
Şekil 10: 12'şerli Farkı Alınmış öSO ₂ Serisinin Korelogramı.....	55
Şekil 11: 12'şerli Farkı Alınmış öSO ₂ Serisinin Kısmi Korelogramı.....	55
Şekil 12: ARIMA (1,0,0)(0,1,1) ₁₂ Modeline Ait Öngörü Hatalarının Korelogramı.....	57
Şekil 13: sSO ₂ Serisinin Kartezyen Grafiği.....	58
Şekil 14: sSO ₂ Serisinin Korelogramı.....	59
Şekil 15: Doğal Logaritması ve 12'şerli Farkı Alınmış sSO ₂ Serisinin Kartezyen Grafiği.....	60
Şekil 16: Doğal Logaritması ve 12'şerli Farkı Alınmış sSO ₂ Serisinin Korelogramı.....	60
Şekil 17: Doğal Logaritması ve 12'şerli Farkı Alınmış sSO ₂ Serinin Kısmi Korelogramı.....	61
Şekil 18: ARIMA (1,0,0)(1,1,0) ₁₂ Modeline Ait Öngörü Hatalarının Korelogramı.....	62
Şekil 19: PM Serisinin Kartezyen Grafiği.....	64
Şekil 20: PM Serisinin Korelogramı.....	64
Şekil 21: 12'şerli Farkı Alınmış Serinin Kartezyen Grafiği.....	65
Şekil 22: 12'şerli Farkı Alınmış Serinin Korelogramı.....	66
Şekil 23: 12'şerli Farkı Alınmış Serinin Kısmi Korelogramı.....	66
Şekil 24: ARIMA (1,0,0)(0,1,1) ₁₂ Modeline Ait Öngörü Hatalarının Korelogramı.....	68
Şekil 25: öPM Zaman Serisinin Kartezyen Grafiği.....	69
Şekil 26: öPM Zaman Serisinin Korelogramı.....	70

Şekil 27: 12'şerli Farkı Alınmış öPM Serisi Kartezyen Grafiği.....	71
Şekil 28: 12'şerli Farkı Alınmış öPM Serisinin Korelogramı.....	71
Şekil 29: 12'şerli Farkı Alınmış öPM Serisinin Kısmi Korelogramı.....	72
Şekil 30: ARIMA (1,0,0)(1,1,1) ₁₂ Modeline Ait Öngörü Hatalarının Korelogramı.....	74
Şekil 31: sPM Serisinin Kartezyen Grafiği.....	75
Şekil 32: sPM Serisinin Korelogramı.....	76
Şekil 33: 12'şerli Farkı Alınmış sPM Serisinin Kartezyen Grafiği.....	77
Şekil 34: 12'şerli Farkı Alınmış sPM Serisinin Korelogramı.....	77
Şekil 35: 12'şerli Farkı Alınmış sSO ₂ Serinin Kısmi Korelogramı.....	78
Şekil 36: ARIMA (0,0,1)(1,1,0) ₁₂ Modeline Ait Öngörü Hatalarının Korelogramı.....	80

GİRİŞ

Çevre; canlıların yaşamı boyunca ilişkilerini sürdürdüğü dış ortamdır. Hava, su ve toprak bu çevrenin fizikî unsurlarını; insan, hayvan, bitki ve diğer mikroorganizmalar ise biyolojik unsurlarını teşkil etmektedir. Hava, su, toprak ve kayalar gibi cansız maddeler, canlıların yaşamasına elverişli bir çevre ya da ortam oluştururlar. Çeşitli bitki ve hayvan türleri doğal çevreyle birlikte farklı ekosistemler meydana getirir. Bir ekosistemdeki her canlının yaşamı diğer canlılara bağlıdır. Yâni bir ekosistem tüm, diğer ekosistemlere bağımlıdır. Bütün ekosistemler en büyük ekosistem olan dünyayı meydana getirirler. Ekosistemlerden biri görevini yapmazsa, en büyük ekosistem de bundan etkilenir. Örneğin, canlılar birbirine besin zincirleriyle bağlıdırlar. İlk halkayı genellikle bitkiler oluşturmaktadır. Bildiğimiz gibi otçul hayvanlar bitkilerle, etçil hayvanlar da otçulların etiyle beslenir. Bunlardan biri olmadığı zaman besin zinciri kopacaktır. Dolayısıyla diğerlerinin de yaşamı tehlikeye girecektir. Dünyanın ekoloji dengesi de bozulmuş olacaktır. Ekolojinin bozulması dünyanın ekosistemine bağlıdır. Dünyanın ekosistemlerinden biri bozulmuş ise, ekolojinin dengesi de bozulacak demektir.

Doğanın temel fizikî unsurları olan hava, su ve toprak üzerinde olumsuz etkilerin oluşması ile ortaya çıkan ve canlı öğelerin hayatî aktivitelerini olumsuz yönde etkileyen çevre sorunlarına "çevre kirliliği" denir. Çevre kirliliği son 50 yılda özellikle 1960'lardan sonra başta sanayisi gelişmiş ülkelerde önemli boyutlara ulaşırken, gelişmekte olan ülkelerde de aynı hızla devam etmektedir. Bugün 7 milyara yaklaşan dünya nüfusuna her gün yeni bireyler katılmaktadır. Bu şartlarda hızla artan dünya nüfusunun doğal kaynaklar üzerine oluşturduğu baskı kaçınılmaz bir gerçektir. Hava, su ve toprak kirliliği ile ilk kez nüfusun yoğun olduğu kentlerde ve endüstri merkezlerinde karşılaşmış ve bu kirliliğin hızla dünyaya yayılması çevrenin bozulmasına sebep olmuştur. Doğal çevrenin sınırlı bir süre sonra insanların beslenme, enerji ve hammadde gibi ekonomik kaynaklarını tehdit etmeye başladığı ve çevre kaygısı taşımadan yürütülen sanayileşmenin çevreyi yok ettiği anlaşılmıştır.

Ülkemizdeki birçok kent özellikle kış aylarında artan yoğun hava kirliliği etkisi altındadır. Kirlilik konsantrasyonları sık sık Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen sınır değerlerini aşmaktadır. İşte bu sebepten emisyon değerlerinin düşürülmesi ve insan sağlığının korunması için önlemlere başvurulmaktadır.

Yoğun hava kirliliği, kentlerde yaşamı olumsuz yönde etkileyen başlıca faktörlerden biri haline gelmiştir. Hava kirliliği insan, hayvan ve bitki sağlığına olan zararlı etkilerinin yanı sıra, artan sağlık harcamaları, temizlik, bakım onarım maliyetleri, iş gücü kaybı, çalışma veriminin azalması, yapı, donanım, ve sanat eserlerinde oluşan korozyon etkileri nedeniyle doğrudan ve dolaylı olarak ekonomik kayıplara da neden olmaktadır.

Kentlerde kış aylarında yaşanan yoğun hava kirliliğinin oluşumunun başlıca nedeni düşük kaliteli yakıtların uygun olmayan yakma sistemlerinde yakılarak konutların ısıtılması amacıyla kullanılmasıdır. Oluşan emisyonların hava kirliliğine olan etkisi, birçok kentte olduğu gibi, olumsuz topografik ve meteorolojik koşullar nedeniyle çoğu kez daha da artmaktadır.

Hava kirliliğini önlemede kullanılabilecek teknolojik önlemler oldukça yüksek düzeyde teknolojik bilgi birikimi gerektirmektedir. Bir kısmı oldukça pahalı olan bu yatırımlar üretim sektöründe ekonomik anlamda dışsaldır, yani ürünlerin üretimi için zorunlu girdilerden değildir. Bu yüzden hava kirliliğini önleme teknolojileri için yapılacak masraflar sosyal anlamda yüzyıllar boyu kirleterek üretmeye alışanlar için kabul edilmesi zor masraflar sayılmıştır. Bunları zorunlu hale getirmek için toplumun ve devletin çok ciddi yaptırımlar uygulaması gerekir.

Bütün bu gerçekler ışığında Eskişehir Büyükşehir Belediyesi merkez ilçedeki hava kirliliğinin azaltılması çalışmalarına başlamıştır. İlk olarak 1992 yılında Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'nde doğalgaz kullanımına başlanmıştır. Daha sonra proje kapsamında 1995 yılında doğalgaz şehir merkezinde evsel ısınma için de kullanılmaya başlanmıştır. Doğalgaz kullanılmaya başlandığından itibaren hava kirliliğinde gözle görülür bir azalma gerçekleşmiştir. Doğalgazın içerdiği SO₂ ve PM miktarı diğer yakıtlara oranlara çok düşük olduğu için yaydığı kirlilik de diğer yakıtlara göre çok düşüktür. Bu da ortamdaki hava kirlilik değerlerinin standartlar altında çıkmasını sağlamaktadır. Bu araştırma kapsamında doğalgaz kullanımının şehirdeki hava kirliliğine olan etkisinin ne yönde olduğu belirlenip ön dönemler için öngörü yapılmıştır.

Üç bölümden oluşan bu çalışmanın birinci bölümünde hava kirliliği ile ilgili genel bilgi verilmiştir. Ayrıca havayı kirleten faktörler üzerinde durulmuş, çeşitli kirleticiler hakkında bilgilere yer verilmiştir. Kirleticilere yer verdikten sonra kirleticilerin etkileri

belirtilip, bunlar için alınabilecek önlemler ortaya konmuştur. Ayrıca kullanılan farklı yakıt türleri hakkında genel bilgi verilip konuya ilişkin hukuki mevzuat açıklanmaya çalışılmıştır.

Çalışmamızın ikinci bölümünde zaman serilerinin özellikleri ve sınıflandırılmasına yer verilmiştir. Zaman serilerinde öngörü amacıyla sıkça kullanılan ARIMA yöntemine ilişkin modeller tanıtılmıştır.

Hava kirlilik değerlerinin insan yaşamı üzerindeki önemi göz önünde bulundurularak ARIMA modellerinin hava kirlilik değerlerine uygulaması üzerinde durulmuş, ve bu amaçla üçüncü bölüm uygulamaya ayrılmıştır. Araştırma evreni ve araştırma örneklemini açıklandıktan sonra, araştırmada kullanılacak Ocak 1988-Haziran 2003 tarihleri arasındaki hava kirlilik değerleri verilmiştir. Daha sonra ARIMA modelleri yardımıyla öngörü yapılmıştır.

Sonuç bölümünde ise elde edilen öngörü değerleri açıklanıp, çıkan sonuçlar üzerinde durulmuş ve bazı önerilere yer verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

TEMİZ HAVA VE HAVA KİRLİLİĞİ

1. TEMİZ HAVA VE TEMİZ HAVAYI BOZAN FAKTÖRLER

1.1. Temiz Havanın Özellikleri

Hava da tıpkı su ve toprak gibi kirletilebilen bir ortamdır. Bunlardan farklı olarak bir insan günlerce aç, susuz yaşayabileceği halde nefes almadan birkaç dakikadan fazla duramaz. Bu yüzden doğal bileşimdeki hava, tüm canlılar için zorunlu olan yaşamsal bir haktır.

Temiz hava, Tablo 1’de verildiği gibi başta azot ve oksijen olmak üzere argon, karbondioksit, su buharı, neon, helyum, metan, kripton, hidrojen, azotmonoksit, karbonmonoksit, ksenon, ozon, ve azotdioksit gazlarının karışımından meydana gelmiştir.

Tablo 1: Temiz Havanın Doğal Bileşimi (hacim/hacim)

Gazlar	Sembolleri	Hacimsel Yüzdeleri (%)	ppm
Azot	N ₂	78,084	780800
Oksijen	O ₂	20,9546	209546
Argon	Ar	0,934	9340
Karbondioksit	CO ₂	0,033	330
Neon	Ne	0,0018	18
Helyum	He		5,2
Kripton	Kr		0,5
Hidrojen	H ₂		0,5
Ksenon	Xe		0,08
Nitrojendioksit	NO ₂		0,02
Ozon	O ₃		0,01-0,04

A. Müezzinoğlu, Hava Kirliliğinin Kontrolü Esasları, 2000

Atmosferi oluşturan gazların, en kararsız olanları su buharı ve karbondioksittir. Atmosferdeki su buharı miktarı, denizler, göller, nehirler ve bitkilerden buharlaşma ile artar ve bulutlardan sis, çığ, yağmur oluşumu ile de azalır. Su buharının bu değişkenliği, uzun sürede, bu olaylarla birbirini öyle dengeler ki, su buharının atmosferdeki miktarı değişmez. Karbondioksit ise normalde çok küçük yer teşkil eden bir bileşendir. İnsan ve

hayvanların teneffüsü ve bitkilerin fotosentez olayı ile atmosferdeki miktarı dengede tutulur.¹

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.

Genel olarak kirlilik, havadaki katı parçacıklar ve kükürtdioksit miktarına göre belirlenir. Oysa atmosferde oluşan kimyasal olaylarda, organik maddeler büyük rol oynar. Çünkü organik maddeler, atmosferde ister reaksiyona girsinler, ister girmesinler kimyasal reaksiyonların çekirdeğini oluştururlar.

1.2. Temiz Havayı Bozan Faktörler

Gerek gaz gerekse partikül halindeki kirleticilerin yayınlandığı yere kirletici kaynak adı verilir. Hava kirleticiler atmosferde meteorolojik şartlara göre bir süre taşındıktan sonra çökme, seyrelme, fotokimyasal reaksiyona uğrama yolu ile kaybolur veya başka maddelere dönüşürler.

Bir kirletici maddenin kaynaktan yayınlandığı andan havada yok oluncaya kadar geçen sürenin en iyi ölçüsü kirleticinin yarılanma ömrüdür. Bir kirleticinin atmosferdeki yarılanma ömrü, yayınlandığı andaki miktarının yarıya düşmesine kadar geçen zamandır.² Tablo 2'de Türkiye'de çeşitli kaynaklardan havaya karışan kirletici maddeler verilmiştir.

Tablo 2: Türkiye'de Yıl içinde Havaya Karışan Kirletici Maddeler

FAALİYETLER	MİKTAR
Katı Madde Atıkları	11 milyon ton/yıl
Endüstri Faaliyetleri	29 milyon ton/yıl
Orman Yangınları	37 milyon ton/yıl
Sabit Enerji Tesisleri	46 milyon ton/yıl
Ulaşım Faaliyetleri	90 milyon ton/yıl
TOPLAM	213 milyon ton/yıl

T.Ç.V., Çağımız ve Çevre Kirliliği, 1990

¹[www.koeri.boun.edu.tr/meteoroloji/hkirlil1.htm#HAVA %20KIRLILIGI %20KAYNAKLARI %20VE%20NEDENLERI](http://www.koeri.boun.edu.tr/meteoroloji/hkirlil1.htm#HAVA%20KIRLILIGI%20KAYNAKLARI%20VE%20NEDENLERI)

²Hasancan Okutan, Hava Kirliliğinin Çevre Üzerindeki Etkileri, Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü, Marmara Araştırma Merkezi, Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü, Gebze-Kocaeli, 1993, s.2

Temiz havayı bozan faktörler doğal kaynaklar ve yapay kaynaklar olmak üzere iki gruba ayrılır.

1.2.1. Doğal Kaynaklar

Orman yangınları, volkanik patlamalar, bataklıklarda anaerobik bakterilerin kompleks organik maddeleri hidrolizi sırasında ortama verilen; karbondioksit, metan gibi gazların atmosfere yayılması gibi doğal olaylar nedeni ile atmosfer hiçbir zaman tertemiz olamamıştır.

Yer yüzeyindeki büyük çöl alanlarından ve kumluk alanlardan rüzgarlarla taşınan tozlar, orman yangınları ile atmosfere karışan duman ve zehirli gazlar, fotokimyasal olaylarla havaya bırakılan azotdioksit (NO₂), yanardağlardaki volkanik faaliyetler sonucunda açığa çıkan kükürtdioksit (SO₂), hidrojenklorür (HCl), hidrojenflorür (HF) ve deniz çalkalanmasından kaynaklanan sodyumklorür (NaCl) doğal kaynaklardan yayılan kirliliklere örnek olarak verilebilir.

1.2.2. Yapay Kaynaklar

Hava kirliliğinde, doğal kirlilik kaynaklarından çok yapay kaynaklardan meydana gelen kirlilik önemlidir. Çünkü günümüzde insanları en çok ilgilendiren, özellikle büyük yerleşim merkezleri ve sanayi alanlarındaki hava kirliliğidir. Bu kirlilikte daha çok insan faaliyetleri sonucu meydana gelir. İnsan eliyle atmosfere bırakılan kirleticilerin tamamına yakın bir kısmı enerji, ısınma, ulaşım ve endüstriyel proseslerde kullanılan fosil kaynaklı yakıtların kullanımından kaynaklanmaktadır. Tablo 3'de Türkiye'de sektörel emisyonların havaya bıraktıkları kirletici çeşitleri verilmiştir.

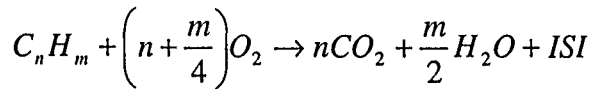
Tablo 3: 2000 Yılında Türkiye'nin Sektörel Emisyonları

Sektörler	SO _x	PM	NO _x	CO
Evsel Isınma	2.957.055	672.690	28.389	20.425
Sanayi-Yakıt	2.273.018	643.442	44.965	20.795
Sanayi-Proses	412.208	165.876	68.348	670.515
Enerji Üretimi	1.137.982	2.027.779	106.493	48.337
Ulaşım	23.387	-	215.946	1.101.740
TOPLAM	6.803.650	3.457.065	464.141	1.861.812

T.Ç.V.Türkiye'nin Çevre Sorunları 99, 1998

Yapay kaynaklar olarak adlandırılan kirletici kaynaklarının tamamı yanma olayının gerçekleşmesiyle oluşur. Yani temiz havayı bozan en önemli yapay kaynak yanmadır. Endüstri tesislerinde, konutların ısıtılmasında ve motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılan fosil yakıtlar havanın kirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Yanma reaksiyonları tam ve yarı yanma olarak ikiye ayrılmaktadır.

Tam Yanma Reaksiyonları: Gaz, gaz yağı, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtları belirli oranlarda karbon (C) ve hidrojen (H) içerirler (bazı yakıt türleri de azot içerir). Yanma sırasında yakıtın içindeki karbon oksijenle birleşerek karbondioksiti (CO₂), hidrojen ise yine oksijenle birleşerek suyu (H₂O) oluşturur³.



Yarı Yanma Reaksiyonları: Yanma sırasında yeteri kadar oksijen varsa düşük seviyede kirlilik gerçekleşir. Ama eğer yeterli oksijen yoksa yarı yanma gerçekleşir ve buda kirlilik açısından son derece önemlidir. Yarı yanma sonucu karbonmonoksit, is, kurum ve hidrokarbonlar açığa çıkar.

Yapay kaynaklı hava kirliliği oluşum sebepleri genel olarak üç grupta toplanmaktadır.

1.2.2.1. Eysel Isınma

Büyük kentlerimizde kış aylarında görülen hava kirliliğinin ısınma amacıyla tüketilen yakıtlardan kaynaklandığı, özellikle kükürtdioksitin yaklaşık %90'ının bu kaynaktan, %10'unun ise endüstri, trafik ve rüzgar erozyonu ile geldiği, dumanda ise yakıt dışı kayakların %20 paya sahip olduğu görülmüştür⁴.

Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin temel sebepleri ısınmada düşük kalorili yakıtların iyileştirme işlemine tabi tutulmadan kullanılması, yanlış yakma tekniklerinin uygulanması ve kullanılan kazanların işletme bakımlarının düzenli olarak yapılamaması şeklinde sıralanabilir. Bu durum özellikle ısınma periyodunun uzun olduğu bölgelerde tehlike arz etmektedir. Bunların yanı sıra hızlı nüfus yoğunlaşması, topografik yapı ve

³ Günter Baumbach, Air Quality Control, Berlin, 1996

⁴ T.C. Çevre Bakanlığı, Çevre Notları, Ankara, 1998 s. 13

meteorolojik şartlara göre şehirlerin yanlış yerleşmesi de şehirlerimizin hava kirliliğinin artmasında önemli rol oynamaktadır.

Özellikle 1950'li yıllardan sonra görülen hızlı şehirleşme, Türkiye'deki hava kirliliğinin en önemli sebeplerindendir. Yüzey bakımından Türkiye coğrafyasının %0,005'ini oluşturduğu halde, 1995 yılında toplam ülke nüfusunun %69'unu barındıran, 2025 yılında ise nüfusun %87'sinin barınacağı hesaplanan şehirlerde hava kirlenmesinin boyutları gittikçe artmaktadır.⁵

Şehirlerdeki ısınma kaynaklı hava kirliliği problemlerinin boyutlarının çok büyük olması, aynı yerleşim alanlarında taşıtlardan kaynaklanan kirlilik problemlerinin de olabileceği gerçeğinin uzun süre gözardı edilmesine sebep olmuştur. Motorlu taşıtların hava kirliliğine katkıları son yıllarda önemli boyutlarda artmıştır. Özellikle yaz aylarında (evsel ısınma kaynaklı kirlilik ortadan kalktığından), taşıtlar, görülen kirletici konsantrasyonlarının en önemli kaynağı olmaktadır. Taşıtlardan bırakılan hidrokarbonlar (HC), azotoksitler (NO_x) ve karbonmonoksitler (CO), bu kirleticilerin atmosferdeki konsantrasyonlarının artmasına sebep olmakta, ayrıca hidrokarbonların ve azotoksitlerinin atmosferde güneş ışınlarının katalitik etkisiyle girdikleri reaksiyon sonucu "fotokimyasal duman" denen ve ozon, aldehitler gibi güçlü oksitleyici maddeleri içeren bir tür kirlilik meydana gelmektedir. Bugün ısınma kaynaklı hava kirliliği bulunmayan ülkelerde bile ozon standartlarının sağlanması mümkün olmamaktadır. Araçlardan bırakılan kirleticilerden azotoksitler (NO_x), sadece Ankara'da iki istasyonda ve karbonmonoksit (CO) ise Ankara'da bir istasyonda ölçülmektedir.

1.2.2.2. Endüstriyel Prosesler

Kalkınmanın ana sektörlerinden birisi olan sanayi ve çevre arasında çok yönlü ve birbirini etkileyici nitelikte çok sıkı bir ilişki olup, bu etkileşimin yarattığı olumlu sonuçlar yanında, çevre koruma açısından önlemler alınmadığı ve uygun teknolojiler kullanılmadığı takdirde çevre üzerinde ve toplumda olumsuz sonuçlar doğuran bir dengesizlik sorunu ortaya çıkmakta, giderek kaynakların tahribine, çevrenin hızla kirlenmesine ve sanayi sektörlerinden kalkınmada beklenen yararların giderek kaybolmasına neden olmaktadır.

⁵ Türkiye Çevre Vakfı, Türkiye'nin Çevre Sorunları 99, Ankara, 1998, s. 30

Türkiye’de çevre kirliliğine sebep olan endüstri türleri; enerji, gübre, demir-çelik, şeker, çimento, petrokimya, metal endüstrisi olarak sıralanabilir. Bu endüstrilerin yıllık üretim miktarlarından yola çıkılarak Amerikan Çevre Ajansı (EPA) tarafından önerilen faktörler yardımıyla hesaplanan atmosfere yılda bırakılan kirletici miktarları, Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4: Türkiye’deki Bazı Endüstrilerden Yayılan Kirletici Miktarları (ton/yıl)

Endüstri Tipi	SOx	PM	NOx
Çimento Sanayi		12000	13000
Kağıt Sanayi	900		64
Şeker Sanayi	4600	270	700
İçki Sanayi	42000		
Demir-Çelik Sanayi	10000	250000	29000
Ana Kimya Sanayi			
Cam Sanayi			4300
Gübre Sanayi		30000	
Boya Sanayi			
Rafineri	58000	20000	7800
Pamuklu Tekstil Sanayi		15000	
Hayvan Yemi Snayi		1700	
Demir Dışı Snayi	29000		360
TOPLAM	644500	388970	105224

T.C. Çevre Bakanlığı, Ulusal Çevre Eylem Planı, 1998

Endüstriyel kaynakların kirletici türleri özellikle spesifik kirleticiler açısından çok daha geniş bir spektrumu kapsamaktadır. Arıtma uygulamalarının her durumda gerçekleştirilememesi, bir çok kirletici için etkin arıtma yöntemlerinin geliştirilmemesi, endüstriyel kirlenme kontrolünde de kaynak özelliklerin değiştirerek az kirlenme oluşturacak üretim teknolojilerinin seçimini esas almaya yol açmıştır.

Türkiye’de termik santrallerde tüketilen yakıtların özelliklerine bakıldığında çok kalitesiz yakıtların (linyit kömürü) termik santral girdisi olarak kullanıldığı görülmektedir. Bunun sonucu olarak birim elektrik üretimi başına ortaya çıkan emisyonlar çok yüksektir. Kömür ve doğal gazla çalışan santrallerde üretilen enerji başına atmosfere bırakılan kirletici miktarları Tablo 5’de görülmektedir.

Tablo 5: Yakıt Cinsine Göre Termik Santrallerin Kirletici Etkileri ($\mu\text{g.m}^{-3}$)

Yakıt Türü	SO ₂	PM
Linyit	50-70	2-10
Doğalgaz	Eser	Eser

T.C. Çevre Bakanlığı, Ulusal Çevre Eylem Planı, 1997

Türkiye’de enerji üretiminden kaynaklanan SO₂, NO_x, CO₂, partikül madde ve diğer emisyonlar şehir ve bölge bazında önemli çevre sorunlarına sebep olmanın yanısıra uluslararası boyutta tartışılır seviyelere ulaşmıştır.

1.2.2.3. Motorlu Taşıtlar

Konutlar ve endüstri gibi sabit emisyon kaynaklarından ileri gelen hava kirliliğinin yanı sıra motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz kirliliği de aynı derecede önemli bir sorundur. Benzin ve dizel taşıtların çıkardığı egzoz gazlarında bulunan zararlı maddelerin çevreye ve insan sağlığına verdiği ve vereceği zararlar oldukça fazladır. Yolcu ve yük taşıyan araçların getirdiği kirlilik başlıcalarıdır. Bunlar benzinli, mazotlu ve gaz tribünlü içten yanmalı motorla çalışmaktadırlar. Bu kaynaklardan yanma sonucu karbonmonoksit (CO), azotoksitler (NO_x), kükürtoksitler (SO_x), hidrokarbonlar (HC) ve partiküller madde (PM) kirletici olarak atmosfere yayılmaktadır.⁶

Tüm karbonmonoksit (CO) emisyonlarının %70-90’ından, azotoksit (NO) emisyonlarının %40-70’inden, hidrokarbon (HC) emisyonlarının yaklaşık %50’sinden ve şehir bazında kurşun emisyonlarının %100’ünden özellikle motorlu taşıtlar sorumludur.⁷

2. HAVA KİRLİLİĞİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Günümüzde, her geçen gün artan çevre sorunlarının başında gelen hava kirliliği, geleceğin dünyasını ciddi bir şekilde tehdit etmekte, ekolojik tehlikelerle karşı karşıya bırakmaktadır. Dünya nüfusunun hızla artmasına paralel olarak, artan enerji kullanımı, endüstrinin gelişimi ve şehirleşmeyle ortaya çıkan hava kirliliği, insan sağlığı ve diğer canlılar üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.

⁶ Orhan Şen, The effect of Aircraft Engine Exhaust Gases on the Environment, Bulletin of the Technical University of İstanbul, 1996

⁷ Çevre Notları, a.g.e., s. 14

Son yıllarda sanayileşme ve endüstriyel gelişmeye paralel olarak kentlerin büyümesi ve nüfusun artması ile gelişen plansız şehirleşme sonucu ortaya çıkan çevre kirliliğinin yarattığı sorunlar önem kazanmaya başlamıştır. Ülkemizde özellikle ısınma enerjisi temini için sosyo-ekonomik şartlardan dolayı ucuz fakat düşük kalorili kömür oranı yüksek kömürlerin fazla kullanılması, motorlu taşıt sayısının hızlı artması, zaman zaman oluşan kötü meteorolojik şartların etkisi ile artan hava kirliliği önlem alınması gereken boyutlara gelmiştir.

Bunlara ilave olarak birçok kimyasal maddenin üretimi, ayrışması, buharlaşması ve benzeri işlemler sonucunda başta kükürtdioksit gibi toksik maddeler olmak üzere is, toz, duman gibi askıda katı partiküller ve bunlar içindeki eser haldeki kanserojen elementler atmosfere geçerek hava kirliliğine sebebiyet vermektedir.

2.1. Hava Kirliliğinin Tanımı

Tanım olarak hava kirlenmesi, bina dışı açık havada bir veya daha fazla türden kirleticinin insan, bitki ve hayvan yaşamına; ticari veya kişisel eşyalara ve yaşamaktan zevk duyabilecek bir çevre kalitesine zarar veren miktarda belli bir sürenin üstünde bulunmasıdır.⁸

Dünya Sağlık Örgütü'nün geliştirdiği diğer bir tanımlamaya göre hava kirliliği "Bir veya birden fazla kirleticinin atmosferde belirli bir miktarda ve uzun bir süre yer alarak insanlara, hayvanlara, bitki ve binalara karşı tehlikeli hale gelmesi ve genel refaha ya da araçların kullanımına zarar verebilecek durum yaratılması ya da doğrudan etkilenmesi"dir.

Yer kabuğuna yakın atmosfer katında yerdeki doğal veya yapay fiziksel, kimyasal ve biyolojik reaksiyonlardan kaynaklanan nem ve karbondioksitin yanı sıra; daha çok insan etkinlikleriyle ilişkili olan kükürtoksitler, karbonmonoksit, azotoksitler, ozon, hidrokarbon buharları ve havada askıda durabilen katı veya sıvı damlacıkları bulunur. Bu maddelerin havadaki miktarları azot ve oksijen gibi sabit olmayıp zaman ve mekan içinde değişkendir.

Kirletici maddelerin havaya karışması ile ortaya çıkan hava kirlenmesinde en az bir kaynak, bir taşıyıcı ortam, bir alıcı bulunur. Bütün bu bileşenlerin aynı ortamda birden fazla sayıda bulunması halinde karmaşık sonuçlar doğar.

⁸ Aysen Müezzinoğlu, Hava Kirliliği Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir, 2000, s. 9

Alıcı tarafından algılanan dış hava kompozisyonu hava kalitesi olarak bilinir. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü tarafından hava kalitesinin korunması amacıyla hava kalitesi kriterleri belirlenmiştir. Bu kriterler Tablo 6 ve Tablo 7’de verilen listelerle ortaya konmuştur. Kriterlerin yasal hale gelmiş şekli ise hava kalitesi standartlarını oluşturur. Bu standartlar bir saat, bir gün, bir yıl gibi belli süreler boyunca aşılmaması gereken hava kalitesi sınır değerleri şeklinde ortaya konur. Genellikle hava kalitesi sınır değerleri; uzun vadeli sınır değerler (UVS) ve kısa vadeli sınır değerler (KVS) olmak üzere iki şekilde tanımlanmaktadır.

2.2. Hava Kirlilik Terimleri

Hava Kirleticileri: Havanın doğal bileşimini bozan bütün zararlı ve zehirli maddelere kirletici denir.

Emisyon: Endüstrilerden veya otomobillerden çevreye gaz ve toz olarak kirletici bırakılmasıdır.

Hava Kalitesi: Hava kalitesi, insan ve çevresi üzerine etki eden hava kirliliğinin bir göstergesidir.

Taşınım: Hava kirliliğinin diğer bir ortama taşınmasına denir. Bir başka deyişle kirleticini emisyonun yapıldığı yerle alıcı ortam arasında yayılmasıdır. Taşınım sırasında gaz fiziksel olarak seyrelmeye uğramaktadır. Burada emisyonun yüksekliğinin taşınma sırasındaki seyrelmeyle doğrudan bir ilişkisi vardır.⁹

Uzun Vadeli Sınır Değerleri: Hava kalitesi bakımından hava kirleticileriyle ilgili aşılmaması gereken, bütün ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması olan değerlerdir.

Kısa Vadeli Sınır Değerleri: Maksimum günlük ortalama değerler veya istatistik olarak bütün ölçüm sonuçları sayısal değerlerinin büyüklüğüne göre dizildiğinde, ölçüm sonuçlarının % 95’ini aşmaması gereken değerlerdir. Çöken tozlar için farklı olarak aşılmaması gereken maksimum aylık ortalama değerdir.

Kış Sezonu Ortalaması Sınır Değerleri: Kış aylarında, binaların ısıtılmasıyla ortaya çıkabilen hava kirlenmelerine yol açan hava kirleticiler için Ekim-Mart ayları arasında yerleşim bölgelerinde yapılan ölçümlerin ortalamaları, aşılmaması gereken kış sezonu ortalaması UVS sınır değerleri ile mukayese edilirler.¹⁰

⁹ Baumbach, a.g.e.

¹⁰ Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü, Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, 2 Kasım 1986 Gün ve 19269 Sayılı Resmi Gazete, Ankara

Tablo 6: Hava Kalitesi Sınır Değerleri

	Hava Kirleticiler	Birim	UVS	KVS
1	Kükürt Dioksit (SO ₂)(SO ₃) dahil			
	a.Genel	(µg.m ⁻³)	150	400 (900)
	b.Endüstri Bölgeleri	(µg.m ⁻³)	250	400 (900)
2	Karbon Monoksit (CO)	(µg.m ⁻³)	10000	30000
3	Azot Dioksit (NO ₂)	(µg.m ⁻³)	100	300
4	Azot Monoksit (NO)	(µg.m ⁻³)	200	600
5	Klor (Cl ₂)	(µg.m ⁻³)	100	300
6	Klorlu Holojen (HCl) ve gaz halinde klorürler (Cl)	(µg.m ⁻³)		300
7	Florlu Hidrojen (HF) ve gaz halinde anorganik florürler (F)	(µg.m ⁻³)		10 (30)
8	Ozon (O ₃) ve fotokimyasal oksitleyiciler	(µg.m ⁻³)		(240)
9	Hidrokarbonlar (HC)	(µg.m ⁻³)		140 (280)
10	Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	(µg.m ⁻³)		40 (100)
11	Havada asılı partikül maddeler (PM) (10 µm ve daha küçük partiküller)			
	a.Genel	(µg.m ⁻³)	150	300
	b.Endüstri Bölgeleri	(µg.m ⁻³)	200	400
12	PM içinde kurşun (Pb) ve bileşikleri	(µg.m ⁻³)	2	
13	PM içinde kadmiyum (Cd) ve bileşikleri	(µg.m ⁻³)	0,04	
14	Çökelen tozlar			
	a.Genel	(µg.m ⁻³)	350	650
	b.Endüstri Bölgeleri	(µg.m ⁻³)	450	800
15	Çökelen tozlarda Pb ve bileşikleri	(µg.m ⁻² .gün ⁻¹)	500	
16	Çökelen tozlarda Cd ve bileşikleri	(µg.m ⁻² .gün ⁻¹)	7,5	
17	Çökelen tozlarda T1 bileşikleri	(µg.m ⁻² .gün ⁻¹)	10	

Başbakanlık Çevre Gen. Müd., Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, 1986

Tablo 7: Kış Sezonu Ortalaması Sınır Değerleri

	Kış Sezonu Ortalaması Sınır Değerleri
Kükürtdioksit	250 (µg.m ⁻³)
Havada Asılı Partikül Madde	200 (µg.m ⁻³)

Başbakanlık Çevre Gen. Müd., Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, 1986

2.3. Hava Kirliliğine Sebep Olan Bazı Etkenler

1. Isı değeri düşük, duman ve kükürt miktarı yüksek yakıtların ısıtmada kullanılması.
2. Yakma tekniklerinin iyi bilinmemesi.
3. Yapıların ısı yalıtımına duyarlı olarak planlanmaması ve bunun sonucunda yeterli ısınma için gerekli olan yakıt miktarı artması.
4. Topografik özellikler açısından kentin kuruluş alanının yanlış seçilmesi.
5. Kentin kuruluş alanı yanlış seçilmiş olmasa dahi, uygulanan hatalı ve gelişigüzel kentleşme.
6. Kentsel katı atıkların gelişigüzel depolanması ve yakılması.
7. Ulaşım araçlarının sayıca çok olması ve ulaşım araçlarından çıkacak gazlar için belirli bir standart geliştirilmemiş olması.

3. KİRLİLETİCİ ÇEŞİTLERİ VE ETKİLERİ

3.1. Kirletici Çeşitleri

Doğal hava bileşimini bozan bütün maddelerin kirletici olarak tanımlanmasına karşılık, yanma reaksiyonunun doğal ürünleri olan karbondioksit ve su buharını klasik hava kirleticileri arasında saymak yanlış olur.

Kirleticiler atmosferde yer alış durumlarına göre birincil ve ikincil kirleticiler şeklinde iki temel sınıfta toplanırlar. Birincil kirleticiler kaynaktan atmosfere doğrudan yayılan kirleticilerdir. İkincil kirleticiler ise atmosferde bulunan doğal bileşenler ile birincil kirleticiler ve atmosferik özellikler yardımıyla meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşurlar.¹¹

Hava kirliliğinde, önem ve kaynak açısından beş önemli birincil kirletici mevcuttur. Bunlar tüm kirleticilerin hemen hemen % 90'nını teşkil ederler.

Önemli birincil kirleticiler;

1. Kükürt Oksitleri (SO_x)
2. Partikül madde (PM)
3. Azot Oksitleri (NO_x)
4. Karbonmonoksit (CO)
5. Hidrokarbonlar (HC)

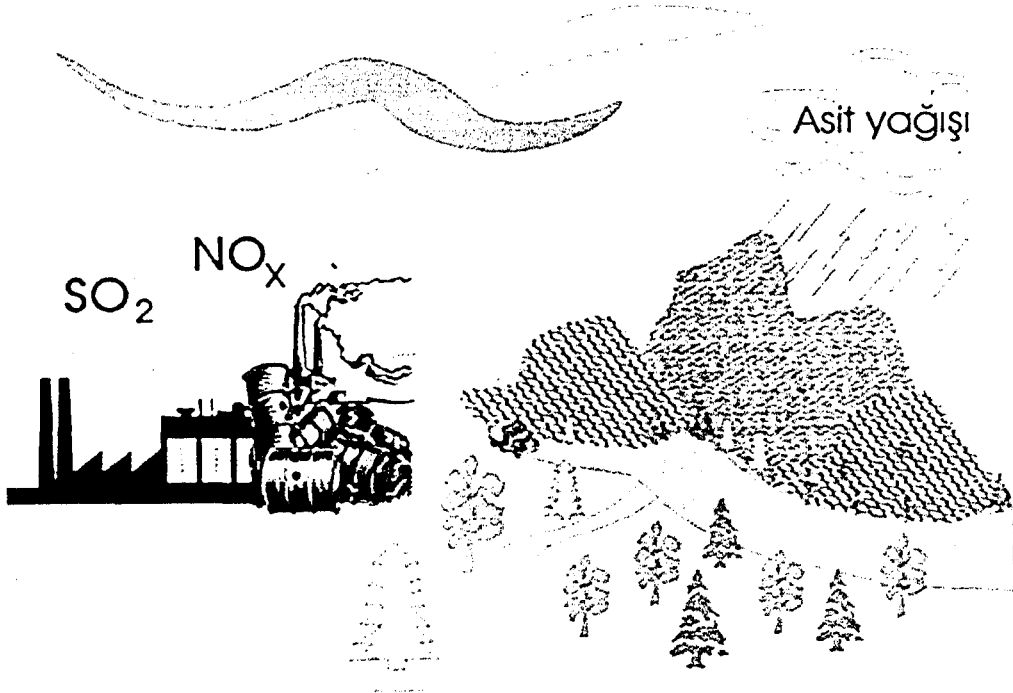
¹¹ A. Stern, R. Boubel, D. Turner, D. Fox, Fundamentals Of Air Pollution, Academic Press, Londra, 1984

3.1.1. Kükürt Oksitleri (SO_x)

Genel gösterimi SO_x olan kükürt oksitlerin en önemli formu kükürtdioksit SO₂ gazıdır. Kükürtdioksit renksiz bir gaz olup, havadaki 0,3-1 ppm seviyelerde ağızda karakteristik bir tat bırakmakta, 3 ppm'in üstünde ise boğucu bir hisse yol açmaktadır. SO₂, fosil yakıtlarının yanması sırasında, metal ergitme işlemleri ve diğer endüstriyel prosesler sonucu oluşur. Ana kaynakları, termik santraller ve endüstriyel kazanlardır. Genel olarak, en yüksek SO₂ konsantrasyonları, büyük endüstriyel kaynakların yakınında bulunur.¹²

Yarılanma hızı 24 saat olup atmosferde kalıcılık süresi 40 günü bulmaktadır. Atmosfere atılan kükürtoksit emisyon miktarının büyük çoğunluğunu insan etkinlikleri oluşturmaktadır. Demir, magnezyum, kalsiyum ve sülfat iyonlarının varlığında SO₂ su damlaları içinde çözünür ve çabukça okside olarak sülfürik aside dönüşür. Bu reaksiyonda demir, magnezyum, kalsiyum ve sülfat iyonları katalizör görevindedir. Bütün dünyaya yayılan SO₂ emisyonları ise dünya SO₂ konsantrasyonunu her yıl 0.006 ppm arttırmaktadır. Buna karşılık tüm asit ve sülfatlar yağış yolu ile ancak 43 günlük bir süre içerisinde atmosferden uzaklaştırılmaktadır.¹³

Şekil 1: Asit Yağmurlarının Oluşumu



¹² Baumbach, a.g.e.

¹³ Selahattin İncecik, Hava Kirliliği, İTÜ Gümüşsuyu Matbaası, İstanbul, 1994

Ayrıca SO₂'nin bir diğer kirletici etkisi de asit yağmurları ile ortaya çıkmaktadır. Hiçbir yabancı maddeyle kirletilmemiş bir atmosferde bile yağmur suyu hafif asit karakterdedir ve pH derecesi 5.6'dır. Fabrikalar, enerji santralleri, motor egzozları ve benzeri kaynaklardan atmosfere atılan kükürtdioksit (SO₂) ve azot oksitleri (NO_x) atmosferdeki taşınımı sırasında bulut içindeki su ile reaksiyona girerler. Bu reaksiyonlar sonucunda sülfürik asit (H₂SO₄) ve nitrik asit (HNO₃) oluşur. Oluşan sülfürik asit ve nitrik asidin yağmur, kar, sis ve diğer şekillerde yağışlarla beraber yeryüzüne düşmesine asit yağışları adı verilir. Şekil 1'de oluşumu gösterilen bu yağışların pH derecesi içerisindeki kükürtdioksit ve azotoksit miktarına bağlı olarak 3'e kadar düşmektedir. Yağışların normal yağıştan daha fazla asitlik derecesine sahip olmaları, düştükleri bölgeyi (bitkiler, toprak, yapılar, göller, akarsular, denizler vb) kirletmekte, doğal yapılara ve canlılara zarar vermektedirler¹⁴.

3.1.2. Partikül Madde (PM)

Partikül madde (PM) terimi, havada bulunan katı partiküller ve sıvı damlacıkları ifade eder. İnsan faaliyetleri sonucu ve doğal kaynaklardan, doğrudan atmosfere karışır. Katı ve sıvı partiküllerin boyutları geniş bir aralığa yayılır. Asılı parçacıklar çapları 0.1µm ila 100 µm arasında değişen maddelerdir. Sağlığa konu olan partiküller, aerodinamik çapı 10 µm. nin altındaki partiküllerdir. Bu boyut aralığındaki partiküller, solunum sistemi içine girerek birikim yapabilir. 2.5 µm den daha küçük partiküller "ince partiküller" olarak adlandırılır. İnce partikül kaynakları, tüm yanma prosesleri ve bazı endüstriyel prosesleri içerir. 2.5-10 µm. aralığındaki partiküller, "kaba" partiküller olarak adlandırılır. Kaba partikül kaynakları ise kırma, öğütme işlemleri, yollardan kalkan tozlardır.¹⁵

Asılı parçacıkların ana kaynaklarını esas olarak çimento fabrikaları, metal endüstrisi ile araçlar oluşturur. Asılı parçacıkların en büyük doğal kaynağı volkanlardır.¹⁶

¹⁴ Çevre Notları, a.g.e., s. 17

¹⁵ İncecik, a.g.e.

¹⁶ R. M. Harrison, Understanding Our Environment: An Introduction To Environmental Chemistry And Pollution, University Of Birmingham, 1998

3.1.3. Azot Oksitleri (NO_x)

Genel görterimi NO_x olan azotoksitlerin en önemli formları NO ve NO₂ gazlarıdır. Yanma sürecinde yüksek sıcaklık bölgesinde oluşan NO ile bunun daha ileri oksitlenme ürünü olan NO₂ gazlarının toplamından oluşur. Asit yağışlarına katkıda bulunurlar.

NO_x gazları NO₂ eşdeğeri ile tanımlanır. Yanma kaynaklı olan bu gazlardan asıl zehirli olanı NO₂'dir. NO daha çok NO₂ hammaddesi olduğu için önem taşır. Her iki gaz da doğal azot çevriminin birer parçasıdır.

Azotoksitlerin ana kaynağı motorlu araçlar ve enerji üretim istasyonlarıdır. Doğal kaynaklarından birisi topraktaki organik çürümelerdir. NO_x'un doğal kaynakları arasında orman yangınları, yıldırım ve topraktaki mikrobiyolojik işlemler vardır. NO_x'in çoğu NO olarak yanma sonucu ortaya çıkar. Azotmonoksit (NO) renksiz ve kokusuz, oldukça zararsız bir gazdır. Azotdioksit oksitlendiği zaman sarı kahverengi keskin kokulu ve zararlı bir gaz haline gelmektedir. Atmosferde kalıcılık süresi yaklaşık bir gündür.¹⁷

3.1.4. Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit renksiz, kokusuz ve tatsız bir gaz olup karbon içeren yakıtların yanması ile ortaya çıkar. Kararlı bir gaz olan karbonmonoksitin atmosferde kalıcılık süresi iki aydan fazladır. Bütün dünyada CO emisyonu yılda toplam 232 milyon ton olduğu göz önüne alındığında, bu miktarın dünya atmosferi için yarattığı sorun daha da belirgin olmaktadır. Dünyadaki CO emisyonunun yaklaşık olarak % 70'inden fazlası ulaşım sektöründen gelmektedir. Ayrıca bütün dünyada karbon monoksit oluşumunun aşağı atmosferde kalması halinde ise, bu kararlı gazın her yıl 0.03 ppm artacağı hesaplanmaktadır.

Şehir havasında bulunan CO insan sağlığına önemli etkilerde bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi karbon monoksitin kandaki hemoglobin hücresinin oksijen taşıma kabiliyetini azaltmasıdır. CO yanma olayının ara ürünüdür. Yanma sırasında yeterli O₂ varsa CO kendisinden daha az zararlı olan CO₂'ye dönüşür, yoksa havaya aynen karışır. Yangınlar gibi doğal kaynaklar ve endüstriyel proseslerdeki yakıtların yanması gibi diğer kaynakları da bulunmaktadır. CO konsantrasyonları, tipik olarak,

¹⁷ J. Buffle, H. Leeuwen, Environmental Particles, Environmental Analytical And Physical Chemistry Series, Lewis Publishers, 1992

soğuk mevsimde en yüksek değere ulaşır. Zira düşük sıcaklıklar eksik yanmaya neden olur ve kirleticilerin yer seviyesinde çökmesine sebep olur.

3.1.5. Hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbonlar (HC), hidrojen ve karbondan oluşan bileşiklerdir. Hidrokarbonlar, daha çok petrol ürünlerinin yanmasından veya endüstriyel çözücülerden meydana gelmektedir. İnsan kaynaklı emisyonlar dünya genelinde 100 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. İnsan kaynaklı emisyonlar doğal kaynakların yirmide birini oluşturulmaktadır. Ayrıca, doymamış hidrokarbonlar ve aromatiklerin smog (Duman+Sis) olayının meydana gelmesinde büyük önemi vardır.

Hidrokarbonların atmosferde kalıcılık süresi tam olarak bilinmemekle beraber hidrokarbonların önemli bir kısmını oluşturan metanın ömrü 0.94 yıl olarak tahmin edilmektedir. Etilenin bitki büyümesini durdurduğu bilinmektedir. Katran, zift gibi sıvı-katı fazlarda olan yanmamış hidrokarbonlar ise kanser yapıcı etkileri vardır. Hidrokarbonlar atmosfere motorlu araç egzozlarından, benzin doldurup boşaltırken, metal ve boyama işlerinde kullanılan organik çözücülerden girerler.¹⁸

Gaz haldeki hidrokarbonların yerel boyuttaki doğrudan sağlık etkilerinin yanında, atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonlar sonunda oluşturdukları ürünler büyük öne taşır. Atmosferde güneş ışığı etkisiyle ortaya çıkan fotokimyasal reaksiyonların ürünleri bazen bu organik maddelerin kendilerinden de daha etkili ve zararlı olabilmektedir.

Metan ile başlayan bu gruptaki organik maddeler daha çok sera etkisiyle tanınır. Çünkü metan molekülünün de karbon dioksiti gibi güneş radyasyonunu yutarak ısıya dönüştürme özelliği bulunmakta, üstelik yine onun gibi atmosferdeki derişimi insan eliyle sürekli arttırılmaktadır.

3.2. Kirleticilerin Etkileri

Havaya salınan kirleticilerin kaynaklarıyla, kaybolup gittikleri rezervuarları arasında izledikleri yol boyunca çeşitli alıcılar, hava kirlenmesinin etkisinde kalırlar. Hava kirliliğinin etkileri 3 ayrı grupta incelenir.

¹⁸J. Seinfeld, Air Pollution Physical And Chemical Fundamentals, Mc Graw-Hill, Amerika, 1975

3.2.1. İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Geleneksel hava kirleticilerin çoğu, solunum ve kardiyovasküler sistemleri direk etkiler. Hastalık, ölüm ve akciğer fonksiyon bozukluklarındaki artışlar SO₂ ve partikül madde düzeylerindeki artışlarla ilişkilidir. NO₂ ve ozon da solunum sistemini etkiler, bunlara akut maruz kalma iltihaplı hastalık ve geçirgenliğe duyarlılık, akciğer fonksiyon bozuklukları ve nefes borusu reaktivitesinde artışlara neden olur. Ozonun aynı zamanda göz, burun ve boğazı tahriş ettiği ve baş ağrılarına neden olduğu bilinmektedir. CO hemoglobine bağlanabildiğinden ve kandaki oksijenin yerini alır, bu da kardiyovasküler ve sinirsel davranış problemlerine yol açar. Kurşun kemik iliğindeki kırmızı kan hücrelerinde hemoglobin sentezini engeller, karaciğer ve böbrekleri bozar ve nörolojik zararlara yol açar.

Hava kirliliğinin doğrudan insan sağlığına etkileri, kirliliğe maruz kalınan süre ve yoğunluk ile ilgili nüfusun genel sağlık durumuna bağlı olarak değişir. Çocuklar ve yaşlılar, solunum ve kardiyovasküler hastalığı olanlar, alerjik olanlar ve egzersiz yapanlar gibi nüfustaki bazı gruplar daha çok risk altındadır.

3.2.2. Bitki ve Hayvan Üzerindeki Etkileri

İnsanlarda görülen hava kirliliği etkilerine, bir ölçüde hayvanlarda da rastlanmaktadır. İnsanlar ve hayvanlar dışında bitkiler de hava kirliliğinin etkileriyle karşı karşıyadır. Hava kirliliğini meydana getiren gazlar, bitkilerin solunumu sırasında gözeneklerden içeriye girerek fotosentezi yavaşlatır. Özellikle tarımsal bitkilerdeki bu olumsuz etki, bir ölçüde ürün azalmasına sebep olur. Kükürtdioksitin en çok etkilediği bitki türleri, bazı önemli tahıl ürünleridir. Ağaçların yapraklarında görülen renk bozulmaları da hava kirliliğinin bitki hayatına sebep olduğu ayrı bir bozulmadır.

Kükürtdioksit geniş yapraklı bitkilerde damarlar arası yaprak dokusu üzerinde beyaz-saman sarısı lekeler yapar. Aynı kirletici madde ot şeklindeki bitkilerin yapraklarında orta damarın her iki yanında beyaz-esmer lekeler, çam gibi iğneli ağaçlarda ise yaprakların uç kısmında kahverengi nekrozlar ve iğne üzerinde ara ara renksiz bölgeler meydana getirir.

3.3.3. Eşyalar Üzerindeki Etkileri

Canlıların sağlığına yaptıklarının dışında hava kirliliğinin bilinen etkileri, bina yüzeylerinin, elbise ve çamaşırların kirlenip tozlanması ve aşınmasıdır. Havada bulunan ortalama 0,3 mikron çapındaki ince toz tanecikleri eşyaların yüzeyine yapışarak bir süre sonra bunların rengini değiştirir ve karartır. Sık sık temizlenen eşyalar çabuk eskir ve temizlenme masrafları artar.

Hava kirlenmesinin malzeme üzerinde diğer bir etkisi de metal ve mermer yüzeylerinde paslanma ve aşınmanın artışıdır. Özellikle kükürtdioksit bakımından zengin atmosferde metaller çok hızlı şekilde paslanırlar. Fotokimyasal sis sırasında lastik kısımların çatlayarak parçalandığı gözlenir. Ozon ve diğer oksitleyici maddelerin kauçuk malzemeyi parçalama etkisi de vardır.

Kumaş üzerinde hava kirleticilerin etkisi parçalama, delme, rengini soldurma şeklinde görülür. Çeşitli pigment boyalarda, öreğin kurşun oksit bazlı boyalarda H_2S ve nemlilik kurşun sülfür etkisiyle kararma ile belirginleşen yapısal değişimlere yol açabilmektedir. Beyaz boyların esmerleşip kararmasına yol açan bu etki estetik bakımdan uygun olmayan bir görünüme yol açar.

Hava kirlenmesinin ve özellikle havada bulunan aerosollerin görüş mesafesini nasıl düşürdüğünü açık havalı bir günde bir kente uzaktan bakarak izlemek mümkündür.

4. YAKIT TÜRLERİ VE ETKİLERİ

Yakıldıkları zaman ortama kullanılabilir miktarda ısı veren maddelere yakıt denir. Yanma tutuşma ile başlar. Çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilen tutuşma işleminde amaç, yakıt hava karışımının sıcaklığını yanma tepkimelerinin kendiliğinden gelişeceği seviyeye getirmektir. Tutuşmanın oluşacağı en düşük sıcaklık, minimum tutuşma sıcaklığıdır ve bu sıcaklıktan düşük seviyelerde tutuşma olmaz. Tutuşma sıcaklığı yakıt/hava oranı ile değişmektedir. Tutuşma için gerekli koşullar uygun olsa bile, tutuşturucunun devreye girmesi ile ilk tutuşma arasında bir süre geçer. Tutuşma gecikmesi olarak tanımlanan bu süre yakıt/hava oranının artması ile kısalmaktadır.

Yakacaklar içerisindeki yanabilir elemanlar karbon, hidrojen ve bunların bileşenleridir. Tablo 8'de yakıtlardaki çeşitli elemanların özellikleri ve ısıl değerleri verilmiştir.

Tablo 8: Yakacaklardaki Çeşitli Elemanların Yoğunluk ve Isıl Değerleri

	Yoğunluk (kg/n.m ³)	Üst Isıl Değer (kj/kg)	Alt Isıl Değer (kj/kg)
Karbon	-	32 779	32 779
Hidrojen	0,085	142 100	120 070
Oksijen	1,355	-	-
Azot	1,192	-	-
Kabondioksit	1,874	-	-
Karbonmonoksit	1,185	10 110	10 110
Metan	0,681	55 530	49 995
Etan	1,236	51 921	47 490
Propan	1,916	50 400	46 371
Bütan	2,534	49 590	45 769
Pentan	3,05	49 065	45 371
Hekzan	3,64	48 706	45 131
Kükürt	-	9 257	9 257
Hidrojen Sülfür	1,459	16 506	15 204
Kükürtdioksit	2,776	-	-
Su Buharı	0,762	-	-
Hava	1,227	-	-

TMMOB, Yayın No:174

4.1. Yakıt Türleri

Fiziki durumlarına göre yakıtlar;

- Katı Yakıtlar
- Sıvı Yakıtlar
- Gaz Yakıtlar

olmak üzere 3'e ayrılır.

4.1.1. Katı Yakıtlar

Bunlar temel olarak kömürdür. Yapılarında nem, uçucu madde, kül, karbon, hidrojen, kükürt, azot, oksijen gibi çeşitli madde ve element bulunur. 6000-7000 kcal/kg ısı değerindeki maden kömüründen başlayarak, 1500-2000 kcal/kg'lık asfaltit gibi katı haldeki fosilleşmiş organizma ve kalıntılarının tümüne kömür adı verilir. Isıl değeri azaldıkça kömürün nem ve yabancı madde oranı artar. Kül içeriğinin fazla olması da, nemin fazla olmasına benzer bir şekilde yakıtın ısı değerini düşürür¹⁹.

¹⁹ Müezzinoğlu, a.g.e., s. 131

Kömürler uygulamada alt ısıl değerine göre genelde linyit ve taş kömürü olarak adlandırılmaktadır. Alt ısıl değeri 3000-4500 kcal/kg ve üzeri olan kömürler taş kömürü, altında olan kömürler de linyit olarak tanımlanmaktadır. Alt ısıl değeri 3000-4500 kcal/kg'ın altında olan linyitler düşük kalitede linyitlerdir. Türkiye'de halen sınırlı bir havza içinde bulunan taşkömürü rezervleri teknik ve ekonomik zorluklar nedeni ile kısıtlı üretim imkanlarına sahiptir. Linyit yatakları ise ülke içine yayılmış olup, oldukça zengin rezervleri bulunmaktadır. Ancak bu rezervlerin çoğu düşük kalorili linyitler teşkil etmektedir. Değişik linyit türleri ile taş kömürünün kaba analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak aşağıdaki Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9: Bazı Kömür Türlerinin Analiz Değerleri

Kömürün İçeriği	Linyit (Zayıf)	Türk Linyiti	Taşkömürü
Rutubet (%)	55-60	8-40	4-10
Kül (%)	2-4	10-40	12-15
Uçucu Madde (%)	54-55	40-50	20-28
Alt Isıl Değeri (kcal/kg)	1600-2000	2400-4200	6200-7000

Müezzinoğlu, a.g.e.

Yüksek oranda uçucu madde, kükürt ve kül içerikleriyle tanınan linyit kömürleri bugün teknolojik önlemler alınmak suretiyle çeşitli aşamalardan geçirilerek yakılabilmektedir²⁰.

4.1.2. Sıvı Yakıtlar

Genelde ham petrolün damıtılması ile elde edilir. Sıvı yakıtlar grubunda birçok örnek olmasına rağmen en çok kullanılanı fuel-oil no.6 (%1 kükürtlü)'dür. Fuel-oil no.6 (%1 kükürtlü), kükürt artıklarının doğaya daha az zarar vermesi amacı ile üretilmiş halen Türkiye pazarında bulunan standart fuel-oil no.6 ve kalorifer yakıtı pazarına hitap etmektedir. İçeriğinde en fazla %1 oranında kükürt bulunan, standart kalorifer yakıtından en az % 50, fuel-oil no.6'ya göre ise en az % 400 daha az kükürt içeren ve de fuel-oil no.6'dan daha fazla akışkanlığı olan bir yakıt türüdür.

Fuel-oil no.6 (%1 kükürtlü), elektrik, ısı veya buhar ihtiyacı olan her türlü endüstriyel tesis, fabrika veya binalarda enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Fuel-oil no.6 (%1 kükürtlü), ticari işletmelerde daha ekonomik çözümler sunmasının yanı sıra,

²⁰ Kömür Komisyonu Raporu, Eskişehir, 1995

Fuel-oil no.6'nın kullanılması yerel yönetimlerce yasaklanmış olan il veya bölgelerde, içerdiği düşük kükürt oranı nedeniyle çevreyle daha dost bir yakıt türü olarak kullanılabilir²¹.

4.1.3. Gaz Yakıtlar

Hava gazı gibi yapay olanlarla petrolün damıtılmasıyla üretilen sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve doğal gaz bu sınıfa girer.

Gaz yakıtlarda hem yanma daha iyi ve kolay, hem de kül ve kükürt gibi atık sorunları olmadığından, çevre kirletici etkileri minimum düzeydedir. Aşağıdaki tabloda doğal gazın diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında havaya daha az kirletici bıraktığı görülmektedir. Ancak, yüksek yanma sıcaklıklarında çalıştığından azot oksit oluşumlarının özel tasarlanmış sistemler kullanılarak kontrol edilmesi şarttır²².

Tablo 10'da kömür, fuel-oil ve doğalgazın 1000 kcal enerjiye göre havaya bıraktıkları kirletici miktarları verilmiştir.

Tablo 10: Yakıt Türlerinin Emisyonlarının Karşılaştırılması

	SOx	NOx	PM
Kömür (Katı)	11,37	0,5	0,011
Fuel-Oil (Sıvı)	2,68	0,23	0,1829
Doğalgaz (Gaz)	0,011	0,1829	0,0046

Kütahya'da Hava Kirliliği ve Çözüm Yolları Konferansı, 1998

4.2. Doğalgaz Hakkında Genel Bilgi

Doğalgaz günümüzde milyonlarca yıl öncesinde dünyada yaşayan bitki ve hayvan artıklarının yer katmanları arasında basınç ve sıcaklık altında diğer yakıtlar gibi dönüşüme uğramış büyük oranda metan gazından oluşan fosil kaynaklı bir gaz yakıttır²³.

Kimyasal değişikliklere uğrayarak meydana gelen doğalgaz genelde sıradağ yamaçlarında petrol yatakları ile birlikte veya serbest olarak bulunmaktadır²⁴.

²¹ <http://www.seckinpetrol.com/bpfo61.htm>

²² Müezzinoğlu, a.g.e., s. 134

²³ T.M.M.O.B. Makine Mühendisleri Odası, Konut Tesisatı İşletmecileri İçin Doğal Gaz El Kitabı, Yayın No: 174, Ankara, 1995

²⁴ Osman Genceli, Doğal Gazın Özellikleri, Doğal Gaza Dönüşüm Semineri, İ.T.Ü., 1989

4.2.1. Doğal Gazın Tanımı

Doğalgaz, içinde büyük oranda metan (CH_4), daha az oranda etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), bütan (C_4H_{10}), azot (N_2), karbondioksit (CO_2), hidrojen sülfür (H_2S), helyum bulunduran renksiz, kokusuz, yüksek kalorili bir gazdır. Tablo 11’de Türkiye’de kullanılan doğal gazın özellikleri verilmektedir. Genellikle basınç ayarlı borularla taşınır. Yoğunluğu $0,6-0,8 \text{ kg/m}^3$ arasındadır (hava:1). Havaya göre daha hafif bir gazdır. Bu yüzden havada uçucu bir özelliğe sahiptir. Bugün üretilen doğal gazın %40 kadarı petrol ile aynı yatlardan, %60 kadarı ise petrolün olmadığı yatlardan sağlanmaktadır²⁵.

Tablo 11:Rusya’dan İthal Edilen Doğal Gazın Garanti Edilen Özellikleri

	Garanti Edilen	Fiili
Metan (CH_4)	min %85	% 98,68
Etan (C_2H_6)	max %7	%0,211
Propan (C_3H_8)	max %3	%0,043
Bütan (C_4H_{10})	max %2	%0,017
Diğer Hidrokarbonlar (C_xH_y)	max %1	%0,033
Karbondioksit (CO_2)	max %3	%0,035
Oksijen (O_2)	max %0,02	-
Azot (N_2)	max %5	%0,829
Hidrojen Sülfür (H_2S)	max 5,1 mg/n.m ³	-
Toplam Kükürt (S)	max 102 mg/n.m ³	-

TMMOB, Yayın No: 167,

4.2.2. Doğalgazın Özellikleri

Doğalgazın en önemli özelliklerinden birisi zehirsiz olmasıdır. Doğalgazın solunması halinde zehirleyici ve öldürücü özelliği yoktur. Ancak ortamda çok fazla birikmişse teneffüs edilecek oksijen azaldığından dolayı boğulma tehlikesi vardır. Bu yüzden şehre dağıtılmadan önce gaza İGDAŞ tarafından koku verilmektedir. Böylece ortamda gazın varlığını hissetmek mümkün olmaktadır.

Doğalgazın en önemli tehlikesi diğer gaz yakıtlarda da olduğu gibi belirli oranlarda hava ile karışması halinde patlayıcı olmasıdır. Havadaki doğalgaz çok az veya çok fazla ise herhangi bir patlama olmaz. %5-15 aralığında bir karışım söz konusu olduğunda tehlike vardır. Bu nedenle gaz sızıntılarının olmaması, olacak kaçakların

²⁵ Doğal Gaz, LPG, Petrol ve Enerji Dergisi, Sayı No: 54, İstanbul, 1998

hemen belirlenmesi ve gaz sızabilecek yerlerin iyi havalandırılmış olması emniyet açısından çok önemlidir.

Doğalgaz hafif bir gazdır. Dolayısı ile hava içinde yükselme eğilimindedir. Gaz kaçaqları havayla karışmadan yüksekte toplanır. Toplanan bu gaz havalandırma bacalarıyla kolaylıkla dışarıya atılabilir²⁶.

Çevreyi kirleten üç ana faktör doğalgaz içerisinde bulunmamaktadır. Bunlardan birincisi kükürt oksitlerdir. Bu madde duman gazındaki ve havadaki nemle sülfürik aside dönüşür. Böylece hem kazan borularının aşınmasına, hem de asit yağmurları ile çevrenin tahrip olmasına sebep olur. Ayrıca solunması halinde insanlar için zehirleyici etkisi vardır. İkincisi is ve uçan kül parçacıklarıdır. Özellikle kömür yakılması halinde çevreye yayılan bu katı parçacıklar temizlik ve insan sağlığı açısından son derece zararlıdır. Ayrıca kazan yüzeylerini kaplayarak verimi ve ısı kapasiteyi düşürür. Üçüncü faktör ise yanmamış gazlardır. Bunlar içinde özellikle karbonmonoksit belirli dozlara ulaştığında öldürücü etkisi olan son derece zehirli bir maddedir. Her üç zararlı da doğalgaz yanma ürünlerinde bulunmamaktadır.

4.2.3. Doğalgazın Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması

Doğalgaz içinde yanmaya katılmayan madde bulunmadığı için tümüyle yanar. Kül bırakmadan yandığı için kül alma sistemine gerek yoktur. Baca kaybı ise diğer yakacıklara göre daha çok düşüktür. Sıvı ve katı yakacaklarda duman gazı sürüklenen kurum, kül gibi maddeler ısı transfer yüzeylerine yapışarak ısı direnç problemleri doğururlar. Hem fuel-oil'in hem de kömürün depolanması gerekmektedir. Bu nedenle kazan dairelerinde yakıt tankı veya kömürlük hacimleri oluşturulmalıdır. Oysa doğalgaz da bu problem yoktur.

Doğalgaz yakıcıları tamamen otomatik kontrolle, insana gerek duymadan ve emniyetli bir şekilde çalışırlar. Devreye çabuk girip, devreden çabuk çıkabilirler.

Doğalgazlı kazanlarda ısı verim yüksektir. Bu kazanın ısı veriminin yüksek olması, kazanı terk eden duman gazlarının sıcaklığının düşük olmasına bağlıdır. Fuel-oil veya kömür yakılması halinde kükürtoksitlere bağlı olarak, asit korozyonu nedeniyle duman sıcaklıkları fazla düşürülmez.

²⁶ Rüknettin Küçükçalı, Doğal Gaz Tesisatı, No: 74, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1994

Doğalgaz kömür ve fuel-oil'le karşılaştırıldığında yanma özellikleri açısından mükemmel bir yakıttır. Tablo 12'de doğalgazın diğer yakıtlarla içeriklerine göre karşılaştırılması verilmiştir. Doğalgazın birim kütle başına ısı değeri diğerlerine göre daha yüksektir. Dolayısıyla herhangi bir dönüşüm işlemlerinde, kazanlarda doğalgaza geçiş nedeniyle bir kapasite düşmesi söz konusu değildir.

Tablo 12: Çeşitli Yakıt Türlerinin Karşılaştırılması

	Kömür	Fuel-Oil	Doğal Gaz
Karbon Oranı (%)	77,4	84,58	73,98
Hidrojen Oranı (%)	1,4	10,9	24,57
Kükürt Oranı (%)	1	4	-
Kül Oranı (%)	8	-	-
Nem Oranı (%)	7	-	-
Isıl Oranı (KJ/kg)	29 600	39 220	49 085
Baca Gazındaki Buhar Oranı (%)	1,8	8,1	16,9
Baca Gazındaki SO ₂ Oranı (%)	1,644	5,5	-
Teorik Özgül Hava Miktarı (Nm ³ /kg)	6,3	10,4	10,3
Gerçek Özgül Hava Miktarı (Nm ³ /kg)	10,1	13	10,3
Hava Fazlalığı (Nm ³ /kg)	10,5	13,4	11,6

TMMOB, Yayın No: 174

Sisteme verilen doğalgaz ile yakma havasının optimum değerinde karıştırılması, yakma sırasında yakıta eşdeğer havanın verilmesi enerji tasarrufu sağlar. Bu şekilde ne yanmamış gaz ne de yanmaya katılmamış hava fırını terk eder. Doğalgaz iyi bir yakıt olduğundan, tam yanma için gerekli fazla hava değeri düşüktür²⁷.

Doğalgazın temiz bir yakıt olması kazan bakım işletmesi açısından önemli bir avantaj sağlar. Fuel-oil veya kömür yakılması halinde kalorifer kazanı ısıtma yüzeyleri üzerinde biriken kül ve kurum tabakası hem yüzeyleri aşındırır hem de ısı geçişini engelliyerek kazan verimini düşürür. Bu yüzden kazan boruları haftada en az bir kere temizlenmek zorundadır. Halbuki doğalgaz kullanımında böyle bir sorun yoktur.

Bütün bu temizlik, depolama, yakıt hazırlama ve kül atma maliyetleri göz önüne alınırsa, doğalgaz yakılmasının gerek yatırım gerekse işletme maliyetleri bakımından önemli kazançlar sağladığı kaçınılmaz bir gerçektir. Yapılan çalışmalara göre doğalgaz yakılması halinde sadece işletme giderlerinde fuel-oil'e oranla yıllık tüketiminin %1'i mertebesinde bir tasarruf sağlanmaktadır. Kömür olması halinde bu kazanç çok daha

²⁷ Rüknettin Küçükçalı, Isısan Çalışmaları, No:75, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1994

yüksek olacaktır. Kazan verimlerindeki artışlarda dikkate alındığında doğalgazın diğer yakıtlara göre en az %10 mertebesinde ilave işletme ekonomisi sağladığı söylenebilir²⁸.

Doğalgazın yanma prosesinde çevreyi kirletme potansiyeli şöyledir.

- Yok denecek kadar SO_x emisyonu bulunur.
- Diğer yakıtlara göre oldukça düşük partikül emisyonu taşır.
- NO_x emisyonu şöyledir, Kömür > Sıvı Yakıt > Doğalgaz²⁹

4.3. Yakıt Türlerinin Çevreye Etkisi

Kömür, insan sağlığına ve çevreye olumsuz etkileri olan bir yakıt türüdür. Kömürlerin taşınması ve stoklanması sırasında insan sağlığı bakımından bir çevre sorunu oluşturmaktadır. Tüketim sırasında, baca gazı halinde çevreye yayılır ve çevreyi olumsuz olarak etkiler.

Petrolünde çevreye olumsuz etkileri vardır. Üretimi, rafinajı, taşınması ve kullanılması sırasında çevreye olumsuz etkiler yapmaktadır. Termik santrallerde kullanılan kömür ve sıvı yakıtlar çevreyi daha ziyade hava atıkları ile etkilemekte ve kirletmektedir. Foel-oil ve kömür santrallerinde SO₂ ve uçucu küller bu kirleticilerin başında gelmektedir³⁰.

Ayrıca plansız şekilde arazi kullanımı temiz alanı daralttığından olumsuz etkileri artırmaktadır. Katı, sıvı ve gaz yakacakların çevreye olan etkileri Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13: Yakıtların Yanma Öncesi Çevre Üzerindeki Etkileri

Proses	Katı Yakıt	Sıvı Yakıt	Doğal Gaz
Depolama	Kendi kendine ısınarak açık alanda yanma meydana gelme	Yangın ve patlama tehlikesi arz eden tanklar	Yangın ve patlama tehlikesi arz eden tanklar
Dağıtım	Kara ve demiryolu	Kara ve demiryolu, Boru hattı	Boru hattı
Kaçak Etkisi	-	Yangın ve patlama tehlikesi	Yangın ve patlama tehlikesi

Selçuk, a.g.e.

²⁸ Rüknettin Küçükçalı, Doğal Gaz ve LPG Tesisatı, No: 172, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998

²⁹ Mustafa Selçuk, Kazanların Doğal Gazla Dönüşümü, Konutların Isıtılmasında Doğal Gaz Semineri, Ankara, 1988

³⁰ T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 1985 Enerji Politikaları, Ankara, 1984

Hidrolik santraller çevre ile etkileşimi sonucu olumlu etkileri olduğu gibi (taşkın koruma, çevre ziraatını geliştirme, ağaçlandırma ve estetik kalite) olumsuz etkileri vardır. Santrallerin inşaatı sırasında toz ve egzoz gazları, çevre kirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca baraj gölünün yükselesi ve suyun hızının azalması, nehir sularında yaşayan canlıların yaşama riski, santrallerde jeneratörlerin etrafında oluşan manyetik alanın insan sinir sistemi ile fizyolojik yapısı üzerindeki menfi etkileri başlıca çevre sorunlarını oluşturmaktadır³¹.

5. HAVA KİRLİLİĞİNE KARŞI ALINCAK ÖNLEMLER

Hava kirlenmesinin önlenmesi amacı ile alınacak önlemleri kısa, orta ve uzun vadeli olarak belirtebiliriz.

5.1. Kısa Vadede Alınabilecek Önlemler

- Isınma amacı ile ısı değeri yüksek, kükürt içeriği düşük yakıtların kullanılması.
- Taşıtlarda kurşun içeriği düşük benzinin kullanılması
- Kişisel vasıta kullanımı yerine toplu taşımacılığın yaygınlaştırılması ve elektrikli taşıma araçlarının geliştirilmesi ve kullanımının artırılması
- Egzozdaki kirleticilerin minimum düzeye indirilmesinin sağlanması amacıyla katalitik konvektörlerin kullanılması.
- Yakıt tasarrufunun sağlanması amacıyla ısı izolasyon tekniklerinin azami ölçüde kullanılması.
- Yanma veriminin artırılması için soba boruları ve kalorifer kazanlarının alev borularının temizlenmesi.

5.2. Orta Vadede Alınabilecek Önlemler

- Mevcut yakıtların kirleticilik vasfını minimum düzeye indirmek amacıyla uygun teknolojilerin kullanılması.
- Yakma sistemlerinin ıslahı, bu amaçla gerekli standartlar ile yasal mevzuatların uygulanması, teknik kontrol ve belgeleme hizmetlerinin gerçekleştirilmesi.

³¹ Tuncay Yılmaz, Çevre ve İnsan Dergisi, Sayı 8, Ankara, 1988

- Binalarda azami ısı yalıtımını sağlayacak ekonomik yalıtım önlemlerinin uygulanması.
- Sanayi ve iş merkezlerinin mümkün olduğu kadar yerleşim merkezleri dışına alınması
- Yakıt tüketimi fazla olan büyük bina ve kuruluşlardan başlayarak baca filtresi uygulamasına geçilmesi.
- Ağaçlandırma çalışmalarının artırılması, özellikle hava kirliliğinin yoğun olduğu yerlerde yeşil alanların artırılması

5.3. Uzun Vadede Alınabilecek Önlemler

- Ekonomik ve teknik yönden detaylı incelemeler yapılarak, en azından kirlenmenin çok yoğun olduğu semtlerde elektrikle ısıtma uygulamasının başlatılması.
- Doğal gaz ile ısıtmanın yaygınlaştırılması.
- Merkezi sistem ile ısıtılmanın yaygınlaştırılması.
- Yeraltındaki ısının yüksek verimli ısı transfer pompalarıyla alınıp kullanılmasının uygulanabilirliğinin araştırılması.
- Şehir yerleşim planlarında meteorolojik faktörlerin özellikle rüzgar durumunun göz önünde bulundurulması
- Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin en temiz enerji kaynaklarından biri olduğu düşünülerek uygun bölgelerde bu kaynaktan yararlanılmasının sağlanması.

6. KONUNUN HUKUKİ BOYUTU

Türkiye’de endüstri tesislerinden kaynaklanan hava kirliliğinin kontrol altına alınmasına ilişkin düzenlemeler, 2 Kasım 1986 tarihli “Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği”nde yer almaktadır. 2. maddede “Yönetmeliğin amacı, her türlü faaliyet sonucu atmosfere yayılan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki emisyonları kontrol altına almak, insanı ve çevresini havadaki kirlenmeden doğacak tehlikelerden korumak; hava kirliliği sebebiyle çevrede ortaya çıkan umuma ve komşuluk münasebetlerine önemli zararlar veren olumsuz etkileri gidermek ve bu etkilerin ortaya çıkmamasını sağlamaktır” denilmekte ve 5. maddede hava kirleticiler “havanın tabii bileşimini değiştiren is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki kimyasal maddeler”

olarak tanımlanmaktadır. Bu yönetmelik ile korunmaya çalışılan hedef dış hava kalitesi olup, sanayi kuruluşlarının emisyon sınırlarına uyumu gözetilerek, dış hava kalitesinin iyi olması sağlanmaya çalışılmaktadır.

Hava kalitesi sınır değerleri, yönetmeliğin 6. maddesinin ilk fıkrasında “insan sağlığının korunması, çevrede kısa ve uzun vadeli etkilerin ortaya çıkmaması için atmosferdeki hava kirleticilerinin bir arada bulduklarında, değişen zararlı etkileri de göz önüne alınarak, tespit edilmiş konsantrasyon birimleriyle ifade edilen, aşılması gereken, genellikle bir yıllık periyotları kapsayan” seviyeler olarak ifade edilmektedir.

Yeni kurulacak tesisler, yaratacakları hava kirletici emisyonların HKKY’nce tanımlanmış sınır değerleri aşamayacak şekilde tesisi, havaya ve çevreye vereceği zararlı etki yapmaması için gereken teçhizat ile donatacaklarını belgelemek kaydı ile önce emisyon ön izni alırlar. Tesis kurulup fiili üretime başladıktan sonra gereken test, ölçüm ve tespitleri yaparak veya yaptırarak, emisyon ön izninin iki yıl içinde emisyon iznine dönüştürülme yükümlülüğü vardır.

Emisyon izne bir kereye mahsus verilen ve sürekli değerlendirilebilecek bir izin olmayıp, başvuru koşulları değiştiğinde ve ara kontrollerde sorun çıktığı görüldükçe askıya alınabilecek veya tamamen iptal edilebilecek bir belgedir.

Tablo 14: Hava Kirliliğini Önlemeye Yönelik Genelgeler

TARİH	KONUSU
25.EYLÜL.1992	Motorlu Taşıt Egzoz Gazları
22.EKİM.1992	Motorlu Taşıt Egzoz Gazlarının Yol Açtığı Kirliliğin Önlenmesine İlişkin Tebliğ
24.MAYIS.1993	Yakıt Programları
09.KASIM.1993	Hava Kirliliği Kontrol Tedbirleri
19.EYLÜL.1994	Kış Sezonu Hava Kirliliği Kontrol Tedbirleri
13.OCAK.1995	Isınmada Petrol Koku Kullanımının Yasaklanması
01.EYLÜL.1995	Hava Kirliliği Kontrol Tedbirleri
23.KASIM.1995	Isınmada Petrol Koku Kullanımının Yasaklanması
14.EKİM.1996	Hava Kirliliği Kontrol Tedbirleri
14.MAYIS.1997	Çimento Fabrikalarının Denetlenmesi
27.MAYIS.1997	Sanayi Amaçlı Petrol Koku Kullanımına Ebat Sınırı Getirilmesi ve Denetimi
10.EYLÜL.1997	Çevre Kirliliği Kontrolü
24.EKİM.1997	Motorlu Taşıt Egzoz Gazlarının Azaltılması
06.EKİM.1998	Hava Kirliliği Kontrolü

İKİNCİ BÖLÜM

ZAMAN SERİSİ ÖNGÖRÜ AMACIYLA ANALİZİNDE ARIMA MODELLERİ

1. ZAMAN SERİSİ TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

1.1. Zaman Serisi ve Zaman Serisi Çözümlemesinin Tanımı

Gözlemlerden elde edilen verilerin zaman değişkeninin konumlarına göre aldığı değerler dikkate alınarak sıralanmasıyla elde edilen serilere zaman serisi denir¹.

Başka bir tanımla, gözlem değerlerinin zaman vasfının şıklarına göre sıralanmasıyla elde edilen serilere zaman serisi denir. Örneğin sayım yıllarındaki Türkiye nüfusunu, yıllık ihracat miktarlarını, aylık ortalama sıcaklıkları, haftalık veya günlük gazete satışlarını, günün saatlerine göre trafik yoğunluğunu gösteren seriler bu niteliktedir².

Zaman serilerinin matematik sembollerinden yararlanarak şu şekilde tarif edebiliriz; X bir değişken olmak üzere t_1, t_2, \dots, t_k gibi zamanlarda yapılan gözlemlerden elde edilen değerler X_1, X_2, \dots, X_k şeklinde gösterilirler. Bu durumda, X değişkeni için gözlenen ölçümler zaman değişkeninin bir fonksiyonudur. X değişkeni ile zaman arasındaki bu fonksiyonel ilişki;

$$X=f(x)$$

şeklinde ifade edilir³.

Elde edilen zaman serilerinin;

- Unsurlarına ayırma,
- Aralarındaki ilişkiyi açıklama,
- Kontrol amacı,
- Öngörü amacı,

ile analiz edilmesine zaman serisi çözümlemesi denir.

Zaman serileri analizinin en önemli amacı bu serilerin öngörü amacıyla analiz edilmesidir⁴. Çalışmamızda zaman serilerinin öngörü amacıyla analizi ele alınacağından diğer analiz çalışmalarına değinilmeyecektir.

¹ Necla Çömlekçi, Temel İstatistik, İlke ve Teknikleri, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1988, s.446

² Özer Serper, Uygulamalı İstatistik II, (Gözden Geçirilmiş 4. Baskı) Ezgi Kitapevi, Bursa, 2000, s.325

³ Hüsnü Arıcı, İstatistik, Yöntem ve Uygulamalar, Meteksan A.Ş., Ankara, 1991, s.223

⁴ Ahmet Özmen, Zaman Serisi Analizinde Box-Jenkins Yöntemi ve Banka Mevduat Tahmininde Uygulama Denemesi, Anadolu Üniversitesi Yayınları No:207, Eskişehir, 1986, s.6

1.2. Zaman Serilerinin Özellikleri

1.2.1. Dört Unsurdan Meydana Gelme Özelliği

Zaman serilerinde gözlenen dalgalanmalar, bazı kuvvetlerin etkisiyle meydana gelebileceği gibi ekonomik, sosyal, psikolojik ve benzeri etkilerin olay üzerindeki tesir, yön ve şiddetinin farklı olmasından dolayı ileri gelir. Zaman serilerini grafik yardımıyla gösterdiğimizde, serilerin gösterdiği bu dalgalanmalar yani bir takım inip çıkmaları daha rahat bir şekilde görülebilir⁵.

Bir zaman serisini etkileyen faktörler dört başlık altında toplanmıştır.

- I. Uzun Dönem Eğilimi (Trend) (T),
- II. Mevsimsel Dalgalanmalar (M),
- III. Konjonktürel Dalgalanmalar (K),
- IV. Düzensiz (Rassal) Hareketler (D)

Zaman serileri üzerinde bu dört faktör ayrı ayrı veya birlikte etkili olabilirler⁶.

Uzun Dönem Eğilimi (Trend): Hemen hemen her zaman serisini etkileyen çeşitli faktörler vardır. Bu faktörlerin etkisiyle seri az çok bir sapma gösterirse de, uzun bir sürede faaliyetin ana eğilimi sabit bir durum gösterebilir. İşte bir zaman serisinin uzun bir sürede belli bir yöne doğru gösterdiği genel eğilime *uzun devre eğilimi* (trend) veya *asırlık hareket* adı verilir.

Trendin yön ve şiddet açısından hep aynı kaldığı söylenemez. Bağlı olduğu faktörlerin şiddet derecesindeki değişmelere göre trenddeki artış (veya azalış) bazen yavaşlayabilir. Yani trend doğrusal olabileceği gibi eğrisel de olabilir. Ancak trendin önemli bir özelliği her iki durumda da istikrarlı oluşudur⁷.

Mevsimsel Dalgalanmalar: Bir yıldan uzun sürmemek koşuluyla bir zaman serisinde birbiri ardınca tekrarlanan hareketlerin tümüne *mevsimlik dalgalanma* adı verilir⁸.

Bir başka deyişle, mevsimsel dalgalanmalar, aylık gözlem değerlerinden oluşan zaman serilerinin birbirini izleyen yılların aynı aylarında maksimuma veya minimuma ulaşma eğilimi olarak ifade edilebilir⁹.

⁵ Necla Çömlekçi, İstatistik, (2. Basım) Kalite Matbaası, Ankara, 1975, s.307

⁶ Uğur Korum, İstatistiğe Giriş, Savaş Kitap ve Yayınevi, Ankara, 1986, s.268

⁷ Serper, a.g.e., s.329

⁸ Serper, a.g.e., s.330

⁹ Özmen, a.g.e., s.29

Mevsimsel dalgalanma genellikle doğal ve sosyo-ekonomik nedenlerden ortaya çıkar. Bir malın satış, tüketim ve fiyatında hava koşulları ve alışkanlıklar nedeniyle mevsimlik değişimler meydana gelebilir. Örneğin, bazı malların tüketimi kış aylarında en düşük, yaz aylarında en yüksek düzeye ulaşmakta, diğer aylarda normal düzeyde bulunmaktadır.

Konjonktürel Dalgalanmalar: Zaman serisinin trend doğrusu veya eğrisi etrafındaki uzun dönem dalgalanmalarına *konjonktürel dalgalanmalar* denir. İktisatta ve işletmecilikte bolluk, durgunluk, depresyon ve yükselme devreleri konjonktürel dalgalanmalar olarak adlandırılır¹⁰.

Yılın mevsimleri gibi konjonktürel dalgalanmaların da mevsimleri vardır. Sözelimi yatırım artışlarının üretim artışlarına ve üretim artışlarının gelir artışlarına yol açmasıyla iktisadi durumda bir süre bir gelişme görülür. Gelişmenin maksimum aşamasında bir kriz patlak verir. Sonra düşüş başlar. İzleyen aşamada işler belli bir düzeyde bir süre hareketsiz kalır. Daha sonra işler yeniden bir kıvımda ve canlanma gösterir. Bu aşamalar tekrarlanır gider. Konjonktürel dalgalanmalar döngüselidir ama periyodik değildir¹¹.

Düzensiz (Rassal) Hareketler: Rassal nedenlerle veya geçici olarak ortaya çıkan hareketlere *düzensiz hareketler* adı verilir. Düzensiz hareketlerin nedenleri arasında deprem, su baskını, don veya dolu gibi doğal nedenler ve siyasi karışıklık, savaş, grev ve lokavt, rakip işletmelerin politikalarındaki değişiklik, beklenmeyen bir fiyat hareketi gibi sosyo-ekonomik nedenler sayılabilir. Düzensiz hareketler düzenlilik göstermedikleri ve rassal veya geçici oldukları için, bunların ne zaman ve ne şiddetle ortaya çıktıkları (kabaca bile olsa) önceden tahmin edilemezler¹².

1.2.2. Bağımlılık Özelliği

Bir zaman serisinde gözlem değerleri birbirine bağlıdır. Zaman değişkeninin konumları bulunduğumuz zamana, geçmişe veya geleceğe ilişkin olabilir. Bu nedenle zaman serisi çözümlemesinde üç dönem söz konusudur. Çözümüne zaman serisindeki en son gözlem değerinin ait olduğu döneme *bugünkü dönem* denir ve t ile gösterilir. Bu döneme ilişkin gözlem değerleri X_t ile simgelenir. Zamana bağlı bu olayın t dönemine kadar olan tarihsel gelişimi gösteren döneme *geçmiş dönem* denir ve geçmiş dönem ile geçmiş dönem

¹⁰ Mahmut Atlas, İstatistik 2: Çözümlü Örnekler, Birlik Ofset Yayıncılık, Eskişehir, 2000, s.208

¹¹ Serper, a.g.e., s.331

¹² Serper, a.g.e., s.332

değerleri sırasıyla $t-1$, $t-2$, ... ve X_{t-1} , X_{t-2} , ... şeklinde simgelenir. Zaman değişkenini aynı konumlarına göre zamanla açıklanan olayın gelecekteki eğilimini gösterecek olan döneme *gelecek dönem* adı verilir. Gelecek dönem ve gelecek dönem gözlem değerleri sırasıyla $t+1$, $t+2$, ... ve X_{t+1} , X_{t+2} , ... şeklinde ifade edilir¹³.

Zaman serilerinin bu üç dönemde aldığı değerler birbirleriyle ilişkilidir. Bu ilişki zaman serilerinin bağımlılık özelliğidir.

1.2.3. Stokastik Süreç Olma Özelliği

Zamana bağlı olaylar rassal karakterdedir. Bu gibi olaylarla ilgili serilerin gelecek dönem seyrini, bugünkü ve geçmiş dönem değerlerine dayanarak incelemek için değişik bir yaklaşım gerekir. Buna deterministik olmayan stokastik veya istatistiksel yaklaşım denir¹⁴.

Yani zaman serileri analizinde, serilerin stokastik süreç olarak kabul edildikten sonra analiz için stokastik modeller kullanılması gerekmektedir. Bu da zaman serilerinin analiz edilmesinde göz önünde bulundurulacak önemli özelliklerden biridir.

Stokastik süreç olarak bir zaman serisi, iç bağımlı olan rassal değişkenin zaman aralıklarıyla aldığı değerlerin ard arda sıralanmasıyla meydana gelen seri şeklinde tanımlanır¹⁵.

1.3. Zaman Serisi Çözümlemesinde Durağanlık Kavramı

Zaman serileri bir stokastik süreç, durağanlık ise stokastik süreçlerle ilgili önemli bir kavramdır. Stokastik süreç olarak bir zaman serisinin tüm özellikleri, yani ortalaması, varyansı, kovaryansı ve daha yüksek dereceden momentleri zaman göre değişmiyorsa veya seri periyodik dalgalanmalardan arınmışsa, seri durağan zaman serisi, bu durum ise *durağanlık* olarak adlandırılmaktadır¹⁶.

Bir zaman serisinin tüm özelliklerinin zamana göre değişmezliği, bu serinin tam durağan olduğunu ifade eder. Tam durağanlık, bir serinin gözlem değerleri kümesinin bileşik olasılık dağılımı, gözlemlerin yapıldığı zaman noktalarının zaman orijinine göre ileriye veya geriye kaydırılmasıyla herhangi bir değişikliğe uğramıyorsa, seri tam durağan seridir. Tam

¹³ Özmen, a.g.e., s.2

¹⁴ George E.P. Box and Gwilym M. Jenkins, Time Series Analysis Forecasting and Control,, Holden Day Inc., San Francisco, 1970, s.7; Özmen, a.g.e., s.2

¹⁵ Özmen, a.g.e., s.3

¹⁶ Fuller Wasney, Introduction To Statistical Time Series, John-Wiley and Sons Inc., U.S.A., 1976, s.3; Özmen, a.g.e., s.4

durağan zaman serisi, bileşik olasılık dağılımı zaman kümesi içindeki her noktada aynı özelliğe sahip olan seriyi meydana getiren gözlem değerlerinden etkilenmeyen, sadece zaman kümesinin elemanları arasındaki uzaklığa bağlı olan bir seri olarak da tanımlanır.

Eğer zaman serisinin sıfır orijinine göre birinci momenti olan aritmetik ortalama ile aritmetik ortalamaya göre ikinci moment olan varyans ve kovaryans zamana göre değişmiyorsa bu seriye ikinci dereceden durağan seri, bu tür durağanlığa ise zayıf durağanlık denir. Kovaryans durağanlık tanımına göre zaman kümesi içindeki her noktada serinin ortalaması değişmez ve zaman orijininin ileriye ya da geriye kaydırılması kovaryansını etkilemez. Zaman serisinin gözlem değerleri arasındaki zaman aralığına bağlıdır¹⁷.

2. ARIMA MODELLERİNİN TANITILMASI

2.1. Genel Bilgiler

ARIMA modelleri, tek değişkenli zaman serilerinin öngörü amacıyla analizinde kullanılan yöntemlerden biridir. Kısa dönem öngörü yöntem biliminin bu yeni ve başarılı yöntemi, eşit zaman aralıklarıyla elde edilen gözlem değerlerinden meydana gelen kesikli ve durağan zaman serilerinin öngörü modellerinin kurulmasında ve öngörülerin türetilmesinde sistemli yaklaşım göstermektedir¹⁸.

Çevremizdeki zaman serileri genellikle durağan olmayan zaman serileridir. Durağan olmayan bu zaman serilerine, ARIMA modellerinden herhangi birini uygulamak için bu serileri, öncelikle durağanlığı bozan unsurların etkisinden arındırmak (durağanlaştırmak) gerekmektedir. Çeşitli yöntemlerle durağanlaştırılabilen durağan olmayan serilere, ARIMA modelleri yardımıyla öngörü yapılır.

ARIMA modelleri, yani doğrusal stokastik modeller incelenen zaman serilerinin durağan olup olmaması durumuna göre doğrusal durağan stokastik modeller ve durağan olmayan doğrusal stokastik modeller olarak iki sınıfa ayrılır. Otoregresif entegre hareketli ortalama (ARIMA) modelleri olarak bilinen durağan olmayan doğrusal stokastik modeller ayrıca zaman serilerinin mevsim unsuru içerip içermemesi durumuna göre mevsimsel ARIMA ve mevsimsel olmayan ARIMA modelleri olarak sınıflandırılırlar¹⁹.

¹⁷ Özmen, a.g.e., s.5

¹⁸ V.A. Mabert and R.C. Radcliffe, A Forecasting Methodology as Applied to Financial Time Series, The Accounting Review, 1974, s.61; Özmen, a.g.e., s.17

¹⁹ Özmen, a.g.e., s.18

AR(1) modelinde bir zaman serisinin t dönemine ait gözlem değeri x_t , t-1 döneminin gözlem değeri x_{t-1} ve a_t hata terimiyle açıklamaya çalışırsak;

$$x_t = \varphi_1 x_{t-1} + a_t$$

olur. Benzer şekilde AR(2) modeli de

$$x_t = \varphi_1 x_{t-1} + \varphi_2 x_{t-2} + a_t$$

denklemleriyle gösterilir.

AR modeller AR(p) modelinde olduğu gibi fark denklemi biçiminde yazılacağı gibi,

$Bx_t = x_{t-1}$, $B^2 x_t = x_{t-2}$, ..., $B^p x_t = x_{t-p}$ ifadeleri kullanılarak,

$$x_t = (\varphi_1 B + \varphi_2 B^2 + \dots + \varphi_p B^p) x_t + a_t$$

veya

$$(1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p) x_t = a_t$$

şeklinde yazılabilir. Burada B zaman serilerinin zaman göstergesi t ile ilgili geriye doğru öteleme operatörüdür²¹.

AR modellerinin geriye doğru öteleme operatörü kullanılarak yazılımı, bu modellerin durağanlık koşulunu sağlayıp sağlamadığını belirlemede yardımcı olan en iyi gösterimdir²²

2.2.1.2. Hareketli Ortalama Modelleri

MA modelleri, bir zaman serisinin herhangi bir dönemdeki gözlem değerleri aynı dönemdeki hata terimi ve ondan önceki belirli sayıda terimin hata terimine bağlı olarak açıklayan modellerdir²³. MA modelleri içerdikleri geçmiş dönem hata terimi sayısına göre birinci derecede, ikinci dereceden ve genel olarak q'uncu dereceden MA modelleri olarak adlandırılırlar.

Bir zaman serisinin gözlem değerleri kümesi $\{X_t\}$ verildiğinde ve hata terimleri kümesi $\{a_t\}$ 'nin ortalaması sıfır ve varyansı σ_a^2 olan rassal bir değişken olduğu varsayımı altında, bu zaman serisinin herhangi bir t dönemine ait X_t gözlem değeri, t dönemine ilişkin ve q sayıda geçmiş döneme ait hata teriminin doğrusal bir bileşimi olarak ifade ediliyorsa, bu model q'uncu dereceden MA modelidir ve MA(q) olarak gösterilir.

MA(q) modelinin genel ifadesi şöyledir;

$$x_t = \theta_0 a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

²¹ Özmen, a.g.e., s.19-20

²² Box-Jenkins, a.g.e., s.9; Özmen, a.g.e., s.20

²³ Box-Jenkins, a.g.e., s.10; Özmen, a.g.e., s.21

Burada $x_t = X_t - \mu$ olarak alınmıştır. x_t t'inci döneme ait gözlem değerini (küçültülmüş gözlem değerini) gösterir. $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ modelin parametreleridir. Bunlar x_t ile $a_t, a_{t-1}, a_{t-2}, \dots, a_{t-q}$ arasındaki ilişkiyi gösteren katsayılardır. Burada genellikle $\theta_0 = 1$ kabul edilir. q, MA modelinin derecesini gösterir.

Uygulamada kullanılan MA modelleri birinci derece (q=1) ve ikinci derece (q=2) modelidir. Bu modeller MA(1) ve MA(2) şeklinde simgelenir.

MA(1) modelinin yazılımı;

$$x_t = a_t - \theta_1 a_{t-1}$$

şeklinde olur. Bu fark denkleminde de anlaşıldığı üzere MA(1) modelinde bir zaman serisinin x_t gözlem değeri t, t-1 dönemlerinin hata terimlerinin doğrusal bileşimidir.

MA(2) modeli ise;

$$x_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2}$$

şeklinde olur.

MA modelleri yukarıdaki denklemlerle yazılacağı gibi B (geriye doğru öteleme operatörü) kullanılarak da yazılabilir.

$$x_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) a_t$$

2.2.1.3. Otoregresif Hareketli Ortalama Modeller

ARMA modelleri durağan zaman serilerinin modellenmesinde kullanılır ve AR ve MA modellerinin bir kombinasyonudur. Bu nedenle ARMA modellerine karışık modeller denir. Bu modellerde bir zaman serisinin herhangi bir dönemine ait gözlem değeri, ondan önceki belirli sayıda gözlem değerinin ve hata teriminin doğrusal bir bileşimi olarak ifade edilir. Eğer ARMA modeli, p terimli AR ve q terimli MA modelinin bir kombinasyonu ise, p+q terimi içerir ve ARMA(p,q) şeklinde yazılır²⁴.

ARMA modelleri durağan zaman serilerinin modellenmesinde esneklik sağlama ve hesaplanacak parametre sayısını enazlama amacına hizmet için geliştirilmiş bir modeldir²⁵.

Bir zaman serisinin gözlem değerleri kümesi $\{X_t\}$ verildiğinde ve hata terimleri kümesi $\{a_t\}$ 'nin ortalaması sıfır ve varyansı σ_a^2 olan rassal bir değişken olduğu varsayımı altında, bu zaman serisinin herhangi bir t dönemine ait X_t gözlem değeri, $X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-p}$ gibi p sayıda geçmiş dönem gözlem değeri ve $a_t, a_{t-1}, a_{t-2}, \dots, a_{t-q}$ gibi q sayıda geçmiş

²⁴ Özmen, a.g.e., s.24

²⁵ Box-Jenkins, a.g.e., s.11 ve 52; Özmen, a.g.e., s.24

dönem hata teriminin doğrusal bir bileşimi olarak ifade ediliyorsa, bu model p+q sayıda terim içerdiği için (p,q)'uncu dereceden ARMA modelidir.

ARMA (p,q) modelini aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$x_t = \varphi_1 x_{t-1} + \varphi_2 x_{t-2} + \dots + \varphi_p x_{t-p} + \theta_0 a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

ARMA(1,1) modeli, birinci dereceden AR ve birinci dereceden MA modelinin kombinasyonudur. ARMA(1,1) modelinin denklemi;

$$x_t = \varphi_1 x_{t-1} + a_t - \theta_1 a_{t-1}$$

şeklindedir.

ARMA modellerinin durağanlık ve çevrilebilirlik koşulunu sağlayıp sağlamadığını belirlemek için bu modelleri geriye doğru öteleme operatörü B kullanarak yazarsak,

$$\varphi(B)x_t = \theta(B)a_t$$

denklemi elde edilir. Buradaki $\varphi(B)$ ile $\theta(B)$ sırasıyla p ve q dereceden polinomlardır²⁶

2.2.2. Durağan Olmayan Doğrusal Stokastik Modeller

Uygulamada karşılaşılan serilerin çoğu durağan değildir. Bu serilerin durağanlığı trend, mevsimsel ve konjonktürel dalgalanmalar ve rassal sebepler gibi etkenler tarafından bozular. Durağanlığın sağlanması için söz konusu etkenlerin önce belirlenmesi sonra da yok edilmesi, kısaca durağan olmayan bir zaman serisinin durağan hale dönüştürülmesi gerekir²⁷.

Bir zaman serisinin gözlem değerleri bu serinin ortalama değeri etrafında durağan değilse, serinin uygun derece farkları alınarak durağanlık sağlanır. Fark alma derecesi d ile simgelenir ve uygulamada d genellikle 1 ve en çok 2 değerini alır²⁸.

Durağan olmayan doğrusal stokastik modeller, belirli sayıda (d sayıda) farkı alınmış olan serilere uygulanan AR ve MA modellerinin bir kombinasyonu olan modellerdir. Eğer otoregresyon parametresi olan $\varphi(B)$ 'nin derecesi p, hareketli ortalama parametresi $\theta(B)$ 'nin derecesi q ise ve d kez fark alma işlemi yapılmışsa, bu modele (p,d,q) dereceden otoregresif entegre hareketli ortalama modeli adı verilir ve ARIMA(p,d,q) şeklinde gösterilir²⁹.

ARIMA(p,d,q) modelinin genel gösterimi şudur;

$$w_t = \varphi_1 w_{t-1} + \varphi_2 w_{t-2} + \dots + \varphi_p w_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

²⁶ Christopher Chatfield, The Analysis of Time Series an Introduction, Chapman and Hall, Londra, 1980, s.51; Özmen, a.g.e., s.25

²⁷ Özmen, a.g.e., s.26

²⁸ Lynwood Johnson ve Douglas Montgomery, Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control John Wiley and Sons Inc., New York, 1974, s.466; Özmen, a.g.e., s.27

²⁹ Özmen, a.g.e., s.27

Bu eşitlik ARMA modelinin genel gösterimindeki eşitlikte x_t 'nin yerine bunların farkı olan $\Delta^d x_t = w_t$ eşitliği konularak elde edilmiştir.

Burada;

Δ = Fark alma operatörü

d = Fark alma derecesi

$\{w_t\}$ = Farkı alınmış seridir

Eğer birinci farklar ($d=1$) seriyi durağan hale getiriyorsa;

$$\Delta x_t = w_t = x_t - x_{t-1}$$

şeklinde gösterilir. Eğer d 'inci farklar seriyi durağan hale getiriyorsa;

$$\Delta^d x_t = w_t = (1 - B)^d x_t$$

şeklinde olur.

ARIMA(0,1,1) modeli;

$$\Delta x_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} = (1 - \theta_1 B)a_t$$

denklemlerle ifade edilir. bu modelde $p=0$, $d=1$, $q=1$, $\phi(B)=1$, $\theta(B)=1 - \theta B$ 'dir.

ARIMA(1,1,1) modeli ise;

$$\Delta x_t - \Delta x_{t-1} = a_t - \theta_1 a_{t-1}$$

veya

$$(1 - \phi_1 B)\Delta x_t = (1 - \theta_1 B)a_t$$

şeklinde olur. Bu modelde ise $p=1$, $d=1$, $q=1$, $\phi(B)=1 - \phi_1 B$, $\theta(B)=1 - \theta_1 B$ 'dir.

2.2.3. Mevsimsel Modeller

Mevsimsellik zaman serilerinin durağanlığını bozan unsurlardan birisidir. Bu amaçla gözlem değerlerinin s 'inci dereceden farkı alınarak mevsimsellik ortadan kaldırılmaya çalışılır. Burada s mevsimsel dalgalanmayı ($s=12$, $s=4$) gösterir³⁰.

Genel mevsimsel modelin derecesi, mevsimsel ve mevsimsel olmayan modellerin derecelerinin çarpımıdır ve $(p,d,q)(P,D,Q)$ şeklinde gösterilir. Burada (p,d,q) mevsimsel olmayan modelin derecesini, (P,D,Q) ise mevsimsel modelin derecesini ifade eder³¹.

Derecesi $(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ olan ARIMA modelinin gösterim şekli birinci derece entegre hareketli ortalama modeli olan;

$$\Delta x_t = w_t = (1 - \theta B)a_t$$

³⁰ Özmen, a.g.e., s.29

³¹ Özmen, a.g.e., s.31

denklemini ile, birinci dereceden mevsimsel hareketli ortalama modeli olan;

$$\Delta_{12}x_t = (1 - \theta B^{12})a_t$$

denkleminin çarpımı şeklinde olur.

Açık bir gösterimle model,

$$(x_t - x_{t-1}) - (x_{t-12} - x_{t-13}) = a_t - \theta a_{t-1} - \theta a_{t-12} - \theta a_{t-13}$$

şeklindedir.

2.3. ARIMA Modelleriyle Çözümleme

2.3.1. Çözümleme Sürecinde Kullanılacak Grafik ve Fonksiyonlar

ARIMA modelleri çözümleme sürecinde Kartezyen Grafik, Otokorelasyon Fonksiyonu ve Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonundan yararlanılacaktır.

2.3.1.1. Kartezyen Grafik

Değişkenler arasındaki ilişkiyi göstermenin en uygun yolu elde edilen verileri kartezyen koordinatlı bir grafik üzerinde işaretlemektir. Böylece bileşik bölünme serilerinin veya eşleştirilmiş zaman serilerinin X ve Y gözlem ikilileri, bir düzlem üzerinde birer nokta halinde gösterilmiş olur³².

Burada X, zamanı simgeler ve X ekseninde gösterilir. Y ise gözlem değerlerini simgeler ve Y ekseninde gösterilir.

2.3.1.2. Otokorelasyon Fonksiyonu

Otokorelasyon fonksiyonunun grafiği zaman serilerinin analizinde önemli bir araç olmasına rağmen, farklı ölçü birimleriyle ifade edilmiş, veya terimleri farklı büyüklüklerde olan serilerinin karşılaştırılmasında yanıltıcı olabileceği için yetersiz kalmaktadır. Otokovaryans fonksiyonunun bu yetersizliği hesaplanan \sqrt{k} 'lerin standartlaştırılması, yani $\sqrt{0} = \sigma_x^2$ değerine bölünmesi suretiyle giderilebilir. Standartlaştırılmış otokovaryans fonksiyonuna *otokorelasyon fonksiyonu* denir³³.

Otokorelasyon fonksiyonu analiz edilecek seri için uygun olabilecek modellerin belirlenmesinde ve seçiminde kullanılan önemli analiz araçlarından biridir. Otokorelasyon aynı değişkenin farklı zaman aralıklarında aldığı değerler arasındaki ilişkinin derecesini belirler³⁴.

³² Serper, a.g.e., s.217

³³ Özmen, a.g.e., s.37

³⁴ Özmen, a.g.e., s.38

2.3.1.3. Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu

Kısmi otokorelasyon, diğer gecikmeli değişkenlerin etkisi sabit kalmak şartıyla bir x_t değişkeni ile bu değişkenden gecikmeli olarak türetilen herhangi bir x_{t+1} , x_{t+2} , x_{t+3} ,..... değişkeni arasındaki ilişkiyle ilgilidir. Kısmi otokorelasyon katsayısı ise, bu ilişkinin derecesini belirleyen istatistiksel bir ölçüdür. Otokorelasyon katsayısında olduğu gibi kısmi otokorelasyon katsayısı da ± 1 arasında değer alır ve otokorelasyon katsayısı gibi yorumlanır³⁵.

2.3.2. Çözümleme Sürecinin Aşamaları

2.3.2.1. Uygun ARIMA Model Grubunun ve Geçici Model Tipinin Belirlenmesi

ARIMA modellerine dayanarak incelenecek olan bir zaman serisi için uygun model belirleme aşamasında yapılacak ilk iş, serinin durağan olup olmadığının belirlenmesidir. ARIMA modellerinin uygulanabilmesi için serinin durağan olması gerekir. Bu nedenle durağan olmayan serilerin öngörü amacıyla analizinde ARIMA modellerinin uygulanabilmesi için seriler fark alma yöntemiyle durağan hale dönüştürülürler³⁶.

Ayrıca, mevsimsel dalgalanmalar, zaman serisinin durağanlığını bozan faktörlerden biridir. Bir zaman serisinin grafiği birbirini izleyen yılların aynı aylarında benzer davranış gösteriyorsa ve bu seri için tahmin edilen örneklem otokorelasyon katsayılarının değeri de aynı şekilde birbirini izleyen yılların aynı aylarında istatistiksel açıdan anlamlı olacak şekilde azalma ve artma gösteriyorsa, bu seriler mevsimsel serilerdir ve uygun model için mevsimsel modeller sınıfında yer alacaktır.

ARIMA model grubunda karar kıldıktan sonra model tipinin, yani durağan model grubunun AR(p), MA(q) ve ARMA (p,q); durağan olmayan model grubunun IAR(p,d), IMA(d,q) ve ARIMA (p,d,q); mevsimsel model grubunun IAR(p,d) (P,D), IMA (d,q) (D,Q) ve ARIMA (p,d,q) (P,D,Q) tiplerinden hangisinin uygun olabileceği karşılaştırılır. Belirlenen model geçici uygun model olarak isimlendirilir. Bu model tipleriyle ilgili kuramsak bilgiler sayfa 36'da verilmiştir.

2.3.2.2. Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahmini

Önceki basamakta belirlenen geçici uygun modellerin öngörü amacıyla kullanılabilmesi için bu modellerin nihai parametrelerinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin en iyi tahmini, en küçük kareler ve maksimum olabilirlik yöntemleriyle elde

³⁵ Özmen, a.g.e., s.41

³⁶ Özmen, a.g.e., s.50

edilen, hata kareler toplamı değerini minimum yapan tahminleridir. a_i 'ler normal dağılım gösteriyorsa, en küçük kareler tahminleri maksimum olabilirlik tahminlerine çok yaklaşıp. Bu nedenle, bu çalışmada nihai parametre tahminlerinde en küçük kareler yöntemi kullanılacaktır. Kullanılan Minitab 13.0 hazır yazılım programı en küçük kareler yöntemini kullanarak çalışmaktadır.

2.3.2.3. Geçici Modelin Uygunluk Testi

Nihai parametreleri hesaplanana geçici uygun modelin seri için uygun olup olmadığı, uygunluk testiyle belirlenir.

Uygunluk testleri için önce nihai parametre değerlerinin geçici uygun modele yerine konulmasıyla tahminler yapılır. Tahmin hataları serisi oluşturulur. Sonra hatalar serisi için otokorelasyon katsayıları hesaplanır ve bu katsayılar incelenir. Eğer tahmin hatalarının otokorelasyon katsayılarının seyri bir zaman serisi unsurunu göstermiyorsa ve bu katsayılar belirli bir anlam seviyesinde güven limitleri ile kıyaslandığında sıfırdan farklı olmadığı anlaşılırsa, geçici modelin uygun ve nihai model olduğuna karar verilir. Eğer bunun tersi söz konusu ise, model uygun değildir. Bu durumda yapılacak işlem yeniden geçici uygun modeli aramak olacaktır. Geçici modelin uygunluğunun araştırılmasında t testi kullanılmaktadır. t testinde H_0 hipotezi; model parametreleri sıfıra eşit, H_1 hipotezi ise; model parametreleri sıfırdan farklı, şeklindedir. Bu testle hata otokorelasyon katsayılarının sıfırdan farklı olup olmadığı araştırılır.

Her hata otokorelasyon katsayısının kendi standart hatasıyla karşılaştırılması, küçük gecikmelerde otokorelasyon katsayılarının sıfırdan anlamlı şekilde farklı olup olmadığını, yani modelin uygunluğunu açıkça ortaya koymaz. Bu nedenle otokorelasyon katsayılarını tek tek incelemek yerine belirli sayıda hata otokorelasyon katsayısını bir arada incelemek modelin uygunluğunu daha açık ortaya koyabilir. Bu amaçla Box-Pierce tarafından geliştirilen Q istatistiği kullanılır. Q testinde H_0 hipotezi; hatalar arasında ilişki vardır, H_1 hipotezi ise; hatalar arasında ilişki yoktur, şeklindedir. Bu testle hataların rassal dağılıp dağılmadığı araştırılır.

Bu test hata otokorelasyon katsayılarının sıfırdan farklı olup olmadığına, hatalar serisinin rassal seri olup olmadığına karar vermeye, yani modeli uygun olup olmadığının kararlaştırılmasında yardımcı olur³⁷.

³⁷ Özmen, a.g.e., s.64-65

2.3.2.4. Uygun Modelin Öngörü Amacıyla Kullanılması

Bir zaman serisi uygun model tanımlanıp parametreler tahmin edildikten sonra yapılan uygunluk testleriyle modelin bu zaman serisinin analizi için uygun olduğuna karar verilirse, bu model öngörü yapmak amacıyla kullanılabilir.

İncelenen zaman serisinin analizi için uygun olduğuna karar verilen ARIMA modeli AR ve MA unsurlarını ayrı ayrı içermiş olabileceği gibi birlikte de içermiş olabilir. Bu nedenle, uygun ARIMA modeli incelenen serinin t dönemine ait X_t gözlem değerini aynı serinin t döneminden önceki belirli sayıda geçmiş dönemin ($t-1, t-2, \dots$) X_{t-1}, X_{t-2}, \dots gözlem değerlerine veya a_t, a_{t-1}, \dots hata terimine bağlı olarak tahmin eden bir modeldir. Amacımız bu zaman serisinin değeri bilinen X_t gözlem değerine ilişkin tahmin yapma olmayıp, t anında bu serinin $t-1, 1 \geq 1$ için, döneminde alabileceği X_{t+1} değerini öngörmektir. Bu nedenle X_t 'nin öngörülmesi için yazılan uygun modeli aynı düşünceyle X_{t+1} 'in öngörülmesi için yazmak gerekir³⁸.

³⁸ Özmen, a.g.e., s.66

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ESKİŞEHİR İLİ HAVA KİRLİLİK DEĞİŞKENLERİNİN ÖNGÖRÜ AMACIYLA ANALİZİ

1. SO₂ VE PM ZAMAN SERİLERİNİN ÖNGÖRÜ AMACIYLA ANALİZİNDE ARIMA MODELLERİ UYGULAMASI

Soluduğumuz havanın temiz veya 2 Kasım 1986 tarihli “Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği”nde belirtilen standartlar düzeyinde olması gerekir. Ancak hızla artan nüfus ve çarpık olarak gelişen sanayi belirtilen standartların aşılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle standartların üzerine çıkan hava kirlilik düzeyinin ön dönemde bilinmesinin önemini ortaya koymak gerekmektedir. Ayrıca ön dönemdeki hava kirliliğinin bugünden bilinmesi, alınması gereken önlemlerin belirlenmesi için bir ışık tutacaktır.

1.1. Araştırmanın Amacı

Eskişehir il merkezinde evsel nitelikli ısınma için odun, kömür ve fuel oil gibi yakıt türlerinin kullanılması nedeniyle hava kirlilik değerleri belirtilen standartların üzerine çıkmış ve bu kirlilik düzeyi şehirdeki yaşamı olumsuz etkilemeye başlamıştı. Bunun üzerine, hava kirliliğinin azaltılması amacıyla şehir merkezinde 1995 yılı kış aylarından başlamak üzere doğalgaz yakıt türü kullanımına geçilmiştir. Yapılan bu çalışma kapsamında Eskişehir il merkezinde yakıt türü olarak kullanılan doğalgazın hem hava kirliliği üzerindeki etkisi araştırılacak, hem de doğalgaz kullanımına geçilmeseydi kirlilik düzeyi ne olurdu? sorularına yanıt aranacaktır.

1.2. İstatistiksel Evren ve Örneklem Tanıtılması

İstatistiksel evren olarak, Eskişehir il merkezinde aylar itibariyle bugüne kadar yapılan ve ön dönemde yapılacak olan SO₂ ve PM ölçüm değerlerinin oluşturduğu topluluklardır. Bu evrenler sonsuz evrenlerdir. Araştırmanın örneklemi ise, Ocak 1988-Haziran 2003 yılları arasında aylar itibariyle yapılmış SO₂ ve PM ölçüm değerlerinden oluşmaktadır. Her bir örneklem toplam 186 ölçüm değerini içermektedir.

1.3. Değişkenlerin Tanıtılması

Araştırmada hava kirliliği ile ilgili, biri havadaki SO₂ miktarı diğeri de havadaki PM miktarı olmak üzere iki değişkenin çözümlenmesine çalışılmıştır. Bu değişkenlerle ilgili

veriler Eskişehir il merkezinde, İl Sağlık Müdürlüğü'nün günde iki kez, sabah 09.00 ve akşam 17.00, olmak üzere yaptığı ölçümlerin günlük ortalamalarının aylık ortalamaları alınarak oluşturulmuştur. Bu ölçüm sonuçları $\mu\text{g.m}^{-3}$ cinsinden havadaki SO_2 ve PM miktarlarını göstermektedir. Araştırmada kullanılan SO_2 ve PM örneklem verileri Eskişehir İl Sağlık Müdürlüğü Hava Kirliliği Laboratuvarı'ndan alınmış olup Tablo 15 ve Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 15: Ocak 1988-Haziran 2003 Dönemi Havadaki SO_2 Miktarı ($\mu\text{g.m}^{-3}$)

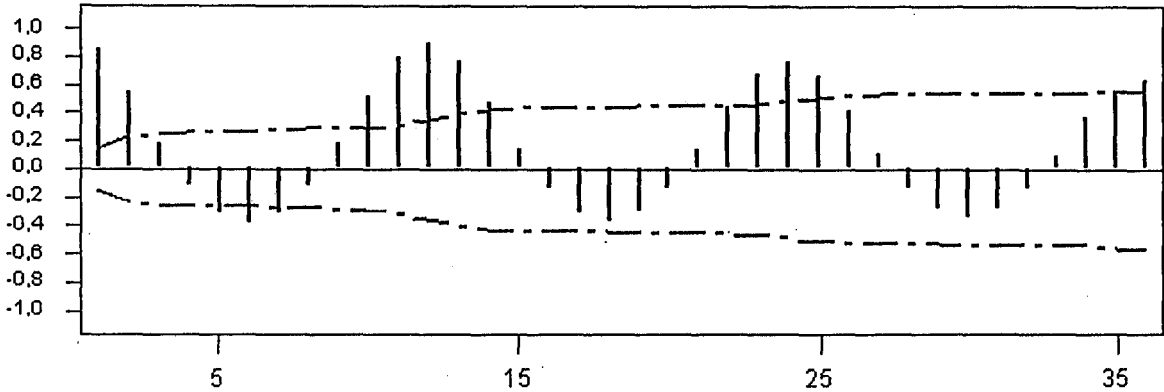
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	SO_2	SO_2	SO_2	SO_2	SO_2	SO_2	SO_2	SO_2	SO_2	SO_2	SO_2	SO_2
1988	265	260	205	147	56	35	35	36	39	109	212	310
1989	424	320	240	105	61	47	39	34	36	129	251	358
1990	430	370	243	138	71	34	23	28	35	79	252	354
1991	469	387	284	150	48	25	19	18	29	87	289	344
1992	510	471	311	125	49	29	21	19	20	58	271	430
1993	449	353	245	121	38	20	19	20	30	55	235	418
1994	428	352	335	107	47	23	23	24	28	72	277	376
1995	351	407	207	102	39	27	28	27	31	54	119	120
1996	110	91	80	62	27	31	26	24	31	56	97	85
1997	112	137	93	79	46	40	24	27	41	66	61	78
1998	115	97	96	45	40	31	28	21	23	45	66	69
1999	64	71	67	59	35	27	23	24	26	32	54	66
2000	65	63	63	33	27	23	28	29	32	42	70	53
2001	50	57	46	42	34	39	31	29	32	42	47	62
2002	60	53	48	30	28	21	24	22	25	38	54	66
2003	60	54	58	46	34	32						

Tablo 16: Ocak 1988-Haziran 2003 Dönemi Havadaki PM Miktarı ($\mu\text{g.m}^{-3}$)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM
1988	81	102	92	60	19	16	15	16	19	68	79	110
1989	144	99	83	56	34	28	23	23	24	62	77	81
1990	77	66	59	40	31	19	18	19	23	39	65	62
1991	69	57	38	26	34	19	19	17	32	29	44	63
1992	92	66	64	37	27	25	21	23	28	58	75	79
1993	92	63	50	35	22	17	19	17	27	44	50	62
1994	81	63	66	37	34	23	20	24	36	63	82	92
1995	86	99	67	59	27	22	22	25	29	65	118	100
1996	85	66	61	48	26	23	20	20	29	54	92	83
1997	73	72	54	42	27	17	21	26	28	50	55	67
1998	87	73	59	42	31	21	19	15	16	43	73	54
1999	58	71	66	54	39	20	19	21	26	35	57	78
2000	67	68	72	43	32	28	28	38	36	50	96	44
2001	46	53	38	34	28	22	22	22	28	43	47	51
2002	53	51	42	28	23	23	22	21	28	51	70	60
2003	50	32	36	29	24	23						

Ayrıca SO₂ miktarı zaman serisinin orijinal değerleri için hesaplanan ve Şekil 3'de gösterilen 36 örneklem otokorelasyon katsayısının $k=1,12,24,36$ (veya $k=6,18,30$) gecikmelerindeki değerlerinin maksimum (veya minimum) değerler aldığı görülmektedir. Bu durum serinin mevsim bileşeninin etkisi altında olduğu tespitini desteklemekte ve mevsimsel etkinin dalga uzunluğunun $S=12$ olduğunu göstermektedir. Ayrıca otokorelasyon fonksiyonunun bütün s gecikmelerde istatistiksel olarak anlamlı değerler aldığı, $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{186} \cong \pm 0,15$ limitlerinin dışında kaldığı gözlenmektedir. Bu durum da mevsimsel etkinin serinin durağanlığını bozan bir etki yaptığını ortaya koymaktadır.

Şekil 3: SO₂ Serisinin Korelogramı



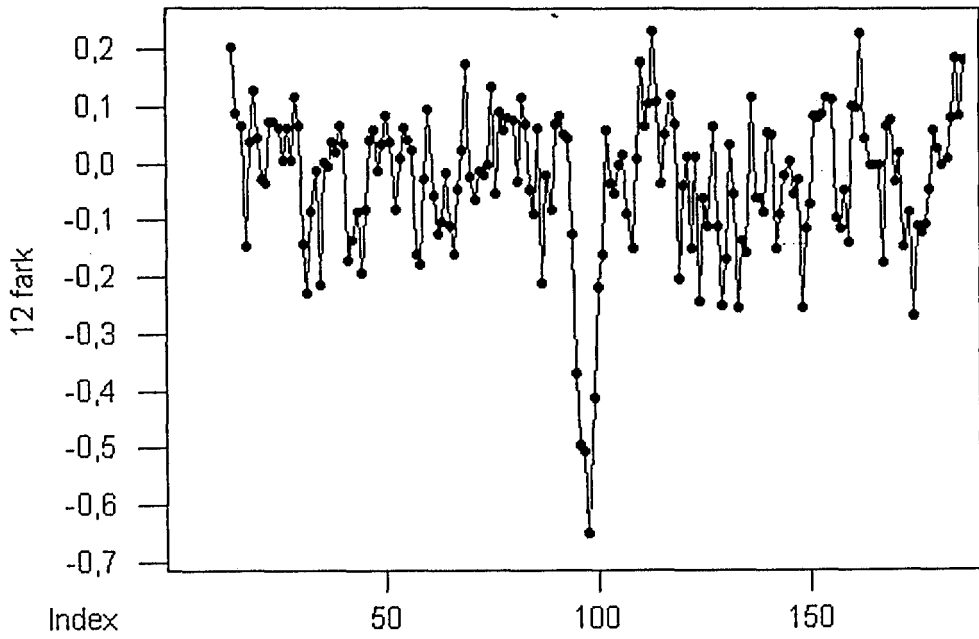
Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0,85	11,62	137,31	10	0,52	3,58	333,63	19	-0,31	-1,35	858,52	28	-0,13	-0,50	1274,18
2	0,55	4,76	194,09	11	0,80	5,14	460,60	20	-0,13	-0,58	862,26	29	-0,29	-1,08	1292,96
3	0,18	1,44	200,55	12	0,89	5,08	620,53	21	0,14	0,59	866,13	30	-0,34	-1,25	1318,81
4	-0,13	-0,99	203,67	13	0,76	3,82	737,03	22	0,44	1,94	907,96	31	-0,29	-1,05	1337,38
5	-0,32	-2,45	223,30	14	0,48	2,24	783,39	23	0,68	2,93	1008,12	32	-0,13	-0,49	1341,44
6	-0,38	-2,82	251,25	15	0,14	0,65	787,60	24	0,77	3,16	1136,47	33	0,10	0,35	1343,61
7	-0,32	-2,25	270,65	16	-0,14	-0,62	791,42	25	0,66	2,57	1230,75	34	0,37	1,32	1374,31
8	-0,12	-0,86	273,62	17	-0,31	-1,41	811,30	26	0,41	1,54	1267,36	35	0,57	2,04	1448,82
9	0,18	1,24	279,92	18	-0,36	-1,64	838,92	27	0,11	0,42	1270,22	36	0,63	2,23	1542,55

Ayrıca $k>2$ 'den sonraki sıralı gecikmede $k=3$ için istatistiksel olarak sıfır değerini aldığı, yani 3. gecikme için hesaplanan otokorelasyon katsayısının değeri %5 anlam düzeyinde $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{186} \cong \pm 0,15$ limitleri içinde kaldığı görülmektedir. Bu durum SO₂ miktarı zaman serisinin trend bileşeninin etkisinin durağanlığı bozmadığını gösterir.

Bu bilgiler ışığında durağan olmayan SO₂ zaman serisinin çözümlemesi için önerilebilecek geçici modelin durağan olmayan ARIMA model grubundan bir model olabileceği ve geçici model tipinin ise bu gruptan, mevsimsel model tipinde bir model olabileceği görüşüne varılabilir.

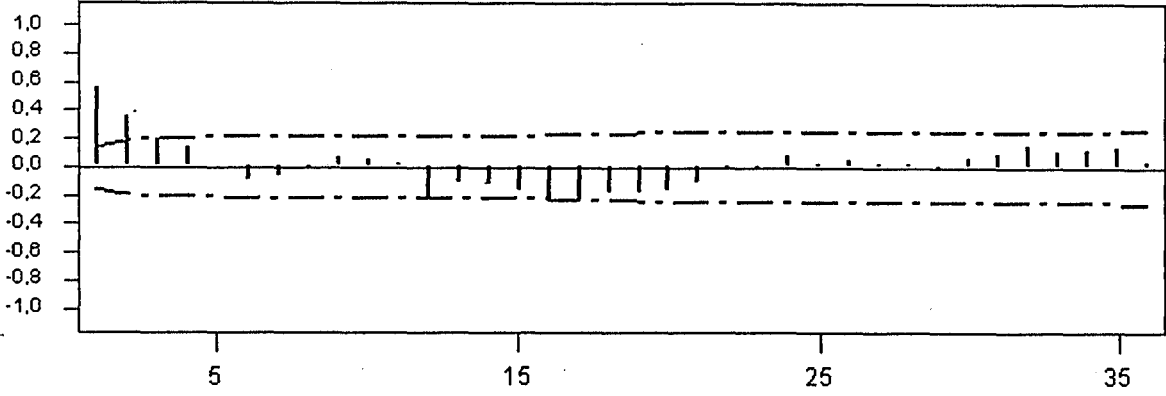
SO₂ miktarı zaman serisinin varyans durağansızlığını giderebilmek için serinin önce doğal logaritmasının alınması sonra durağanlığı bozan mevsim unsurunun etkisinden arındırmak için serinin 12'şerli farklarının alınması gerekir. Doğal logaritması ve 12'şerli farkları alınan serinin (logaritmik 12'şerli farklar serisi) kartezyen grafiği Şekil 4'de verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde logaritmik 12'şerli farklar serisinin sıfır ortalama etrafında serpiştiğini (doğalgaza geçişten kaynaklanan, hava kirlilik değerlerindeki ani azalma sebebiyle 83., 84., 85., 86. ve 87. dönemler hariç) ve serinin mevsimsel etkiden arındığı söylenebilir.

Şekil 4: Doğal Logaritması ve 12'şerli Farkı Alınmış Serinin Kartezyen Grafiği



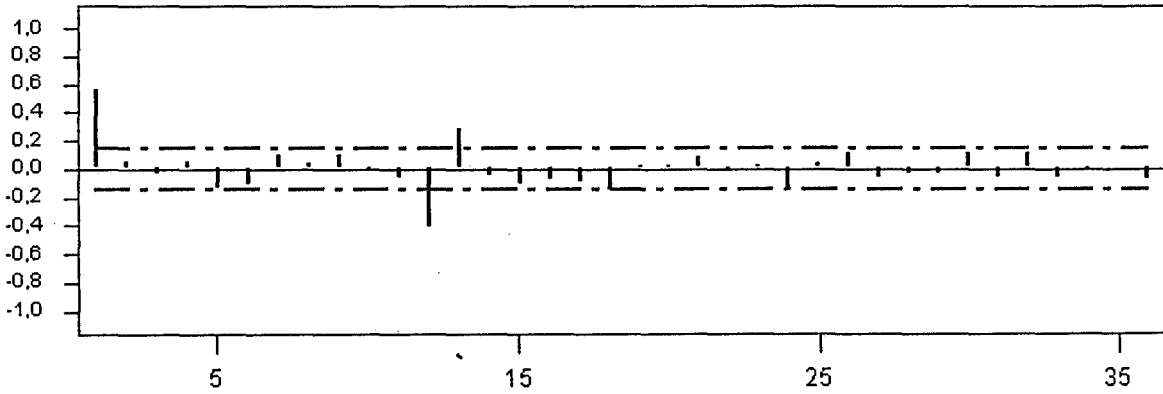
Bu serinin Şekil 5'de verilen otokorelasyon fonksiyonu incelendiğinde ise, otokorelasyon katsayı değerlerinin, 1s gecikmesinden sonraki k gecikmeleri için ($k=15,16,17,18$ ve 19 gecikmeleri hariç) %5 anlam seviyesinde $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{174} \cong \pm 0,16$ güven aralığı içinde kaldığı görülmektedir. Ayrıca otokorelasyon grafiğinin sinüzoidal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Otokorelasyon katsayılarının bu görünümü serinin 12'şerli farklarla durağan hale dönüştüğünü göstermektedir. 12'şerli farkı alınmış serinin otokorelasyon ve Şekil 6'da verilen kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının birlikte incelenmesi ile seriyi açıklayabilecek geçici uygun model tipi belirlenebilir.

Şekil 5: Doğal Logaritması ve 12'şerli Farkı Alınmış Serinin Korelogramı



Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0,57	7,46	56,66	10	0,05	0,45	92,80	19	-0,19	-1,54	152,41	28	0,03	0,21	162,44
2	0,35	3,63	78,79	11	0,03	0,24	92,92	20	-0,16	-1,32	157,71	29	-0,01	-0,06	162,45
3	0,19	1,85	85,46	12	-0,24	-2,23	104,02	21	-0,10	-0,82	159,83	30	0,07	0,55	163,48
4	0,14	1,32	89,02	13	-0,11	-1,02	106,46	22	-0,03	-0,23	160,00	31	0,10	0,80	165,65
5	0,00	0,04	89,02	14	-0,12	-1,11	109,40	23	-0,01	-0,07	160,02	32	0,15	1,20	170,65
6	-0,10	-0,95	90,90	15	-0,17	-1,47	114,74	24	0,09	0,69	161,56	33	0,12	0,90	173,54
7	-0,06	-0,56	91,56	16	-0,26	-2,25	127,61	25	0,02	0,16	161,65	34	0,12	0,96	176,84
8	-0,01	-0,09	91,58	17	-0,24	-2,03	138,77	26	0,05	0,41	162,21	35	0,13	1,03	180,71
9	0,06	0,60	92,36	18	-0,18	-1,53	145,42	27	0,02	0,16	162,30	36	0,03	0,24	180,92

Şekil 6: Doğal Logaritması ve 12'şerli Farkı Alınmış Serinin Kısmi Korelogramı



Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T
1	0,57	7,46	10	-0,02	-0,31	19	0,03	0,35	28	-0,04	-0,55
2	0,05	0,63	11	-0,06	-0,77	20	0,02	0,29	29	-0,03	-0,42
3	-0,04	-0,46	12	-0,42	-5,49	21	0,08	0,99	30	0,11	1,50
4	0,05	0,64	13	0,28	3,65	22	-0,00	-0,03	31	-0,06	-0,80
5	-0,13	-1,75	14	-0,05	-0,70	23	0,02	0,32	32	0,11	1,41
6	-0,10	-1,37	15	-0,11	-1,50	24	-0,13	-1,77	33	-0,07	-0,87
7	0,10	1,27	16	-0,08	-1,02	25	0,04	0,47	34	-0,00	-0,00
8	0,04	0,57	17	-0,10	-1,33	26	0,11	1,49	35	0,00	0,05
9	0,09	1,20	18	-0,15	-1,93	27	-0,06	-0,78	36	-0,09	-1,13

Kısmi otokorelasyon fonksiyonu incelendiğinde, grafiğin 1s'den sonraki ilk gecikme olan k=13 haricinde tüm gecikmelerin istatistiksel olarak anlamsız olduğu görülmektedir.

Otokorelasyon fonksiyonunun k=1,2,3,4,5 için aldığı değerlerin azalarak sifıra doğru yaklaşma eğilimi göstermesi, kısmi otokorelasyon fonksiyonunun k=1 için anlamlı değer alması, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının birbirine benzerlik göstermesi (her iki fonksiyonda da 12. gecikme anlamlı) sonucunda geçici uygun model ARIMA (1,0,0)(1,1,0)₁₂ olarak belirlenmiştir.

1.4.1.2. Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahminlenmesi

ARIMA (1,0,0)(1,1,0)₁₂ modeline dayanarak türetilen φ_1 ve φ_{12} parametreleri Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17: ARIMA (1,0,0)(1,1,0)₁₂ Model Parametreleri

	Katsayı	S.H. Katsayısı	t Değeri
AR 1	0,6704	0,0577	11,61
SAR 12	-0,4631	0,0700	-6,62

1.4.1.3. Geçici Modelin Uygunluk Testi

Geçici (1,0,0)(1,1,0)₁₂ modelinin SO₂ zaman serinin öngörülerinin türetilmesi için uygun olup olmadığına karar verebilmek için önce φ_1 ve φ_{12} parametrelerinin anlamlılığı test edilir. Yapılan bu testte H₀ hipotezi; model parametreleri sifıra eşit, H₁ hipotezi ise; model parametreleri sifirdan farklı, olarak belirlenmiştir. Hesaplanan t istatistiğinin değerleri t₁=11,61, t₂=-6,62 olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler $\alpha=0,05$ için $\pm 1,96$ tablo değerinden büyük olduğu için H₀ hipotezi reddedilip, H₁ hipotezi kabul edilmiştir. Yani her iki parametre de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Ayrıca geçici ARIMA (1,0,0)(1,1,0)₁₂ modelinin uygunluğunun araştırılması için Q istatistiğinden de yararlanılır. Bu testte ise H₀ hipotezi; hatalar arasında ilişki vardır, H₁ hipotezi ise hatalar arasında ilişki yoktur, olarak belirlenmiştir. Tablo 18'de verilen Q değerleri, verilen χ^2 tablo değerinden büyük olduğu için H₀ hipotezi reddedilip, H₁ hipotezi kabul edilmiştir. Yani hatalar rassal olarak dağılmamıştır diyebiliriz.

Tablo 18: ARIMA (1,0,0)(1,1,0)₁₂ Modeli Q Değerleri

Gecikme	12	24	36	48
Q Değerleri	37,1	56,1	69,7	86,8
Serbestlik Derecesi	9	21	33	45

SO₂ zaman serisi için uygun bir model bulunması amacıyla uygulanan diğer modellerin Q istatistik değerleri aşağıda verilmiştir.

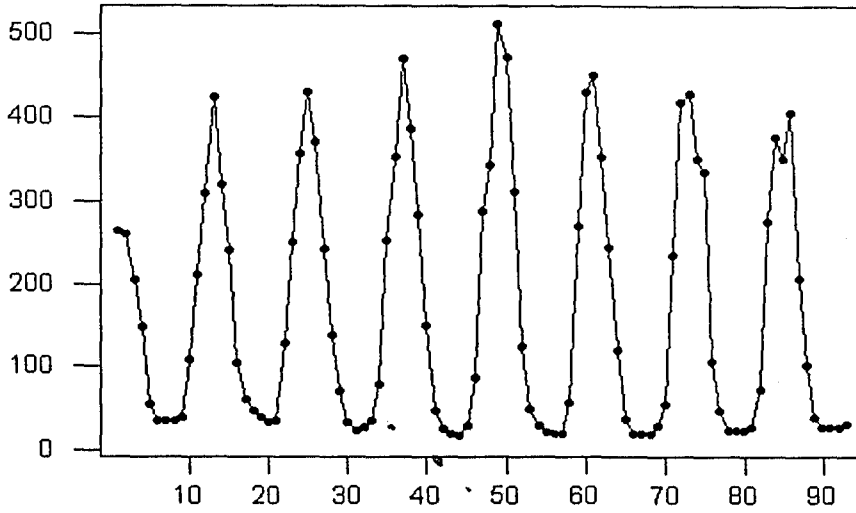
Uygulanan Model	Parametre Tahminleri	Hesaplanan Değer	Tablo Değeri
ARIMA (2,0,0)(1,1,0) ₁₂	Q (8 serbestlik derecesi için)	34,3	15,51
ARIMA (1,0,0)(2,1,0) ₁₂	Q (8 serbestlik derecesi için)	37,1	15,51
ARIMA (0,0,1)(1,1,0) ₁₂	Q (9 serbestlik derecesi için)	63,1	16,92
ARIMA (1,0,0)(0,1,1) ₁₂	Q (9 serbestlik derecesi için)	45,5	16,92
ARIMA (0,0,1)(0,1,1) ₁₂	Q (9 serbestlik derecesi için)	66,2	16,92

Görüldüğü gibi bu seri için uygun model bulunamamaktadır. Bunun sebebi, Şekil 2’de verilen kartezyen grafiğinde görüldüğü üzere Eylül 1995 gözlem değerine karşılık gelen 93. gözlem değerinden sonraki ani azalmadır. Grafik, 93. gözlem değerinden önce ve sonra büyük farklılıklar göstermektedir. Grafikteki bu büyük farklılığın sebebi 93. gözlem değerine karşılık gelen Eylül 1995 tarihinden sonra Eskişehir ilinde yakıt türü olarak doğalgaz kullanılmaya başlanmasıdır. Bu anlatılanlardan dolayı SO₂ için öngörü yapılmasını daha sonraki başlıklarda doğalgaza geçişmeden önceki SO₂ zaman serisi (öSO₂) ve doğalgaza geçtikten sonraki SO₂ zaman serisi (sSO₂) olarak iki kısımda incelenecektir.

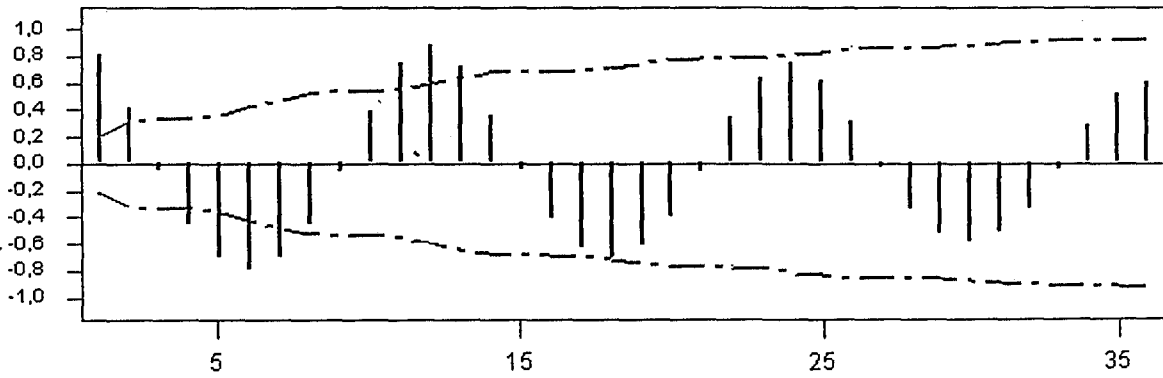
1.4.2. öSO₂ Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözümlemesi

1.4.2.1. Uygun ARIMA Model Grubunun ve Geçici Model Tipinin Belirlenmesi

öSO₂ zaman serisinin Şekil 7’de çizilen kartezyen grafiği incelendiğinde seri gözlem değerlerinin birbirini izleyen yılların kış mevsimlerine karşı gelen aylarında maksimuma ve yaz mevsimine karşı gelen aylarda ise minimuma gitme eğilimi gösterdiği, yani serinin mevsimsel unsurun etkisi altında olduğu görülmektedir. Mevsimsel dalgalanmaların dalga şiddetleri birbirine benzerlik göstermektedir.

Şekil 7: $\ddot{\text{O}}\text{SO}_2$ Zaman Serisinin Kartezyen Grafiği

Ayrıca $\ddot{\text{O}}\text{SO}_2$ zaman serisinin orijinal değerleri için hesaplanan ve Şekil 8’de gösterilen 36 örneklem otokorelasyon katsayısının $k=1,12,24,36$ (veya $k=6,18,30$) gecikmelerindeki değerlerinin maksimum (veya minimum) değerler aldığı görülmektedir. Bu durum serinin mevsim bileşeninin etkisi altında olduğu tespitini desteklemekte ve mevsimsel etkinin dalga uzunluğunun $s=12$ olduğunu göstermektedir. Ayrıca otokorelasyon fonksiyonunun bütün s gecikmeleri için anlamlı değerler aldığı, $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{93} \cong \pm 0,20$ limitlerinin dışında kaldığı gözlenmektedir. Bu durum da mevsimsel etkinin serinin durağanlığını bozan bir etki yaptığını ortaya koymaktadır.

Şekil 8: $\ddot{\text{O}}\text{SO}_2$ Zaman Serisinin Korelogramı

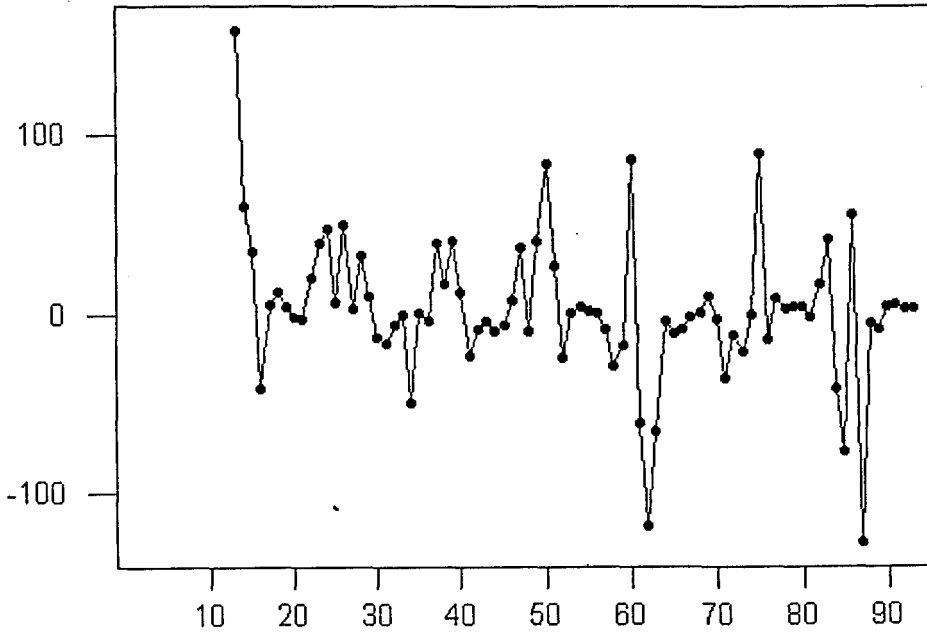
Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0,81	7,82	63,18	10	0,39	1,44	305,30	19	-0,62	-1,65	692,70	28	-0,34	-0,79	929,69
2	0,42	2,63	79,93	11	0,75	2,73	366,35	20	-0,40	-1,04	712,38	29	-0,53	-1,22	968,45
3	-0,06	-0,33	80,23	12	0,88	2,96	450,58	21	-0,06	-0,16	712,84	30	-0,59	-1,33	1016,86
4	-0,46	-2,73	101,43	13	0,72	2,21	507,38	22	0,34	0,85	726,82	31	-0,52	-1,16	1055,82
5	-0,71	-3,90	152,36	14	0,36	1,07	522,17	23	0,64	1,62	778,30	32	-0,34	-0,74	1072,25
6	-0,79	-3,77	215,97	15	-0,06	-0,17	522,55	24	0,75	1,85	850,35	33	-0,05	-0,11	1072,60
7	-0,71	-2,95	267,59	16	-0,41	-1,20	542,19	25	0,62	1,47	900,33	34	0,28	0,61	1084,32
8	-0,45	-1,73	288,87	17	-0,63	-1,81	588,74	26	0,32	0,74	913,53	35	0,52	1,13	1126,20
9	-0,06	-0,23	289,27	18	-0,70	-1,94	646,65	27	-0,04	-0,10	913,78	36	0,61	1,30	1183,51

Ayrıca $k > 2$ 'den sonraki sıralı gecikmede $k=3$ için istatistiksel olarak sıfır değerini aldığı, yani 3. gecikme için hesaplanan otokorelasyon katsayısının değeri %5 anlam düzeyinde $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{93} \cong \pm 0,20$ limitleri içinde kaldığı görülmektedir. Bu durum öSO_2 zaman serisinin trend bileşeninin etkisinin durağanlığı bozmadığını gösterir.

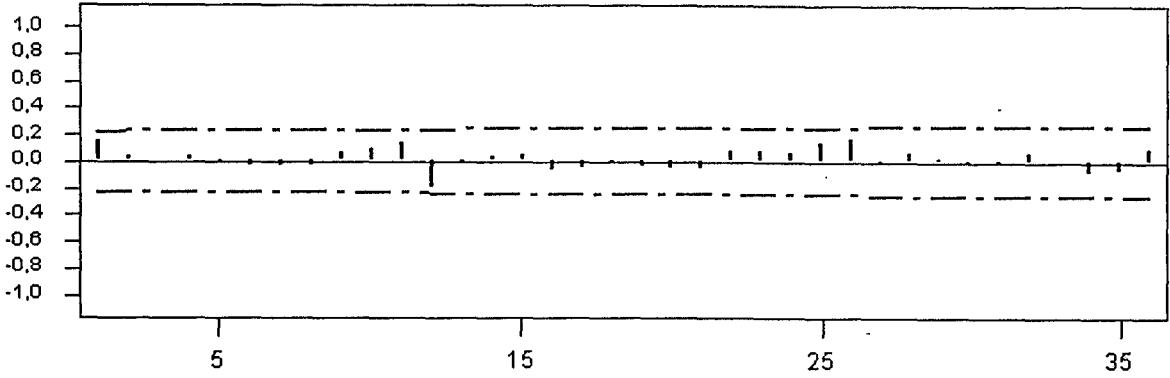
Bu bilgiler ışığında durağan olmayan öSO_2 zaman serisinin çözümlemesi için önerilebilecek geçici modelin durağan olmayan ARIMA model grubundan bir model olabileceği ve geçici model tipinin ise bu gruptan, mevsimsel model tipinde bir model olabileceği görüşüne varılabilir.

öSO_2 zaman serisinin durağanlığı bozan mevsim unsurunun etkisinden arındırmak için serinin 12'şerli farklarının alınması gerekir. 12'şerli farkları alınan serinin (12'şerli Farklar Serisi) kartezyen grafiği Şekil 9'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde 12'şerli farklar serisinin sıfır ortalama etrafında toplandığını ve serinin mevsimsel etkiden arındığı söylenebilir.

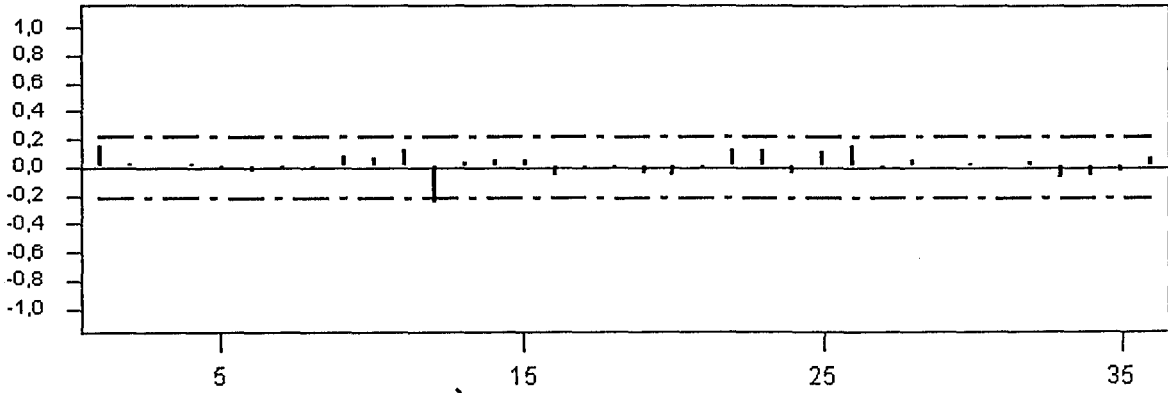
Şekil 9: 12'şerli Farkı Alınmış öSO_2 Serisi Kartezyen Grafiği



Bu serinin Şekil 10'da verilen otokorelasyon grafiği incelendiğinde, bütün k gecikmelerinin %5 anlam seviyesinde $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{81} \cong \pm 0,22$ güven aralığı içinde kaldığı görülmektedir. Otokorelasyon katsayılarının bu görünümü serinin 12'şerli farklarla durağan hale dönüştüğünü göstermektedir. Ayrıca otokorelasyon grafiğinin sinüzoidal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Şekil 10: 12'şerli Farkı Alınmış öSO_2 Serisinin Korelogramı

Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0,16	1,42	2,09	10	0,09	0,76	3,94	19	-0,04	-0,34	11,15	28	0,06	0,50	19,95
2	0,04	0,37	2,25	11	0,14	1,23	5,90	20	-0,05	-0,40	11,42	29	0,02	0,17	20,01
3	0,01	0,10	2,26	12	-0,20	-1,68	9,75	21	-0,05	-0,39	11,69	30	-0,01	-0,04	20,02
4	0,03	0,26	2,34	13	-0,02	-0,19	9,80	22	0,08	0,62	12,37	31	-0,00	-0,03	20,02
5	-0,01	-0,04	2,34	14	0,04	0,32	9,95	23	0,08	0,64	13,09	32	0,06	0,49	20,59
6	-0,04	-0,36	2,49	15	0,05	0,44	10,25	24	0,07	0,57	13,70	33	0,00	0,02	20,59
7	-0,04	-0,34	2,63	16	-0,06	-0,48	10,60	25	0,13	1,05	15,82	34	-0,08	-0,59	21,44
8	-0,03	-0,27	2,71	17	-0,05	-0,44	10,91	26	0,17	1,34	19,41	35	-0,07	-0,49	22,05
9	0,07	0,63	3,21	18	-0,02	-0,17	10,96	27	-0,00	-0,01	19,41	36	0,09	0,71	23,36

Şekil 11: 12'şerli Farkı Alınmış öSO_2 Serisinin Kısmi Korelogramı

Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T
1	0,16	1,42	10	0,07	0,63	19	-0,06	-0,50	28	0,05	0,44
2	0,02	0,16	11	0,12	1,09	20	-0,07	-0,63	29	0,01	0,07
3	0,00	0,02	12	-0,26	-2,31	21	-0,00	-0,03	30	0,03	0,25
4	0,03	0,25	13	0,03	0,31	22	0,12	1,11	31	0,00	0,04
5	-0,01	-0,13	14	0,05	0,42	23	0,13	1,17	32	0,04	0,35
6	-0,04	-0,36	15	0,05	0,45	24	-0,05	-0,43	33	-0,08	-0,69
7	-0,03	-0,25	16	-0,06	-0,55	25	0,10	0,93	34	-0,07	-0,64
8	-0,02	-0,17	17	-0,03	-0,24	26	0,16	1,41	35	-0,04	-0,37
9	0,09	0,77	18	-0,02	-0,19	27	-0,03	-0,24	36	0,07	0,63

Şekil 11'de verilen kısmi otokorelasyon fonksiyonu incelendiğinde ise, grafiğin 1s gecikmesinden sonraki bütün gecikmelerin istatistiksel olarak anlamsız olduğu görülmektedir.

Otokorelasyon fonksiyonu sıralı gecikmelerde azalarak sifıra doğru yaklaşıma eğilimi göstermesi ve $k=12$ için güven aralığı limitine yakın değer alması, kısmi otokorelasyon fonksiyonunun $k=12$ 'de anlamlı değer olarak akseni kesmesi, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının birbirine benzerlik göstermesi sonucunda geçici uygun model ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ olarak belirlenmiştir.

1.4.2.2. Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahminlenmesi

ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ modeline dayanarak türetilen φ_1 ve θ_{12} parametreleri Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19: ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ Model Parametreleri

	Katsayı	S.H. Katsayısı	t Değeri
AR 1	0,3981	0,1095	3,64
SMA 12	0,7894	0,0929	8,5

1.4.2.3. Geçici Modelin Uygunluk Testi

Geçici (1,0,0)(0,1,1)₁₂ modelinin öSO_2 zaman serinin öngörülerinin türetilmesi için uygun olup olmadığına karar verebilmek için önce φ_1 ve θ_{12} parametrelerinin anlamlılığı test edilir. Yapılan bu testte H_0 hipotezi; model parametreleri sifıra eşit, H_1 hipotezi ise; model parametreleri sifırdan farklı, olarak belirlenmiştir. Hesaplanan t istatistiğinin değerleri $t_1=3,64$, $t_2=8,50$ olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler $\alpha=0,05$ için $\pm 1,96$ tablo değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilip, H_1 hipotezi kabul edilmiştir. Yani her iki parametre de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

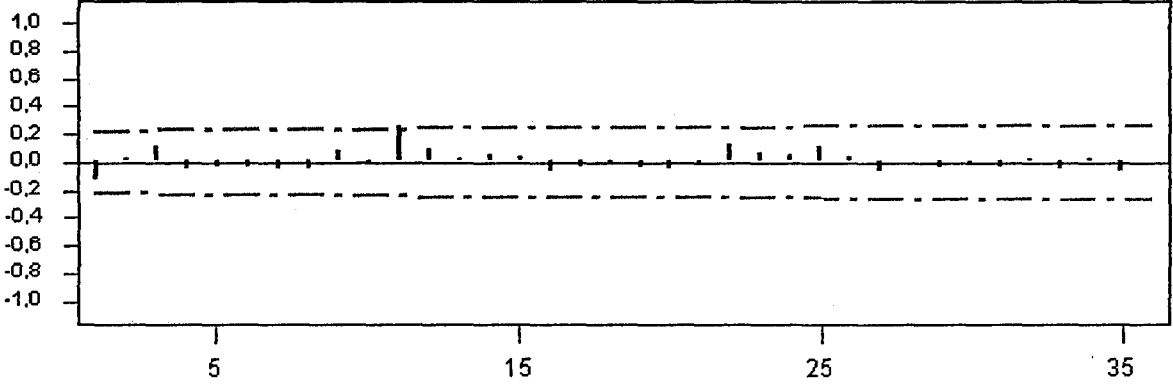
Ayrıca geçici ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ modelinin uygunluğunun araştırılması için Q istatistiğinden de yararlanılır. Bu testte ise H_0 hipotezi; hatalar arasında ilişki vardır, H_1 hipotezi ise hatalar arasında ilişki yoktur, olarak belirlenmiştir. Tablo 20'de verilen Q değerleri, verilen serbestlik derecelerinde χ^2 tablo değerinden küçük olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir. Yani hatalar rassal olarak dağılmıştır. Artık model öngörü amacıyla kullanılabilir.

Tablo 20: ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ Modeli Q Değerleri

Gecikme	12	24	36	48
Q Değerleri	11,6	15,8	19,1	31,1
Serbestlik Derecesi	9	21	33	45

Ayrıca Şekil 12’de verilen tahmin hatalarının otokorelasyon fonksiyonu, 1s harici bütün gecikmelerin $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{81} \cong \pm 0,22$ limitleri içinde kaldığını göstermektedir. Bu da bize ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ modelinin uygun olduğunu kanıtlamaktadır.

Şekil 12: ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ Modeline Ait Öngörü Hatalarının Korelogramı



Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	-0,13	-1,13	1,33	10	-0,01	-0,11	4,05	19	-0,03	-0,25	12,84	28	0,01	0,10	17,79
2	0,02	0,17	1,36	11	0,26	2,25	10,60	20	-0,04	-0,36	13,07	29	-0,03	-0,26	17,93
3	0,11	0,99	2,43	12	0,10	0,81	11,58	21	-0,03	-0,21	13,14	30	-0,01	-0,12	17,96
4	-0,05	-0,41	2,62	13	0,03	0,20	11,64	22	0,13	1,03	15,05	31	-0,03	-0,24	18,08
5	-0,04	-0,38	2,79	14	0,06	0,46	11,97	23	0,06	0,47	15,46	32	0,02	0,12	18,12
6	-0,03	-0,30	2,90	15	0,03	0,26	12,07	24	0,06	0,44	15,84	33	-0,04	-0,35	18,40
7	-0,05	-0,44	3,13	16	-0,07	-0,56	12,59	25	0,10	0,80	17,10	34	0,01	0,11	18,43
8	-0,05	-0,45	3,37	17	-0,03	-0,26	12,70	26	0,04	0,31	17,30	35	-0,07	-0,53	19,14
9	0,08	0,73	4,04	18	-0,02	-0,16	12,74	27	-0,06	-0,48	17,77	36	0,00	0,02	19,14

1.4.2.4. Uygun Modelin Öngörü Amacıyla Kullanılması

Uygunluğuna karar verilen ARIMA(1,0,0)(0,1,1)₁₂ modeli kullanılarak elde edilen 12 aylık öngörü değerleri Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21: ARIMA(1,0,0)(0,1,1)₁₂ Modeli Kullanılarak Elde Edilen Öngörü Değerleri

Aylar	Öngörü Değerleri	Gerçek Değerler	Öngörü Hataları
Eki.95	83	54	-29
Kas.95	263	119	-144
Ara.95	383	120	-263
Oca.96	426	110	-316
Şub.96	383	91	-292
Mar.96	273	80	-193
Nis.96	129	62	-67
May.96	58	27	-31
Haz.96	37	31	-6
Tem.96	34	26	-8
Ağu.96	34	24	-10
Eyl.96	39	31	-8

1.4.2.5. SO_2 Öngörü Değerlerinin Değerlendirilmesi

Tablo 21’de verilen öngörü değerleri incelendiğinde kış ayları için (Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart) elde edilen öngörü değerlerinin bir hayli yüksek çıktığı görülmektedir. Özellikle Ocak ayında hava kirlilik sınır değerinin üzerine çıktığı görülmektedir.

Öngörü değerleri gerçek değerlerle karşılaştırıldığında elde edilen öngörü hataları kış aylarında çok yüksek çıkmıştır. Doğalgaza geçmeden önceki yılların kış ayları ortalamalarına bakıldığında, Kasım $238 \mu\text{g.m}^{-3}$, Aralık $338 \mu\text{g.m}^{-3}$, Ocak $415 \mu\text{g.m}^{-3}$ ve Şubat ayında ise $365 \mu\text{g.m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Fakat tabloda görüldüğü üzere doğalgaz kullanımına başladıktan sonra aynı aylara karşılık gelen havadaki SO_2 miktarlarının önceki aylara göre çok düşük olduğu görülmektedir.

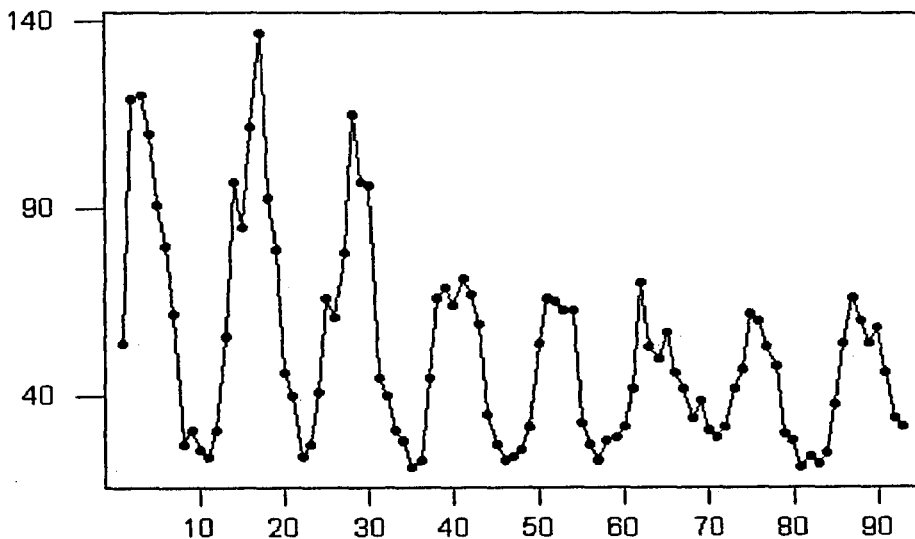
Yaz aylarındaki öngörü hatalarının düşük çıkması seçilen modelin uygunluğunun bir göstergesidir.

1.4.3. sSO_2 Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözümlemesi

1.4.3.1. Uygun ARIMA Model Grubunun ve Geçici Model Tipinin Belirlenmesi

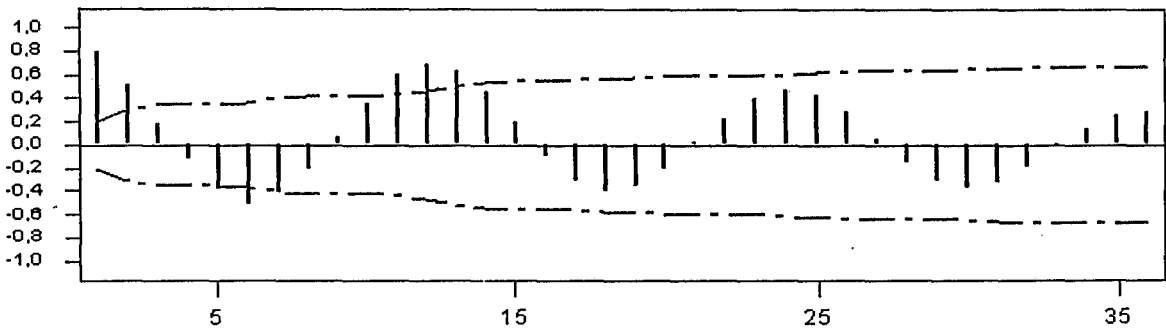
sSO_2 zaman serisinin Şekil 13’de çizilen kartezyen grafiği incelendiğinde seri gözlem değerlerinin birbirini izleyen yılların kış mevsimlerine karşı gelen aylarında maksimuma ve yaz mevsimine karşı gelen aylarda ise minimuma gitme eğilimi gösterdiği, yani serinin mevsimsel unsurun etkisi altında olduğu görülmektedir. Mevsimsel dalgalanmaların dalga şiddetleri birbirinden farklılık göstermektedir. Dalga şiddetlerindeki bu farklılık varyans durağansızlığı ifade eder.

Şekil 13: sSO_2 Serisinin Kartezyen Grafiği



Ayrıca sSO_2 zaman serisinin orijinal değerleri için hesaplanan ve Şekil 14'de gösterilen 36 örneklem otokorelasyon katsayısının $k=1,12,24,36$ (veya $k=6,18,30$) gecikmelerindeki değerlerinin maksimum (veya minimum) değerler aldığı görülmektedir. Bu durum serinin mevsim bileşeninin etkisi altında olduğu tespitini desteklemekte ve mevsimsel etkinin dalga uzunluğunun $s=12$ olduğunu göstermektedir. Ayrıca otokorelasyon fonksiyonunun bütün s gecikmeleri için anlamlı değerler aldığı, $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{93} \cong \pm 0,20$ limitleri dışında kaldığı gözlenmektedir. Bu durum mevsimsel etkinin serinin durağanlığını bozan bir etki yaptığını ortaya koymaktadır.

Şekil 14: sSO_2 Serisinin Korelogramı



Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0,80	7,68	60,95	10	0,35	1,65	169,77	19	-0,35	-1,21	378,91	28	-0,15	-0,45	477,52
2	0,51	3,29	86,64	11	0,61	2,78	209,40	20	-0,21	-0,70	384,12	29	-0,31	-0,96	490,92
3	0,19	1,09	90,12	12	0,69	2,92	260,95	21	0,02	0,06	384,17	30	-0,37	-1,14	510,36
4	-0,13	-0,74	91,81	13	0,63	2,46	304,88	22	0,23	0,78	390,88	31	-0,33	-1,00	526,07
5	-0,39	-2,20	106,93	14	0,45	1,67	328,01	23	0,40	1,33	410,89	32	-0,19	-0,57	531,29
6	-0,51	-2,77	133,84	15	0,19	0,68	332,09	24	0,47	1,55	439,49	33	-0,02	-0,07	531,38
7	-0,42	-2,08	151,72	16	-0,10	-0,36	333,27	25	0,43	1,37	463,51	34	0,14	0,42	534,36
8	-0,21	-1,00	156,30	17	-0,32	-1,12	344,88	26	0,29	0,89	474,26	35	0,25	0,76	544,21
9	0,06	0,29	156,69	18	-0,40	-1,40	363,89	27	0,05	0,16	474,61	36	0,29	0,85	557,10

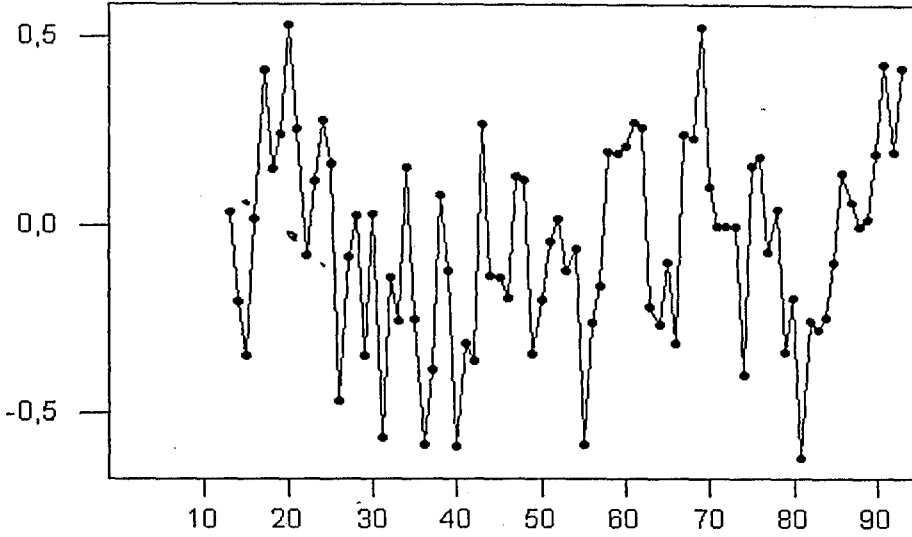
Ayrıca $k>2$ 'den sonraki sıralı gecikmede $k=3$ için istatistiksel olarak sıfır değerini aldığı, yani 3. gecikme için hesaplanan otokorelasyon katsayısının değeri %5 anlam düzeyinde $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{93} \cong \pm 0,20$ limitleri içinde kaldığı görülmektedir. Bu durum sSO_2 miktarı zaman serisinin trend bileşeninin etkisinin durağanlığı bozmadığını gösterir.

Bu bilgiler ışığında durağan olmayan sSO_2 zaman serisinin çözümlenmesi için önerilebilecek geçici modelin durağan olmayan ARIMA model grubundan bir model olabileceği ve geçici model tipinin ise bu gruptan, mevsimsel model tipinde bir model olabileceği görüşüne varılabilir.

sSO_2 zaman serisinin varyans durağansızlığını giderebilmek için serinin önce doğal logaritmasının alınması sonra durağanlığı bozan mevsim unsurunun etkisinden arındırmak için serinin 12'şerli farklarının alınması gerekir. Doğal logaritması ve 12'şerli farkları alınan serinin (logaritmik 12'şerli farklar serisi) kartezyen grafiği Şekil 15'de verilmiştir. Şekil

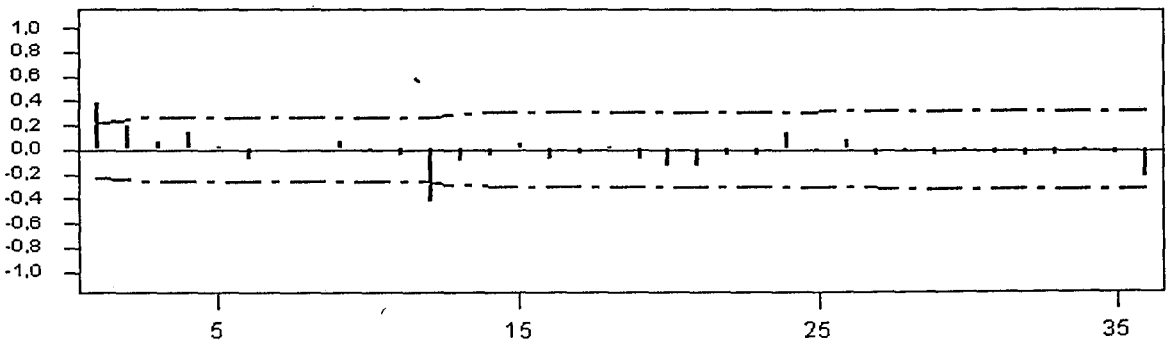
incelendiğinde logaritmik 12'şerli farklar serisinin sıfır ortalama etrafında toplandığını ve serinin mevsimsel etkiden arındığı söylenebilir.

Şekil 15: Doğal Logaritması ve 12'şerli Farkı Alınmış sSO₂ Serisinin Kartezyen Grafiği



Bu serinin Şekil 16'da verilen otokorelasyon fonksiyonu incelendiğinde, 1s gecikmesinden sonraki bütün gecikmelerin %5 anlam seviyesinde $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{81} \cong \pm 0,22$ güven aralığı içinde kaldığı görülmektedir. Otokorelasyon katsayılarının bu görünümü serinin 12'şerli farklarla durağan hale dönüştüğünü göstermektedir. Ayrıca otokorelasyon grafiğinin sinüzoidal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

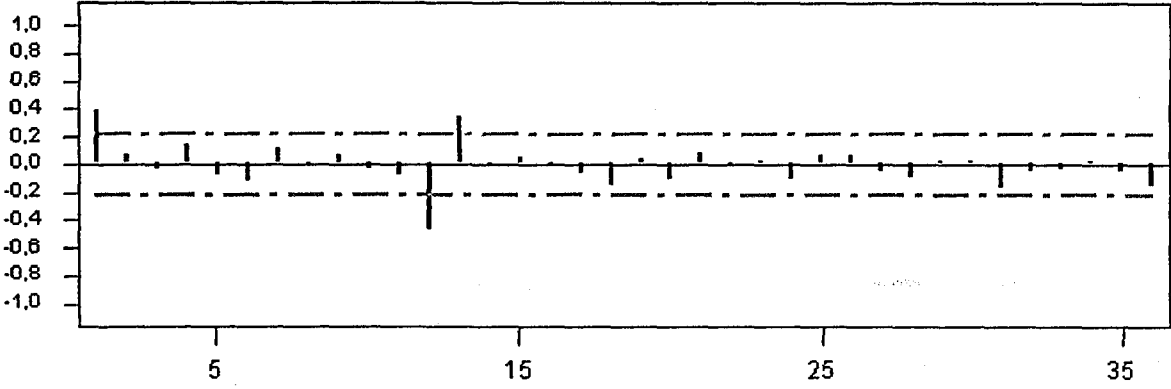
Şekil 16: Doğal Logaritması ve 12'şerli Farkı Alınmış sSO₂ Serisinin Korelogramı



Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0,38	3,44	12,27	10	-0,03	-0,20	18,70	19	-0,09	-0,57	39,67	28	-0,01	-0,05	48,15
2	0,20	1,55	15,54	11	-0,05	-0,40	18,98	20	-0,14	-0,92	41,82	29	-0,05	-0,30	48,44
3	0,06	0,45	15,84	12	-0,43	-3,19	36,66	21	-0,14	-0,92	44,07	30	-0,00	-0,01	48,44
4	0,14	1,06	17,52	13	-0,09	-0,63	37,52	22	-0,05	-0,33	44,37	31	-0,04	-0,23	48,62
5	0,02	0,18	17,57	14	-0,05	-0,35	37,79	23	-0,05	-0,29	44,61	32	-0,06	-0,35	49,04
6	-0,09	-0,64	18,22	15	0,05	0,31	38,02	24	0,14	0,91	46,96	33	-0,05	-0,32	49,39
7	0,01	0,04	18,22	16	-0,08	-0,53	38,69	25	-0,01	-0,06	46,97	34	-0,02	-0,14	49,46
8	0,01	0,04	18,23	17	-0,04	-0,25	38,83	26	0,08	0,54	47,85	35	-0,04	-0,23	49,65
9	0,07	0,50	18,63	18	0,02	0,11	38,86	27	-0,05	-0,31	48,15	36	-0,22	-1,40	56,96

Şekil 17’de verilen kısmı otokorelasyon fonksiyonu incelendiğinde 1s gecikmeden sonraki ilk gecikme olan $k=13$ hariç bütün gecikmelerin güven aralığı içinde kaldığı görülmektedir.

Şekil 17: Doğal Logaritması ve 12’şerli Farkı Alınmış sSO_2 Serinin Kısmi Korelogramı



Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T
1	0,38	3,44	10	-0,04	-0,38	19	0,04	0,35	28	-0,09	-0,80
2	0,06	0,53	11	-0,08	-0,70	20	-0,11	-0,96	29	0,02	0,19
3	-0,04	-0,36	12	-0,47	-4,27	21	0,08	0,73	30	0,02	0,17
4	0,14	1,25	13	0,34	3,05	22	-0,03	-0,26	31	-0,17	-1,55
5	-0,08	-0,72	14	-0,02	-0,15	23	0,03	0,25	32	-0,05	-0,41
6	-0,12	-1,08	15	0,05	0,46	24	-0,11	-1,03	33	-0,04	-0,32
7	0,11	1,00	16	-0,02	-0,16	25	0,07	0,64	34	0,03	0,24
8	-0,03	-0,23	17	-0,07	-0,60	26	0,06	0,58	35	-0,05	-0,49
9	0,06	0,57	18	-0,16	-1,44	27	-0,05	-0,41	36	-0,15	-1,32

Otokorelasyon fonksiyonunun $k=1,2,3$ için aldığı değerlerin azalarak sifıra doğru yaklaşma eğilimi göstermesi, kısmi otokorelasyon fonksiyonunun 1s gecikmeden sonra $k=13$ için anlamlı olması, her iki grafiğinde birbirine benzerlik göstermesi (her iki fonksiyonda da 12. gecikme anlamlı) sonucunda geçici uygun model ARIMA (1,0,0)(1,1,0)₁₂ olarak belirlenmiştir.

1.4.3.2. Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahminlenmesi

ARIMA (1,0,0)(1,1,0)₁₂ modeline dayanarak türetilen ϕ_1 ve ϕ_{12} parametreleri Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22: ARIMA (1,0,0)(1,1,0)₁₂ Model Parametreleri

	Katsayı	S.H. Katsayısı	t Değeri
AR 1	0,4958	0,099	5,01
SAR 12	-0,6714	0,0898	-7,48

1.4.3.3. Geçici Modelin Uygunluk Testi

Geçici $(1,0,0)(1,1,0)_{12}$ modelinin sSO_2 zaman serinin öngörülerinin türetilmesi için uygun olup olmadığına karar verebilmek için önce ϕ_1 ve ϕ_{12} parametrelerinin anlamlılığı test edilir. Yapılan bu testte H_0 hipotezi; model parametreleri sıfıra eşit, H_1 hipotezi ise; model parametreleri sıfırdan farklı, olarak belirlenmiştir. Hesaplanan t istatistiğinin değerleri $t_1=5,01$, $t_2=-7,48$ olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler $\alpha=0,05$ için $\pm 1,96$ tablo değerinden büyük olduğu için her iki parametre de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

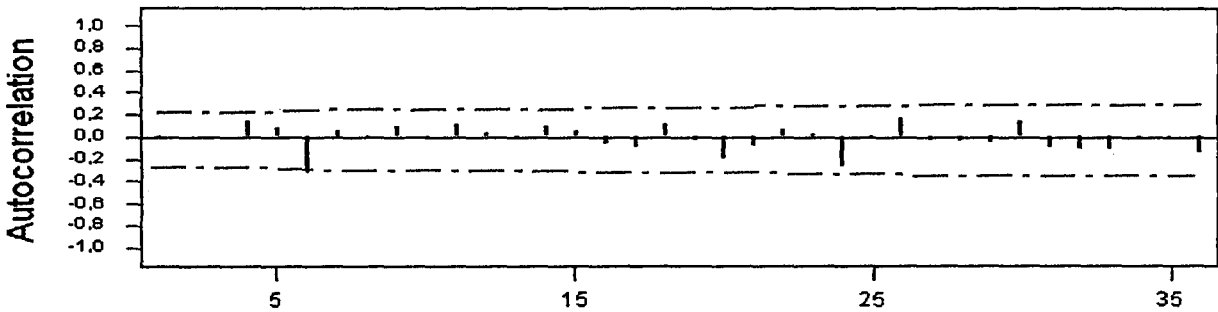
Ayrıca geçici ARIMA $(1,0,0)(1,1,0)_{12}$ modelinin uygunluğunun araştırılması için Q istatistiğinden de yararlanır. Bu testte ise H_0 hipotezi; hatalar arasında ilişki vardır, H_1 hipotezi ise hatalar arasında ilişki yoktur, olarak belirlenmiştir. Tablo 23'de verilen Q değerleri; verilen serbestlik derecelerinde χ^2 tablo değerinden küçük olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir. Yani hatalar rassal olarak dağılmıştır. Artık model öngörü amacıyla kullanılabilir.

Tablo 23: ARIMA $(1,0,0)(1,1,0)_{12}$ Modelinin Q Değerleri

Gecikme	12	24	36	48
Q Değerleri	14,3	32,4	46	58,2
Serbestlik Derecesi	9	21	33	45

Ayrıca Şekil 18'de verilen tahmin hatalarının otokorelasyon fonksiyonu, 1s harici bütün gecikmelerin $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{81} \cong \pm 0,22$ limitleri içinde kaldığını göstermektedir. Bu da bize ARIMA $(1,0,0)(1,1,0)_{12}$ modelinin uygun olduğunu kanıtlamaktadır.

Şekil 18: ARIMA $(1,0,0)(1,1,0)_{12}$ Modeline Ait Öngörü Hatalarının Korelogramı



Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	-0,02	-0,19	0,04	10	-0,02	-0,18	13,13	19	-0,04	-0,29	18,36	28	-0,04	-0,30	36,13
2	0,00	0,02	0,04	11	0,11	0,84	14,20	20	-0,20	-1,53	22,79	29	-0,04	-0,31	36,38
3	0,00	0,04	0,04	12	0,03	0,26	14,31	21	-0,08	-0,63	23,59	30	0,14	0,97	38,97
4	0,14	1,27	1,77	13	-0,02	-0,18	14,37	22	0,07	0,49	24,09	31	-0,09	-0,62	40,07
5	0,08	0,69	2,32	14	0,09	0,69	15,15	23	0,02	0,16	24,14	32	-0,10	-0,71	41,58
6	-0,33	-2,87	11,92	15	0,06	0,43	15,46	24	-0,21	-1,94	32,38	33	-0,11	-0,74	43,25
7	0,06	0,46	12,22	16	-0,06	-0,49	15,87	25	-0,01	-0,04	32,38	34	-0,01	-0,08	43,27
8	-0,01	-0,06	12,22	17	-0,10	-0,79	16,95	26	0,17	1,17	35,77	35	-0,02	-0,14	43,33
9	0,10	0,77	13,08	18	0,11	0,83	18,20	27	-0,03	-0,22	35,90	36	-0,13	-0,90	46,03

1.4.3.4. Uygun Modelin Öngörü Amacıyla Kullanılması

Uygunluğuna karar verilen ARIMA(1,0,0)(1,1,0)₁₂ modeli kullanılarak elde edilen 12 aylık öngörü değerleri Tablo 24’de verilmiştir.

Tablo 24: ARIMA(1,0,0)(1,1,0)₁₂ Modeli Kullanılarak Elde Edilen Öngörü Değerleri

Aylar	Öngörü Değerleri	Gerçek Değerler	Öngörü Hataları
Tem.03	27	29	2
Ağu.03	25	25	0
Eyl.03	27	33	6
Eki.03	37	37	0
Kas.03	45	72	27
Ara.03	57	46	-11
Oca.04	54	44	-10
Şub.04	48	57	9
Mar.04	46	53	7
Nis.04	31	53	22
May.04	27	54	27
Haz.04	22		

1.4.3.5. sSO₂ Öngörü Değerlerinin Değerlendirilmesi

Tablo 24’de görüldüğü gibi öngörü değerleriyle gerçek değerler arasında çok büyük farklılık bulunmamaktadır. Tahmin hatalarının bu kadar küçük çıkması seçtiğimiz modelin bu seriyi tam anlamıyla açıkladığını göstermektedir.

1.5. PM Miktarı Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözümlemesinde ARIMA Modellerinin Kullanılması

Yakıt kullanım türlerindeki bu değişiklik nedeniyle Tablo 16’daki PM örneklem zaman serisi üç aşamalı olarak çözümlenecektir. 1. aşamada PM örneklem zaman serisinin çözümlenmesine yer verilecektir. 2. ve 3. aşamalarda bu serinin doğalgaza geçmeden önceki Ocak 1988-Eylül 1995 dönemini birinci kısmi seri ve doğalgaza geçtikten sonraki Ekim 1995-Haziran 2003 dönemini de ikinci kısmi seri olarak tanımlamak suretiyle çözümlenecektir. 1. kısmi seri öPM, 2. kısmi seri ise sPM olarak tanımlanmıştır.

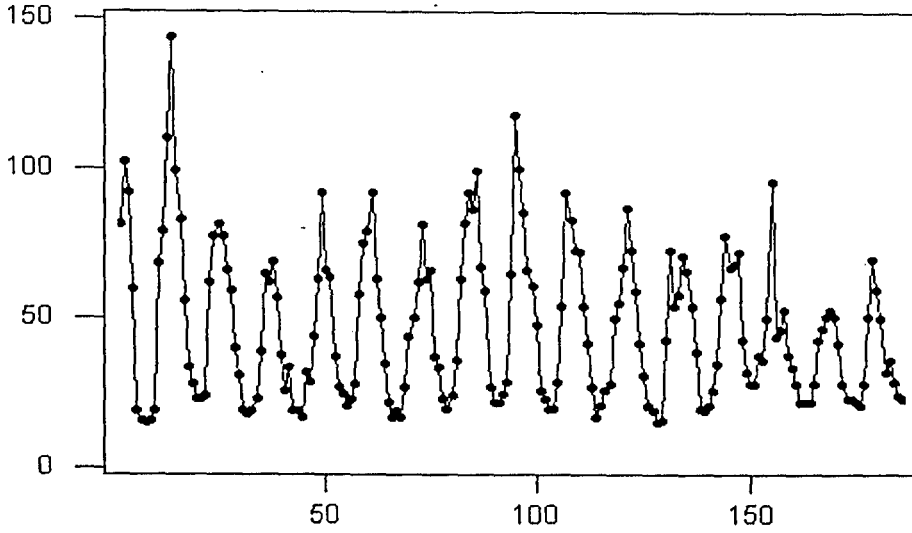
1.5.1. PM Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözümlemesi

1.5.1.1. Uygun ARIMA Model Grubunun ve Geçici Model Tipinin Belirlenmesi

PM miktarı zaman serisinin Şekil 19’da çizilen kartezyen grafiği incelendiğinde serinin gözlem değerlerinin birbirini izleyen yılların kış mevsimlerine karşı gelen aylarında maksimuma ve yaz mevsimine karşı gelen aylarda ise minimuma gitme eğilimi gösterdiği,

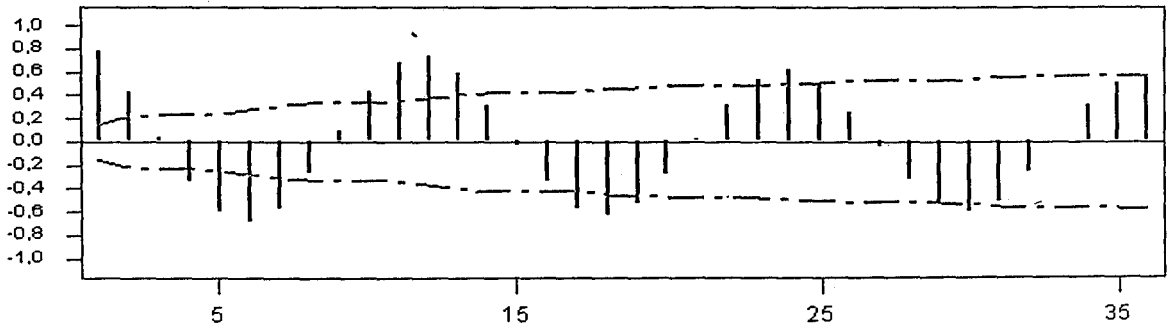
yani serinin mevsimsel unsurun etkisi altında olduğu görülmektedir. Mevsimsel dalgalanmaların dalga şiddetleri birbirine benzerlik göstermektedir.

Şekil 19: PM Serisinin Kartezyen Grafiği



Ayrıca PM miktarı zaman serisinin orijinal değerleri için hesaplanan ve Şekil 20'de gösterilen 36 örneklem otokorelasyon katsayısının $k=1,12,24,36$ (veya $k=6,18,30$) gecikmelerindeki değerlerinin maksimum (veya minimum) değerler aldığı görülmektedir. Bu durum serinin mevsim bileşeninin etkisi altında olduğu tespitini desteklemekte ve mevsimsel etkinin dalga uzunluğunun $s=12$ olduğunu göstermektedir. Ayrıca otokorelasyon fonksiyonunun bütün s gecikmeleri için anlamlı değerler aldığı, $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{186} \cong \pm 0,15$ limitlerinin dışında kaldığı gözlenmektedir. Bu durum mevsimsel etkinin serinin durağanlığını bozan bir etki yaptığını ortaya koymaktadır.

Şekil 20: PM Serisinin Korelogramı



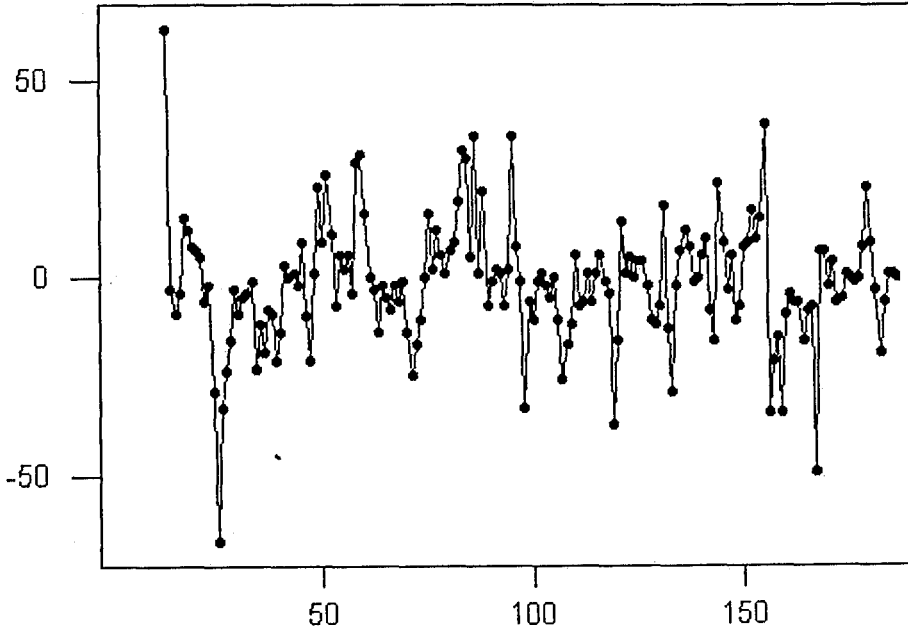
Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0,78	10,59	113,97	10	0,43	2,57	452,30	19	-0,53	-2,24	975,12	28	-0,33	-1,24	1250,30
2	0,43	3,95	149,14	11	0,68	3,86	543,38	20	-0,29	-1,19	992,37	29	-0,54	-2,01	1314,90
3	0,03	0,29	149,37	12	0,73	3,89	651,33	21	0,03	0,12	992,54	30	-0,61	-2,21	1397,20
4	-0,35	-2,93	172,30	13	0,59	2,90	721,66	22	0,32	1,31	1014,08	31	-0,51	-1,83	1456,63
5	-0,60	-4,91	242,75	14	0,31	1,46	741,13	23	0,53	2,16	1074,33	32	-0,27	-0,96	1473,59
6	-0,69	-4,98	334,70	15	-0,03	-0,15	741,34	24	0,62	2,45	1156,43	33	0,01	0,05	1473,64
7	-0,57	-3,67	398,15	16	-0,34	-1,59	765,35	25	0,50	1,93	1210,87	34	0,31	1,07	1495,53
8	-0,27	-1,65	412,89	17	-0,57	-2,63	832,97	26	0,26	0,98	1225,63	35	0,51	1,76	1555,16
9	0,10	0,58	414,75	18	-0,64	-2,82	917,09	27	-0,04	-0,17	1226,06	36	0,57	1,94	1630,82

Ayrıca $k > 2$ 'den sonraki sıralı gecikmede $k=3$ için istatistiksel olarak sıfır değerini aldığı, yani 3. gecikme için hesaplanan otokorelasyon katsayısının değeri %5 anlam düzeyinde $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{186} \cong \pm 0,15$ limitleri içinde kaldığı görülmektedir. Bu durum PM miktarı zaman serisinin trend bileşeninin etkisinin durağanlığı bozmadığını gösterir.

Bu bilgiler ışığında durağan olmayan PM zaman serisinin çözümlemesi için önerilebilecek geçici modelin durağan olmayan ARIMA model grubundan bir model olabileceği ve geçici model tipinin ise bu gruptan, mevsimsel model tipinde bir model olabileceği görüşüne varılabilir.

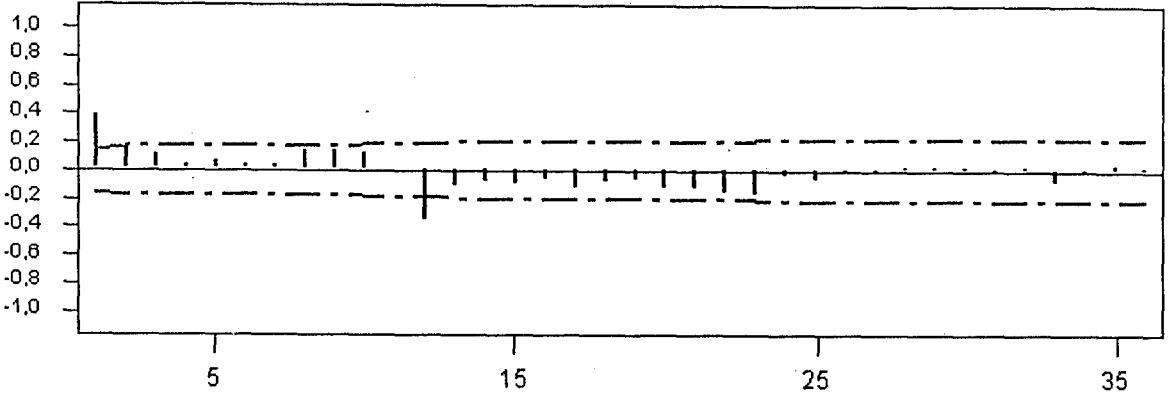
PM miktarı zaman serisinin durağanlığı bozan mevsim unsurunun etkisinden arındırmak için serinin 12.'şerli farklarının alınması gerekir. 12.'şerli farkları alınan serinin (12.'şerli farklar serisi) kartezyen grafiği Şekil 21'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde 12.'şer farklar serisinin sıfır ortalama etrafında toplandığını ve serinin mevsimsel etkiden arındığı söylenebilir.

Şekil 21: 12.'şerli Farkı Alınmış Serinin Kartezyen Grafiği



Bu serinin Şekil 22'de verilen otokorelasyon fonksiyonu incelendiğinde, 1s gecikmesinden sonraki bütün gecikmelerin %5 anlam seviyesinde $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{174} \cong \pm 0,16$ güven aralığı içinde kaldığı görülmektedir. Otokorelasyon katsayılarının bu şekildeki görünümü serinin 12.'şerli farklarla durağan hale dönüştüğünü göstermektedir. Ayrıca otokorelasyon grafiğinin sinüzoidal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

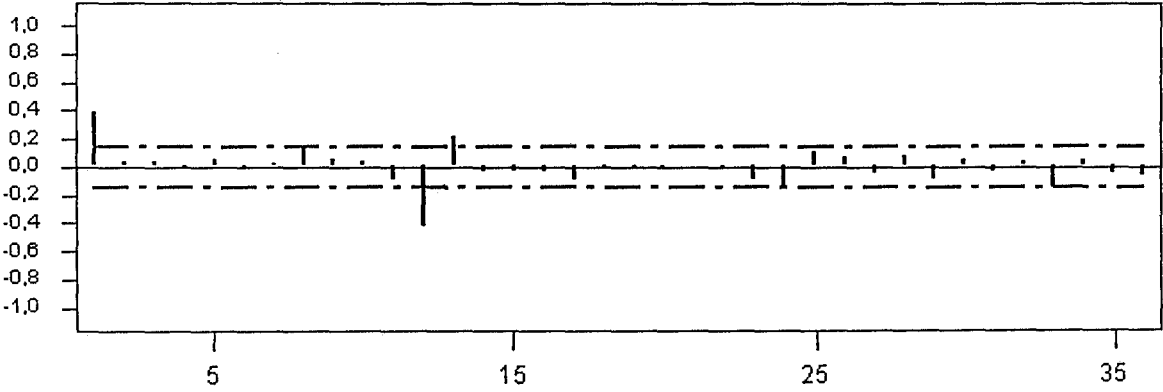
Şekil 22: 12'şerli Farkı Alınmış Serinin Korelogramı



Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0,39	5,16	27,12	10	0,12	1,32	46,07	19	-0,06	-0,57	81,55	28	0,03	0,23	98,63
2	0,18	2,07	32,88	11	0,01	0,08	46,08	20	-0,13	-1,22	84,77	29	0,03	0,26	98,80
3	0,11	1,27	35,17	12	-0,36	-3,88	70,83	21	-0,12	-1,12	87,54	30	0,03	0,23	98,93
4	0,04	0,44	35,45	13	-0,11	-1,05	72,96	22	-0,15	-1,38	91,86	31	-0,02	-0,16	99,00
5	0,06	0,71	36,19	14	-0,08	-0,74	74,05	23	-0,16	-1,51	97,16	32	0,03	0,26	99,18
6	0,04	0,43	36,46	15	-0,10	-0,98	75,99	24	-0,04	-0,35	97,46	33	-0,09	-0,79	100,77
7	0,04	0,41	36,71	16	-0,07	-0,67	76,90	25	-0,07	-0,65	98,48	34	-0,00	-0,05	100,77
8	0,13	1,49	40,03	17	-0,12	-1,16	79,67	26	-0,00	-0,04	98,48	35	0,04	0,38	101,15
9	0,13	1,45	43,28	18	-0,08	-0,75	80,86	27	-0,01	-0,08	98,50	36	0,02	0,15	101,21

Şekil 23'de verilen kısmi otokorelasyon fonksiyonu incelendiğinde ise, 1s gecikmeden sonraki ilk gecikme olan $k=13$ haricinde tüm gecikmelerin istatistiksel olarak anlamsız olduğu görülmektedir.

Şekil 23: 12'şerli Farkı Alınmış Serinin Kısmi Korelogramı



Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T
1	0,39	5,16	10	0,04	0,54	19	-0,02	-0,30	28	0,08	1,05
2	0,03	0,41	11	-0,09	-1,23	20	-0,00	-0,06	29	-0,09	-1,20
3	0,04	0,51	12	-0,43	-5,67	21	0,01	0,19	30	0,05	0,65
4	-0,02	-0,33	13	0,21	2,80	22	-0,03	-0,38	31	-0,04	-0,49
5	0,06	0,75	14	-0,04	-0,56	23	-0,09	-1,24	32	0,04	0,57
6	-0,01	-0,09	15	-0,04	-0,58	24	-0,13	-1,78	33	-0,15	-2,03
7	0,02	0,26	16	-0,04	-0,52	25	0,12	1,53	34	0,05	0,72
8	0,13	1,67	17	-0,09	-1,17	26	0,07	0,93	35	-0,06	-0,76
9	0,05	0,60	18	-0,02	-0,25	27	-0,05	-0,71	36	-0,06	-0,78

Otokorelasyon fonksiyonunun azalarak sifira gitme eğiliminde olması ve $k=1$ için anlamlı değer alması ve kısmi otokorelasyon fonksiyonunun $k=12$ 'de anlamlı değer alarak negatif değer alması ve $k=13$ 'de de ekseni kesip yine anlamlı değerler alması sonucunda geçici uygun model ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ olarak belirlenmiştir.

1.5.1.2. Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahminlenmesi

ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ modeline dayanarak türetilen φ_1 ve θ_{12} parametreleri Tablo 25'de verilmiştir.

Tablo 25: ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ Model Parametreleri

	Katsayı	S.H. Katsayısı	t Değeri
AR 1	0,5867	0,0603	9,72
SMA 12	0,912	0,0485	18,82

1.5.1.3. Geçici Modelin Uygunluk Testi

Geçici (1,0,0)(0,1,1)₁₂ modelinin PM zaman serinin öngörülerinin türetilmesi için uygun olup olmadığına karar verebilmek için önce φ_1 ve θ_{12} parametrelerinin anlamlılığı test edilir. Yapılan bu testte H_0 hipotezi; model parametreleri sifira eşit, H_1 hipotezi ise; model parametreleri sıfırdan farklı, olarak belirlenmiştir. Hesaplanan t istatistiğinin değerleri $t_1=9,72$, $t_2=18,82$ olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler $\alpha= 0,05$ için $\pm 1,96$ tablo değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilip, H_1 hipotezi kabul edilmiştir. Yani her iki parametre de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

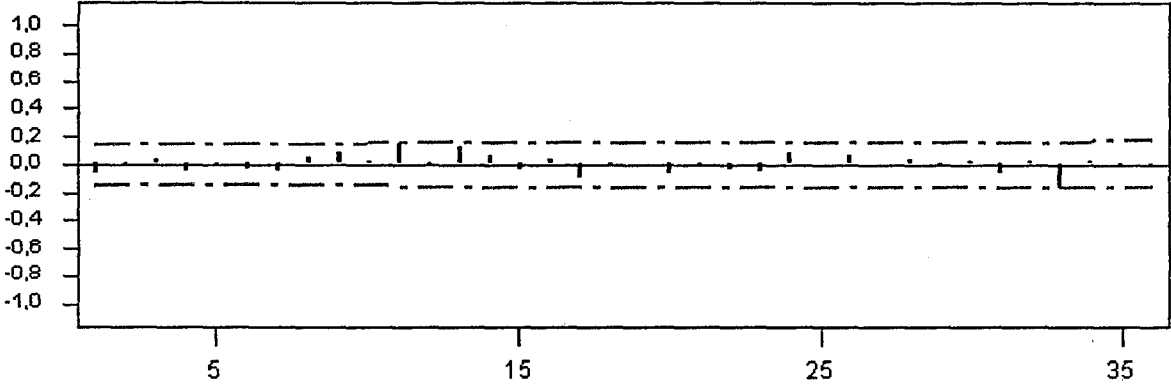
Ayrıca geçici ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ modelinin uygunluğunun araştırılması için Q istatistiğinden de yararlanır. Bu testte ise H_0 hipotezi; hatalar arasında ilişki vardır, H_1 hipotezi ise hatalar arasında ilişki yoktur, olarak belirlenmiştir. Tablo 26'da verilen Q değerleri, verilen serbestlik derecelerinde χ^2 tablo değerinden küçük olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir. Yani hatalar rassal olarak dağılmıştır. Artık model öngörü amacıyla kullanılabilir.

Tablo 26: ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ Modelinin Q Değerleri

Gecikme	12	24	36	48
Q Değerleri	8	16,8	25,3	32,8
Serbestlik Derecesi	9	21	33	45

Ayrıca Şekil 24’de verilen tahmin hatalarının otokorelasyon fonksiyonu, bütün gecikmelerin $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{174} \cong \pm 0,16$ limitleri içinde kaldığını göstermektedir. Bu da bize ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ modelinin uygun olduğunu kanıtlamaktadır.

Şekil 24: ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ Modeline Ait Öngörü Hatalarının Korelogramı



Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	-0,06	-0,80	0,65	10	0,02	0,25	3,69	19	0,00	0,04	13,73	28	0,04	0,45	18,17
2	-0,01	-0,11	0,66	11	0,15	1,93	7,89	20	-0,07	-0,83	14,64	29	-0,02	-0,26	18,27
3	0,03	0,42	0,85	12	-0,03	-0,33	8,02	21	-0,02	-0,25	14,72	30	0,02	0,18	18,31
4	-0,04	-0,59	1,21	13	0,12	1,54	10,85	22	-0,04	-0,47	15,01	31	-0,07	-0,79	19,23
5	-0,01	-0,19	1,25	14	0,06	0,76	11,56	23	-0,06	-0,71	15,69	32	0,03	0,30	19,37
6	-0,03	-0,46	1,47	15	-0,03	-0,38	11,74	24	0,07	0,91	16,83	33	-0,16	-1,94	25,00
7	-0,05	-0,67	1,96	16	0,04	0,50	12,06	25	0,01	0,08	16,84	34	0,03	0,30	25,15
8	0,06	0,74	2,55	17	-0,09	-1,14	13,71	26	0,07	0,86	17,87	35	-0,00	-0,01	25,15
9	0,08	0,99	3,62	18	-0,01	-0,11	13,73	27	0,01	0,08	17,88	36	-0,03	-0,30	25,29

1.5.1.4. Uygun Modelin Öngörü Amacıyla Kullanılması

Uygunluğuna karar verilen ARIMA(1,0,0)(0,1,1)₁₂ modeli kullanılarak elde edilen 12 aylık öngörü değerleri Tablo 27’de verilmiştir.

Tablo 27: ARIMA(1,0,0)(0,1,1)₁₂ Modeli Kullanılarak Elde Edilen Öngörü Değerleri

Aylar	Öngörü Değerleri	Gerçek Değerler	Öngörü Hataları
Tem.03	19	22	3
Ağu.03	19	20	1
Eyl.03	23	22	-1
Eki.03	44	36	-8
Kas.03	64	85	21
Ara.03	63	56	-7
Oca.04	66	50	-16
Şub.04	59	50	-9
Mar.04	50	36	-14
Nis.04	34	28	-6
May.04	22	18	-4
Haz.04	15		

1.5.1.5. PM Öngörü Değerlerinin Değerlendirilmesi

Tablo 27’de verilen öngörü değerleri gerçek değerlere çok yakın sonuçlar vermiştir. Seçilen model uygulandığında elde edilen öngörü değerlerinin öngörü hataları çok düşük çıkmıştır.

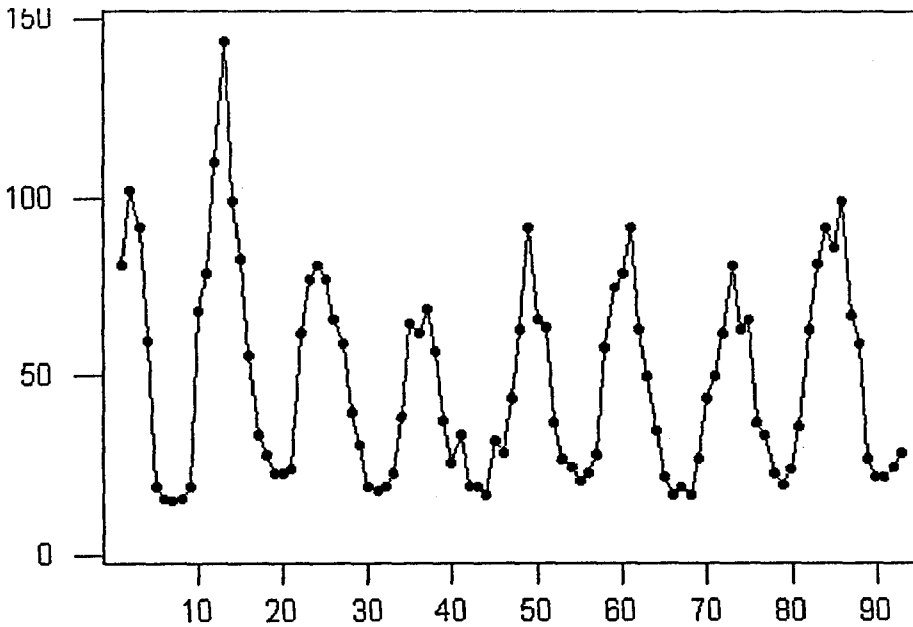
Kısmi seri çözümlemesi yapmamamıza rağmen elde edilen hata değerleri çok düşük çıkmıştır. Bunun sebebi, hava kirlilik parametrelerinden biri olan havadaki PM miktarının doğalgaz kullanılmasıyla çok fazla ilgisinin olmamasıdır.

1.5.2. öPM Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözümlemesi

1.5.2.1. Uygun ARIMA Model Grubunun ve Geçici Model Tipinin Belirlenmesi

öPM miktarı zaman serisinin Şekil 25’de çizilen kartezyen grafiği incelendiğinde serinin gözlem değerlerinin birbirini izleyen yılların kış mevsimlerine karşı gelen aylarında maksimuma ve yaz mevsimine karşı gelen aylarda ise minimuma gitme eğilimi gösterdiği, yani serinin mevsimsel unsurun etkisi altında olduğu görülmektedir. Mevsimsel dalgalanmaların dalga şiddetleri birbirine benzerlik göstermektedir.

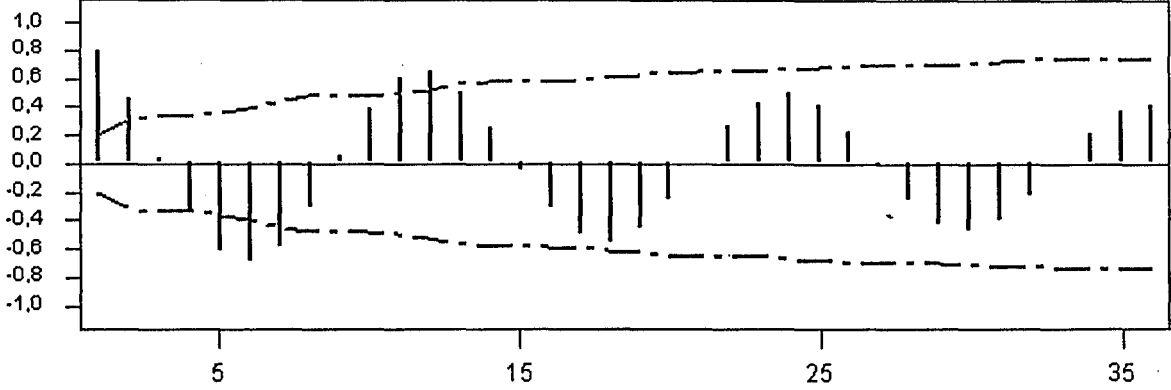
Şekil 25: öPM Zaman Serisinin Kartezyen Grafiği



Ayrıca öPM miktarı zaman serisinin orijinal değerleri için hesaplanan ve Şekil 26’da gösterilen 36 örneklem otokorelasyon katsayısının $k=1,12,24,36$ (veya $k=6,18,30$) gecikmelerindeki değerlerinin maksimum (veya minimum) değerler aldığı görülmektedir. Bu durum serinin mevsim bileşeninin etkisi altında olduğu tespitini desteklemekte ve mevsimsel

etkinin dalga uzunluğunun $s=12$ olduğunu göstermektedir. Ayrıca otokorelasyon fonksiyonunun bütün s gecikmelerde anlamlı değerler aldığı, $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{93} \cong \pm 0,20$ limitlerinin dışında kaldığı gözlenmektedir. Bu durum mevsimsel etkinin serinin durağanlığını bozan bir etki yaptığını ortaya koymaktadır.

Şekil 26: öPM Zaman Serisinin Korelogramı



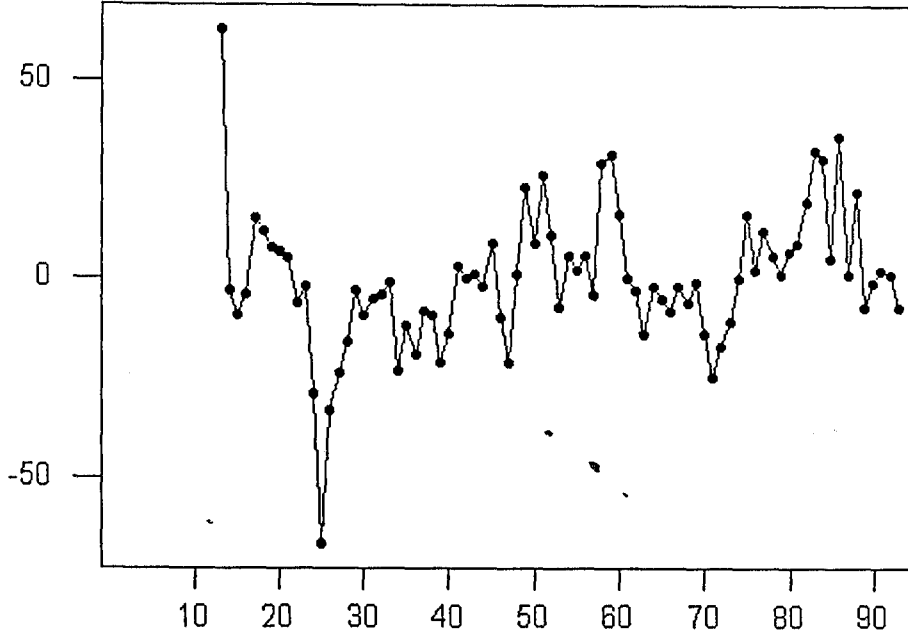
Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0,80	7,69	60,99	10	0,39	1,60	243,35	19	-0,46	-1,45	467,56	28	-0,26	-0,74	578,13
2	0,46	2,96	81,73	11	0,60	2,40	282,54	20	-0,26	-0,80	475,72	29	-0,42	-1,20	603,06
3	0,03	0,19	81,83	12	0,65	2,43	328,34	21	0,01	0,04	475,74	30	-0,48	-1,33	634,77
4	-0,36	-2,11	94,60	13	0,51	1,79	356,50	22	0,27	0,82	484,62	31	-0,40	-1,10	657,65
5	-0,62	-3,46	132,81	14	0,26	0,89	363,99	23	0,43	1,32	508,45	32	-0,22	-0,60	664,75
6	-0,69	-3,46	181,35	15	-0,05	-0,16	364,25	24	0,50	1,48	539,97	33	0,00	0,00	664,75
7	-0,59	-2,61	216,55	16	-0,32	-1,07	375,69	25	0,42	1,21	562,44	34	0,21	0,58	671,65
8	-0,31	-1,30	226,68	17	-0,50	-1,69	405,33	26	0,22	0,63	568,87	35	0,36	0,98	691,91
9	0,06	0,24	227,03	18	-0,56	-1,82	442,10	27	-0,03	-0,08	568,98	36	0,41	1,09	718,17

Ayrıca $k>2$ 'den sonraki sıralı gecikmede $k=3$ için istatistiksel olarak sıfır değerini aldığı, yani 3. gecikme için hesaplanan otokorelasyon katsayısının değeri %5 anlam düzeyinde $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{93} \cong \pm 0,20$ limitleri içinde kaldığı görülmektedir. Bu durum öPM miktarı zaman serisinin trend bileşeninin etkisinin durağanlığı bozmadığını gösterir.

Bu bilgiler ışığında durağan olmayan öPM zaman serisinin çözümlenmesi için önerilebilecek geçici modelin durağan olmayan ARIMA model grubundan bir model olabileceği ve geçici model tipinin ise bu gruptan, mevsimsel model tipinde bir model olabileceği görüşüne varılabilir.

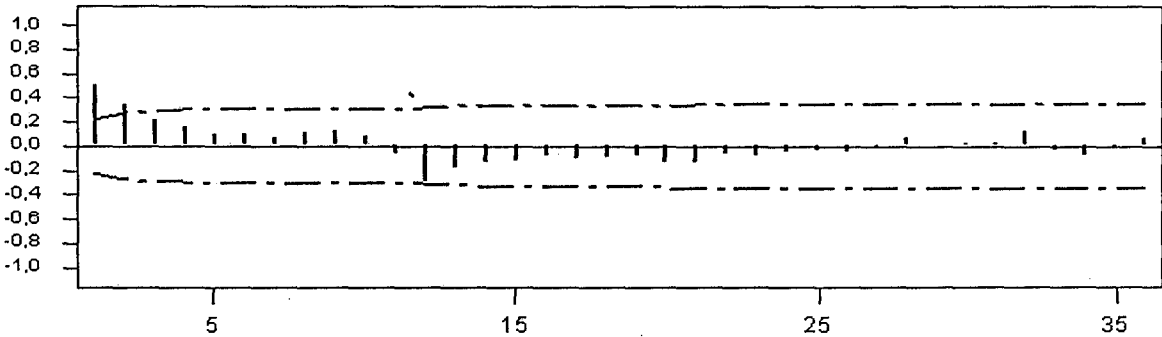
öPM miktarı zaman serisinin durağanlığı bozan mevsim unsurunun etkisinden arındırmak için serinin 12.'şerli farklarının alınması gerekir. 12.'şerli farkları alınan serinin (12.'şerli farklar serisi) kartezyen grafiği Şekil 27'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde 12.'şerli farklar serisinin sıfır ortalama etrafında toplandığını ve serinin mevsimsel etkiden arındığı söylenebilir.

Şekil 27: 12'şerli Farkı Alınmış öPM Serisi Kartezyen Grafiği



Bu serinin Şekil 28'de verilen otokorelasyon fonksiyonu incelendiğinde, 1s gecikmesinden sonraki bütün gecikmelerin %5 anlam seviyesinde $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{81} \cong \pm 0,22$ güven aralığı içinde kaldığı görülmektedir. Otokorelasyon katsayılarının bu şekildeki görünümü serinin 12'şerli farklarla durağan hale dönüştüğünü göstermektedir. 12'şerli farkı alınmış serisinin otokorelasyon ve Şekil 29'da verilen kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının birlikte incelenmesi seri için geçici uygun modelin ortaya çıkarılmasını sağlayacaktır.

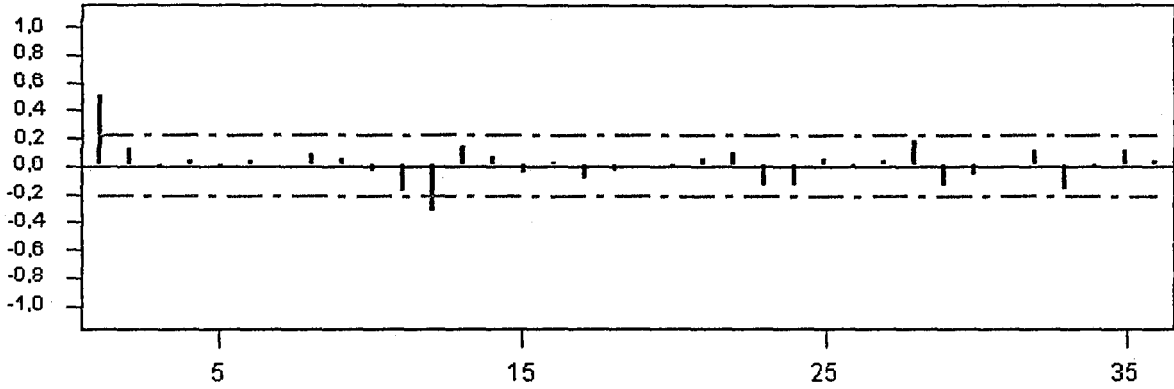
Şekil 28: 12'şerli Farkı Alınmış öPM Serisinin Korelogramı



Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0,50	4,49	20,94	10	0,08	0,54	42,16	19	-0,08	-0,50	61,67	28	0,07	0,38	68,36
2	0,35	2,54	31,07	11	-0,07	-0,45	42,64	20	-0,13	-0,77	63,61	29	0,01	0,07	68,38
3	0,21	1,42	34,80	12	-0,30	-1,91	51,43	21	-0,14	-0,79	65,68	30	0,02	0,12	68,44
4	0,16	1,04	36,92	13	-0,18	-1,08	54,54	22	-0,07	-0,41	66,25	31	0,02	0,12	68,50
5	0,09	0,58	37,62	14	-0,13	-0,80	56,34	23	-0,08	-0,46	67,01	32	0,12	0,67	70,39
6	0,09	0,58	38,33	15	-0,13	-0,77	58,01	24	-0,04	-0,26	67,25	33	-0,04	-0,25	70,65
7	0,07	0,46	38,78	16	-0,09	-0,51	58,77	25	-0,04	-0,20	67,40	34	-0,09	-0,49	71,71
8	0,11	0,74	39,99	17	-0,10	-0,61	59,89	26	-0,05	-0,30	67,73	35	-0,00	-0,01	71,71
9	0,13	0,82	41,50	18	-0,10	-0,57	60,89	27	-0,02	-0,13	67,80	36	0,07	0,41	72,49

Şekil 29’da verilen kısmi otokorelasyon grafiği incelendiğinde 1s gecikmesinden sonraki bütün gecikmelerin belirlenen güven limitleri içinde kaldığı görülmektedir. Ayrıca grafiğin azalarak sıfıra gitme eğiliminde olduğu görülmektedir.

Şekil 29: 12’şerli Farkı Alınmış öPM Serisinin Kısmi Otokorelasyon Grafiği



Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T
1	0,50	4,49	10	-0,04	-0,33	19	0,00	0,04	28	0,18	1,65
2	0,13	1,15	11	-0,18	-1,66	20	-0,02	-0,15	29	-0,14	-1,29
3	-0,01	-0,07	12	-0,33	-2,97	21	0,05	0,49	30	-0,06	-0,54
4	0,03	0,29	13	0,13	1,19	22	0,09	0,83	31	0,00	0,02
5	-0,02	-0,18	14	0,07	0,59	23	-0,14	-1,26	32	0,10	0,93
6	0,04	0,37	15	-0,05	-0,42	24	-0,14	-1,28	33	-0,17	-1,55
7	0,01	0,10	16	0,02	0,19	25	0,06	0,51	34	-0,02	-0,18
8	0,08	0,71	17	-0,10	-0,88	26	-0,00	-0,01	35	0,10	0,94
9	0,05	0,45	18	-0,03	-0,27	27	0,04	0,37	36	0,04	0,39

Otokorelasyon fonksiyonunun $k=1,2,3,4,5$ için azalarak sıfıra doğru yaklaşma eğiliminde olması $k=1$ için anlamlı değer alması, kısmi otokorelasyon fonksiyonunun $k=1$ 'de anlamlı değerler alması ve grafiğin azalarak devam etmesi ve $k=12$ 'de grafiği keserek anlamlı değerler alması sonucunda geçici uygun model $ARIMA(1,0,0)(1,1,1)_{12}$ olarak belirlenmiştir.

1.5.2.2. Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahminlenmesi

$ARIMA(1,0,0)(1,1,1)_{12}$ modeline dayanarak türetilen φ_1 , φ_{12} ve θ_{12} parametreleri Tablo 28’de verilmiştir.

Tablo 28: $ARIMA(1,0,0)(1,1,1)_{12}$ Model Parametreleri

	Katsayı	S.H. Katsayısı	t Değeri
AR 1	0,6722	0,0799	8,41
SAR 12	-0,3731	0,1171	-3,19
SMA 12	0,9356	0,0811	11,53

1.5.2.3. Geçici Modelin Uygunluk Testi

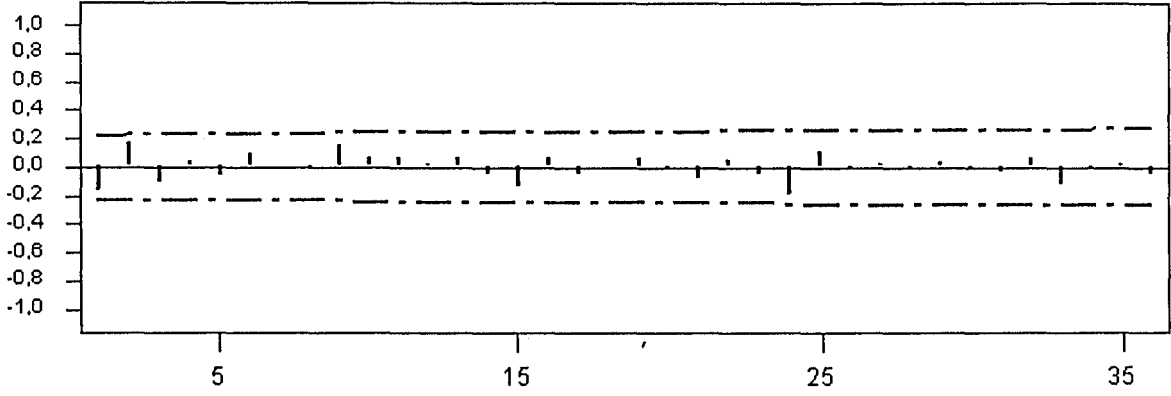
Geçici $(1,0,0)(1,1,1)_{12}$ modelinin öPM miktarı zaman serinin öngörüsüne uygun olup olmadığına karar vermek için önce φ_1 , φ_{12} ve θ_{12} parametrelerinin anlamlılığı test edilir. Yapılan bu testte H_0 hipotezi; model parametreleri sıfıra eşit, H_1 hipotezi ise; model parametreleri sıfırdan farklı, olarak belirlenmiştir. Hesaplanan t istatistiğinin değerleri $t_1=8,41$, $t_2=-3,19$ ve $t_3=11,53$ olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler $\alpha=0,05$ için $\pm 1,96$ tablo değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilip, H_1 hipotezi kabul edilmiştir. Yani her iki parametre de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Ayrıca geçici ARIMA $(1,0,0)(1,1,1)_{12}$ modelinin uygunluğunun araştırılması için Q istatistiğinden de yararlanılır. Bu testte ise H_0 hipotezi; hatalar arasında ilişki vardır, H_1 hipotezi ise hatalar arasında ilişki yoktur, olarak belirlenmiştir. Tablo 29'da verilen Q değerleri, verilen serbestlik derecelerinde χ^2 tablo değerinden küçük olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir. Yani hatalar rassal olarak dağılmıştır. Artık model öngörü amacıyla kullanılabilir.

Tablo 29: ARIMA $(1,0,0)(1,1,1)_{12}$ Modelinin Q Değerleri

Gecikme	12	24	36	48
Q Değerleri	10,4	20,1	25,6	40,8
Serbestlik Derecesi	8	20	32	44

Ayrıca Şekil 30'da verilen tahmin hatalarının otokorelasyon grafiği, bütün gecikmelerin $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{81} \cong \pm 0,22$ limitleri içinde kaldığını göstermektedir. Bu da bize ARIMA $(1,0,0)(1,1,1)_{12}$ modelinin uygun olduğunu kanıtlamaktadır.

Şekil 30: ARIMA (1,0,0)(1,1,1)₁₂ Modeline Ait Öngörü Hatalarının Korelogramı

Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	-0,17	-1,54	2,45	10	0,06	0,53	9,96	19	0,06	0,49	14,23	28	-0,00	-0,02	21,81
2	0,17	1,52	5,02	11	0,06	0,49	10,30	20	-0,02	-0,14	14,26	29	0,03	0,23	21,94
3	-0,11	-0,96	6,12	12	0,02	0,18	10,35	21	-0,08	-0,63	14,99	30	-0,01	-0,07	21,95
4	0,04	0,32	6,24	13	0,07	0,56	10,82	22	0,06	0,44	15,34	31	-0,04	-0,32	22,19
5	-0,06	-0,54	6,61	14	-0,05	-0,44	11,12	23	-0,05	-0,39	15,64	32	0,07	0,50	22,81
6	0,09	0,78	7,38	15	-0,14	-1,11	13,05	24	-0,19	-1,51	20,08	33	-0,13	-0,95	25,06
7	0,00	0,03	7,38	16	0,07	0,55	13,55	25	0,12	0,88	21,71	34	-0,01	-0,04	25,07
8	-0,02	-0,19	7,42	17	-0,05	-0,38	13,79	26	-0,02	-0,13	21,74	35	0,03	0,19	25,16
9	0,15	1,26	9,56	18	0,01	0,08	13,80	27	0,02	0,18	21,81	36	-0,06	-0,41	25,62

1.5.2.4. Uygun Modelin Öngörü Amacıyla Kullanılması

Uygunluğuna karar verilen ARIMA(1,0,0)(1,1,1)₁₂ modeli kullanılarak elde edilen 12 aylık öngörü değerleri Tablo 30'da verilmiştir.

Tablo 30: ARIMA(1,0,0)(1,1,1)₁₂ Modeli Kullanılarak Elde Edilen Öngörü Değerleri

Aylar	Öngörü Değerleri	Gerçek Değerler	Öngörü Hataları
Eki.95	46	65	19
Kas.95	55	118	63
Ara.95	65	100	35
Oca.96	85	85	0
Şub.96	61	66	5
Mar.96	60	61	1
Nis.96	32	48	16
May.96	26	26	0
Haz.96	16	23	7
Tem.96	13	20	7
Ağu.96	14	20	6
Eyl.96	23	29	6

1.5.2.5. öPM Öngörü Değerlerinin Değerlendirilmesi

Tablo 30'da verilen öngörü değerleri incelendiğinde, öngörü değerleriyle gerçek değerler arasındaki farklılığı çok büyük olmadığı görülmektedir. Ancak kış aylarındaki öngörü hataları diğer aylara göre daha büyük çıkmıştır. Bu da kullanılan yakıt türünün değişmesine bağlıdır.

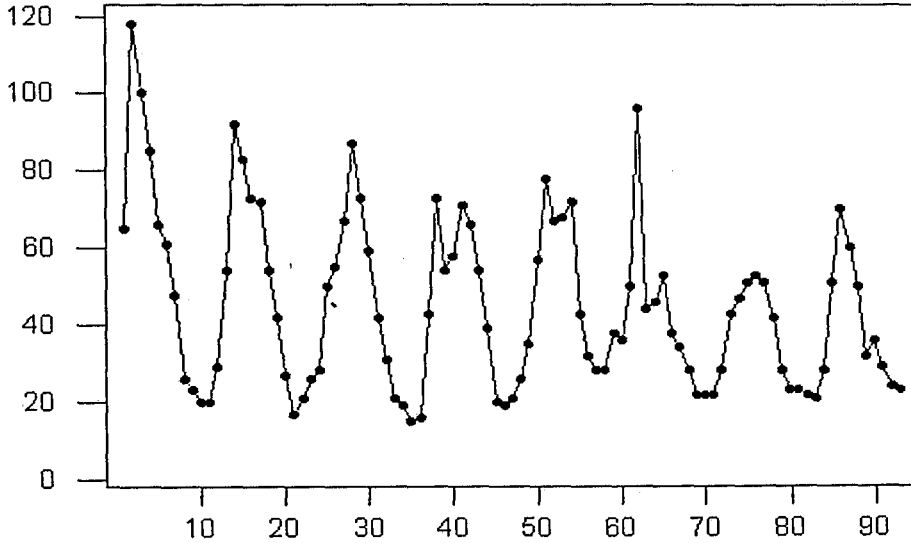
Özellikle yaz aylarındaki öngörü hatalarının küçük çıkması seçilen modelin uygunluğunun bir göstergesidir.

1.5.3. sPM Zaman Serisinin Öngörü Amacıyla Çözülmesi

1.5.3.1. Uygun ARIMA Model Grubunun ve Geçici Model Tipinin Belirlenmesi

sPM miktarı zaman serisinin Şekil 31'de çizilen kartezyen grafiği incelendiğinde seri gözlem değerlerinin birbirini izleyen yılların kış mevsimlerine karşı gelen aylarında maksimuma ve yaz mevsimine karşı gelen aylarda ise minimuma gitme eğilimi gösterdiği, yani serinin mevsimsel unsurun etkisi altında olduğu görülmektedir. Mevsimsel dalgalanmaların dalga şiddetleri birbirine benzerlik göstermektedir.

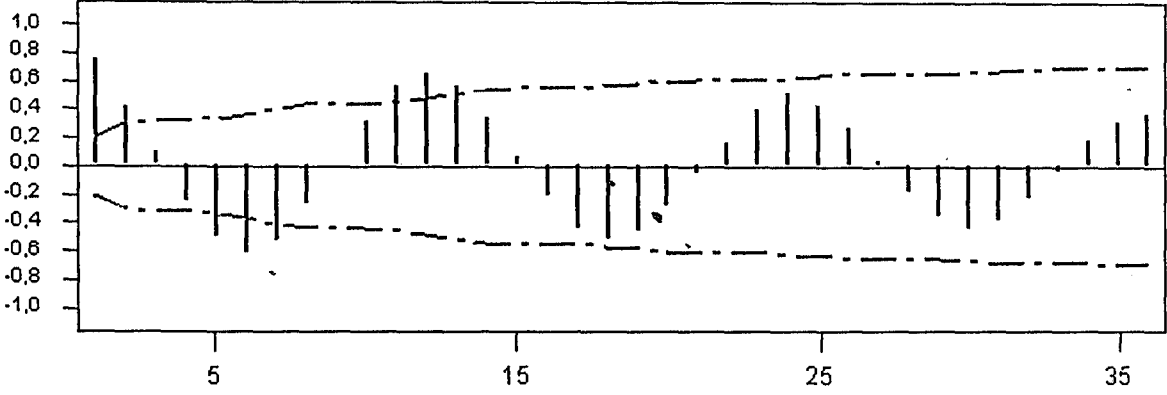
Şekil 31: sPM Serisinin Kartezyen Grafiği



Ayrıca sPM miktarı zaman serisinin orijinal değerleri için hesaplanan ve Şekil 32'de gösterilen 36 örneklem otokorelasyon katsayısının $k=1,12,24,36$ (veya $k=6,18,30$) gecikmelerindeki değerlerinin maksimum (veya minimum) değerler aldığı görülmektedir. Bu durum serinin mevsim bileşeninin etkisi altında olduğu tespitini desteklemekte ve mevsimsel etkinin dalga uzunluğunun $s=12$ olduğunu göstermektedir. Ayrıca otokorelasyon

fonksiyonunun bütün s gecikmelerde anlamlı değerler aldığı, $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{93} \cong \pm 0,20$ limitlerinin dışında kaldığı gözlenmektedir. Bu durum mevsimsel etkinin serinin durağanlığını bozan bir etki yaptığını ortaya koymaktadır.

Şekil 32: sPM Serisinin Korelogramı



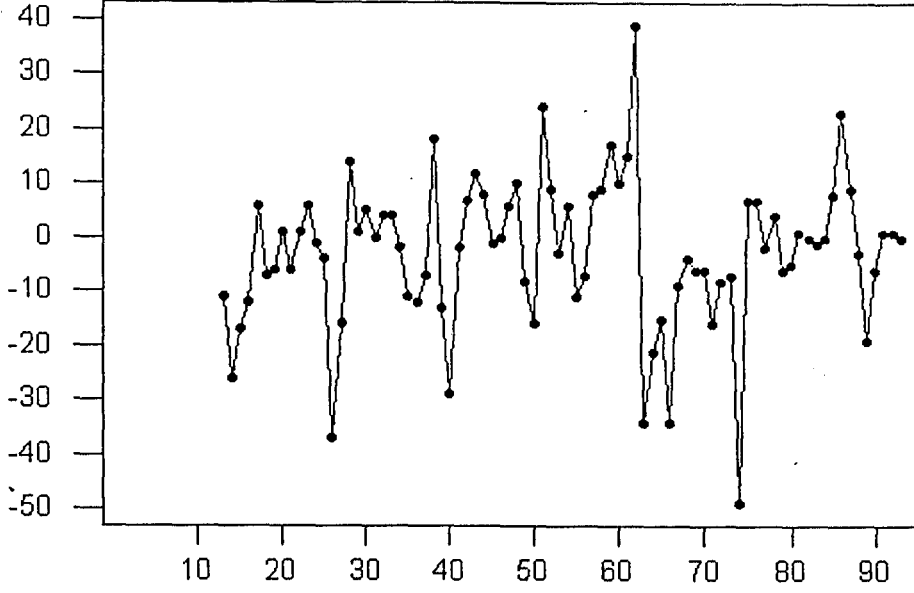
Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0,75	7,23	53,96	10	0,31	1,38	190,10	19	-0,46	-1,54	400,46	28	-0,18	-0,55	508,11
2	0,41	2,71	70,25	11	0,56	2,45	223,54	20	-0,29	-0,94	410,34	29	-0,36	-1,09	526,24
3	0,09	0,55	71,03	12	0,64	2,66	268,45	21	-0,05	-0,16	410,63	30	-0,44	-1,32	553,74
4	-0,26	-1,57	77,52	13	0,56	2,15	302,91	22	0,17	0,55	414,21	31	-0,39	-1,13	575,21
5	-0,51	-3,03	103,38	14	0,34	1,25	315,74	23	0,39	1,29	433,90	32	-0,22	-0,63	582,17
6	-0,62	-3,38	142,39	15	0,07	0,24	316,23	24	0,52	1,67	468,95	33	-0,03	-0,09	582,33
7	-0,54	-2,63	172,11	16	-0,21	-0,76	321,31	25	0,44	1,35	493,66	34	0,18	0,50	586,92
8	-0,27	-1,25	179,97	17	-0,44	-1,59	343,95	26	0,27	0,83	503,37	35	0,32	0,91	602,38
9	0,01	0,05	179,98	18	-0,52	-1,82	375,66	27	0,04	0,13	503,61	36	0,38	1,06	624,18

Ayrıca $k > 2$ 'den sonraki sıralı gecikmede $k=3$ için istatistiksel olarak sıfır değerini aldığı, yani 3. gecikme için hesaplanan otokorelasyon katsayısının değeri %5 anlam düzeyinde $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{93} \cong \pm 0,20$ limitleri içinde kaldığı görülmektedir. Bu durum sPM miktarı zaman serisinin trend bileşeninin etkisinin durağanlığı bozmadığını gösterir.

Bu bilgiler ışığında durağan olmayan sPM zaman serisinin çözümlemesi için önerilebilecek geçici modelin durağan olmayan ARIMA model grubundan bir model olabileceği ve geçici model tipinin ise bu gruptan, mevsimsel model tipinde bir model olabileceği görüşüne varılabilir.

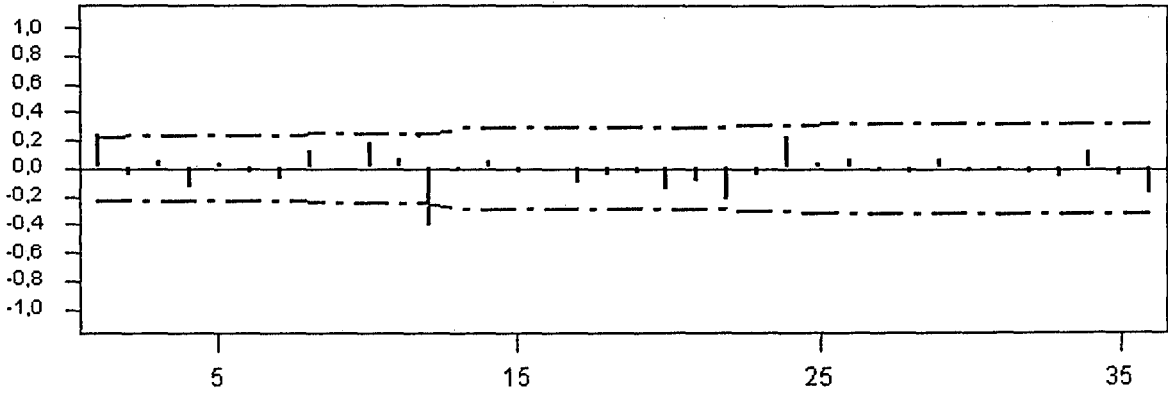
sPM miktarı zaman serisinin durağanlığı bozan mevsim unsurunun etkisinden arındırmak için serinin 12.'şerli farklarının alınması gerekir. Serinin 12.'şerli farkları alındığında elde edilen kartezyen grafik (12.'şerli farklar seirsi) Şekil 33'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde 12.'şerli farklar serisinin sıfır ortalama etrafında toplandığını ve serinin mevsimsel etkiden arındığını söyleyebiliriz.

Şekil 33: 12'şerli Farkı Alınmış sPM Serisinin Kartezyen Grafiği



Bu serinin Şekil 34'de verilen otokorelasyon fonksiyonu incelendiğinde, 1s gecikmesinden sonraki bütün gecikmelerin %5 anlam seviyesinde $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{81} \cong \pm 0,22$ güven aralığı içinde kaldığı görülmektedir. Otokorelasyon katsayılarının bu şekildeki görünümü serinin 12'şerli farklarla durağan hale dönüştüğünü göstermektedir. 12'şerli farkı alınmış serinin otokorelasyon ve Şekil 35'de verilen kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının birlikte incelenmesi seri için geçici uygun modelin ortaya çıkarılmasını sağlayacaktır.

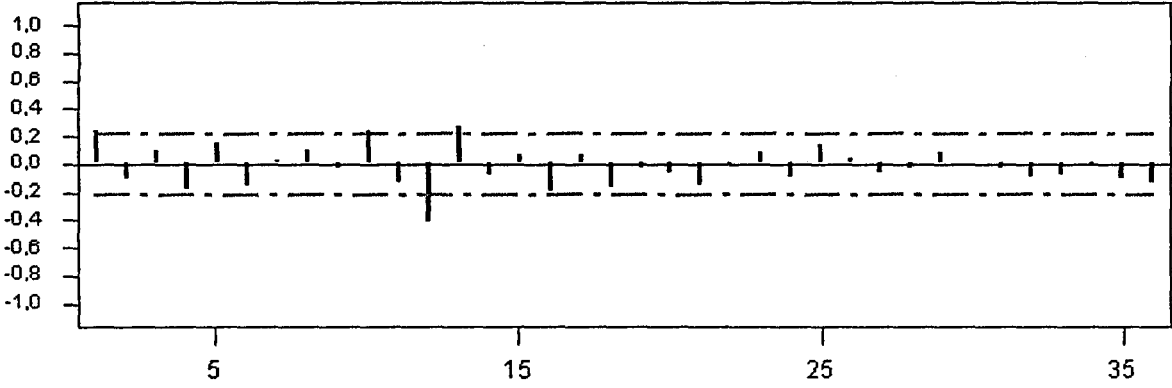
Şekil 34: 12'şerli Farkı Alınmış sPM Serisinin Korelogramı



Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	0,24	2,18	4,93	10	0,18	1,46	12,21	19	-0,03	-0,22	34,97	28	-0,04	-0,26	51,48
2	-0,05	-0,39	5,12	11	0,07	0,53	12,63	20	-0,15	-1,03	37,47	29	0,06	0,37	51,92
3	0,05	0,40	5,31	12	-0,45	-3,60	32,64	21	-0,09	-0,64	38,48	30	-0,00	-0,02	51,93
4	-0,13	-1,11	6,81	13	-0,03	-0,20	32,72	22	-0,22	-1,50	44,20	31	-0,02	-0,12	51,97
5	0,04	0,33	6,94	14	0,05	0,36	32,99	23	-0,06	-0,38	44,59	32	-0,04	-0,27	52,22
6	-0,04	-0,30	7,06	15	-0,04	-0,28	33,15	24	0,23	1,48	50,65	33	-0,07	-0,44	52,90
7	-0,08	-0,69	7,68	16	0,01	0,05	33,15	25	0,03	0,20	50,77	34	0,13	0,79	55,18
8	0,13	1,05	9,17	17	-0,12	-0,80	34,58	26	0,06	0,40	51,24	35	-0,05	-0,31	55,54
9	0,01	0,07	9,17	18	-0,05	-0,35	34,86	27	-0,01	-0,08	51,26	36	-0,18	-1,15	60,64

Şekil 35’de verilen kısmi otokorelasyon fonksiyonu incelendiğinde 1s gecikmesinden sonraki bütün gecikmelerin ($k=13$ hariç) belirlenen güven limitleri içinde kaldığı görülmektedir. Ayrıca grafiğin azalarak sifıra gitme eğiliminde olduğu görülmektedir.

Şekil 35: 12’şerli Farkı Alınmış sPM Serinin Kısmi Korelogramı



Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T	Lag	PAC	T
1	0,24	2,18	10	0,24	2,13	19	-0,03	-0,31	28	-0,03	-0,28
2	-0,11	-1,00	11	-0,13	-1,21	20	-0,07	-0,60	29	0,08	0,71
3	0,09	0,84	12	-0,41	-3,71	21	-0,15	-1,37	30	0,01	0,07
4	-0,19	-1,69	13	0,26	2,38	22	-0,02	-0,21	31	-0,04	-0,37
5	0,15	1,39	14	-0,07	-0,67	23	0,07	0,66	32	-0,10	-0,90
6	-0,15	-1,34	15	0,06	0,55	24	-0,10	-0,89	33	-0,09	-0,79
7	0,03	0,24	16	-0,19	-1,71	25	0,14	1,22	34	-0,01	-0,12
8	0,10	0,87	17	0,06	0,54	26	0,03	0,29	35	-0,12	-1,05
9	-0,04	-0,32	18	-0,17	-1,49	27	-0,06	-0,56	36	-0,14	-1,23

Otokorelasyon fonksiyonunun $k=1$ 'de anlamlı değer alması, azalarak sifıra gitme eğilimi göstermesi, $k=12$ 'de eksenini kesmesi, kısmi otokorelasyon fonksiyonunun otokorelasyon fonksiyonuna benzzerlik göstermesi 1s gecikmesinden sonra $k=13$ 'de anlamlı değer alması sonucunda geçici uygun model $ARIMA(0,0,1)(1,1,0)_{12}$ olarak belirlenmiştir.

1.5.2.2. Belirlenen Geçici Modelin Nihai Parametrelerinin Tahminlenmesi

$ARIMA(0,0,1)(1,1,0)_{12}$ modeline dayanarak türetilen φ_{12} ve θ_1 parametreleri Tablo 31’de verilmiştir.

Tablo 31: $ARIMA(0,0,1)(1,1,0)_{12}$ Modeli Parametreleri

	Katsayı	S.H. Katsayısı	t Değeri
MA 1	-0,6117	0,0896	-6,83
SAR 12	-0,6669	0,0883	-7,55

1.5.3.3. Geçici Modelin Uygunluk Testi

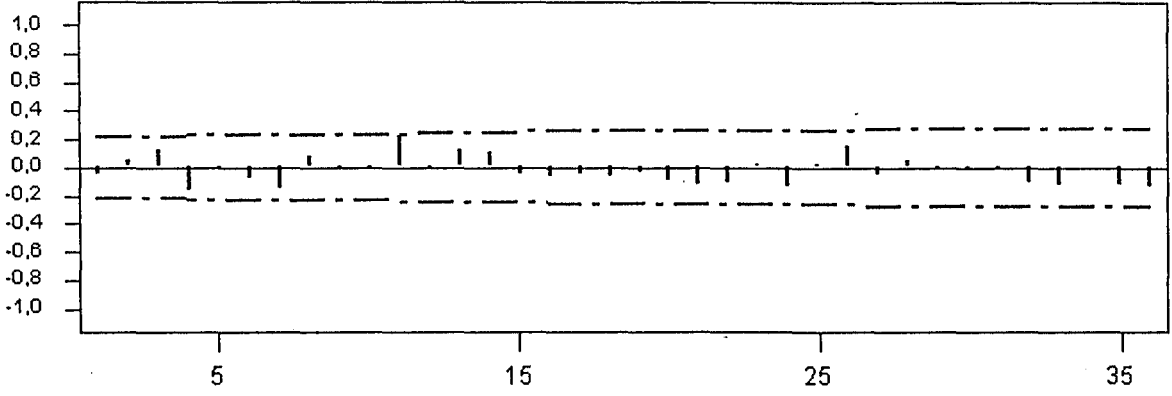
Geçici $(0,0,1)(1,1,0)_{12}$ modelinin sPM miktarı zaman serinin öngörüsüne uygun olup olmadığına karar vermek için önce φ_{12} ve θ_1 parametrelerinin anlamlılığı test edilir. Yapılan bu testte H_0 hipotezi; model parametreleri sıfıra eşit, H_1 hipotezi ise; model parametreleri sıfırdan farklı, olarak belirlenmiştir. Hesaplanan t istatistiğinin değerleri $t_1=-7,55$, $t_2=-6,83$ olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler $\alpha=0,05$ için $\pm 1,96$ tablo değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilip, H_1 hipotezi kabul edilmiştir. Yani her iki parametre de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Ayrıca geçici ARIMA $(0,0,1)(1,1,0)_{12}$ modelinin uygunluğunun araştırılması için Q istatistiğinden de yararlanır. Bu testte ise H_0 hipotezi; hatalar arasında ilişki vardır, H_1 hipotezi ise hatalar arasında ilişki yoktur, olarak belirlenmiştir. Tablo 32'de verilen Q değerleri, verilen serbestlik derecelerinde χ^2 tablo değerinden küçük olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir. Yani hatalar rassal olarak dağılmıştır. Artık model öngörü amacıyla kullanılabilir.

Tablo 32: ARIMA $(0,0,1)(1,1,0)_{12}$ Modelinin Q Parametreleri

Gecikme	12	24	36	48
Q Değerleri	12,2	23,1	35,5	48,5
Serbestlik Derecesi	9	21	33	45

Ayrıca Şekil 36'da verilen tahmin hatalarının otokorelasyon fonksiyonu, bütün gecikmelerin $\pm z_{\alpha/2}/\sqrt{n} = \pm 2/\sqrt{81} \cong \pm 0,22$ limitleri içinde kaldığını göstermektedir. Bu da bize ARIMA $(1,0,0)(1,1,1)_{12}$ modelinin uygun olduğunu kanıtlamaktadır.

Şekil 36: ARIMA (0,0,1)(1,1,0)₁₂ Modeline Ait Öngörü Hatalarının Korelogramı

Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ	Lag	Corr	T	LBQ
1	-0,05	-0,45	0,21	10	-0,02	-0,13	7,30	19	-0,04	-0,31	16,60	28	0,05	0,36	26,71
2	0,05	0,47	0,44	11	0,22	1,86	12,08	20	-0,10	-0,76	17,67	29	-0,01	-0,07	26,73
3	0,13	1,17	1,90	12	-0,03	-0,22	12,16	21	-0,12	-0,96	19,41	30	-0,01	-0,06	26,73
4	-0,16	-1,42	4,16	13	0,12	0,99	13,67	22	-0,11	-0,81	20,70	31	-0,00	-0,03	26,74
5	-0,01	-0,05	4,16	14	0,11	0,87	14,89	23	0,03	0,19	20,77	32	-0,10	-0,76	28,24
6	-0,08	-0,72	4,79	15	-0,05	-0,36	15,11	24	-0,14	-1,06	23,10	33	-0,13	-0,92	30,48
7	-0,15	-1,25	6,72	16	-0,07	-0,54	15,60	25	0,03	0,21	23,19	34	0,01	0,05	30,49
8	0,08	0,64	7,26	17	-0,06	-0,44	15,93	26	0,15	1,14	26,07	35	-0,13	-0,90	32,80
9	-0,01	-0,12	7,27	18	-0,07	-0,53	16,43	27	-0,05	-0,38	26,40	36	-0,13	-0,95	35,49

1.5.3.4. Uygun Modelin Öngörü Amacıyla Kullanılması

Uygunluğuna karar verilen ARIMA(0,0,1)(1,1,0)₁₂ modeli kullanılarak elde edilen 12 aylık öngörü değerleri Tablo 33'de verilmiştir.

Tablo 33: ARIMA(0,0,1)(1,1,0)₁₂ Modeli Kullanılarak Elde Edilen Öngörü Değerleri

Aylar	Öngörü Değerleri	Gerçek Değerler	Öngörü Hataları
Tem.03	19	22	3
Ağu.03	17	20	3
Eyl.03	24	22	2
Eki.03	41	36	5
Kas.03	50	85	35
Ara.03	50	56	6
Oca.04	48	50	2
Şub.04	40	50	10
Mar.04	36	36	0
Nis.04	24	28	2
May.04	19	18	1
Haz.04	19		

1.5.3.5. sPM Öngörü Değerlerinin Değerlendirilmesi

Tablo 33'de verilen öngörü değerlerinin hataları çok küçük çıkmıştır. Uygulanan model iyi sonuçlar vermiş ve öngörü değerleriyle gerçek değerler birbirine çok yakın çıkmıştır.

SONUÇ

ARIMA modelleri bir zaman serisinin yapısını belirlediği, gözlem değerleri arasındaki bağımlılığı en etkin bir şekilde kullandığı ve model belirleme aşamalarında istatistiksel testlere yer verdiği için diğer yöntemlere göre daha güvenilir bir yöntemdir.

Bu çalışma kapsamında SO₂ ve PM zaman serilerine toplam altı model uygulanmıştır. Uygulanan modellerden sadece bütün olarak incelenen SO₂ zaman serisi için uygun model bulunamamıştır. Bu serinin kartezyen grafiğine bakıldığında serinin kartezyen grafik üzerindeki dağılımının heterojen olduğu gözükmemektedir. Bu da uygun model bulunamamasını desteklemektedir.

Doğalgaza geçmeden önceki dönem ve doğalgaza geçtikten sonraki dönem olarak ayrı ayrı incelenen serilerde elde edilen öngörü değerleri gerçeği yansıtmaktadır. Özellikle doğalgaza geçmeden önceki dönem için elde edilen öngörü değerleri, gerçek değerlerle karşılaştırıldığında tahmin hatalarının çok düşük olduğu görülmektedir. Bu da bize elde edilen sonuçların güvenilirliğini kanıtlamaktadır.

Sonuç olarak yapılan çalışma göstermektedir ki; Eskişehir ilinde 1995 yılından itibaren evsel ısınma için kullanılan doğalgaz hava kirlilik değerlerini olumlu yönde etkilemiştir. 1995 yılından önceki yıllarda özellikle kış aylarında hava kirlilik değerleri Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde belirtilen sınır değerlerini aşmaktaydı. Doğalgaz kullanımındaki artış hava kirliliğinde azalmaya sebep olmuştur. Botaş verilerine göre %60'a ulaşan doğalgaz kullanımı tüm şehre yayıldığında hava kirliliği Eskişehir ili için sorun olmaktan çıkacağı görülmektedir.

Doğalgaza kullanımı hava kirliliği üzerinde olumlu etkiler yapmaktadır. Fakat bunun yanında şehirlerin kuruluş yerlerinin, sanayi bölgelerinin kuruluş yerlerinin, o bölgedeki hakim rüzgarların, kullanılan kömürün kalitesinin de çok önemi vardır. Doğalgaz kullanımı büyük yatırım maliyeti gerektirdiği için kısa ve orta vadede alınabilecek önlemlerin alınması gerekmektedir.

Doğalgazın kullanım kolaylığı, diğer yakıtlara göre daha hesaplı olması ve en önemlisi ekolojik çevreye daha az zararlı olması nedeniyle, kullanımının yaygınlaştırılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Arıcı, Hüsnü; **İstatistik, Yöntem ve Uygulamalar**, Meteksan A.Ş., Ankara, 1991
- A. Stern, R. Boubel, D. Turner, D. Fox; **Fundamentals Of Air Pollution**, Academic Press, Londra, 1984
- Atlas, Mahmut; **İstatistik 2: Çözümlü Örnekler**, Birlik Ofset Yayıncılık, Eskişehir, 2000
- Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü, **Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği**, 2 Kasım 1986 Gün ve 19269 Sayılı Resmi Gazete, Ankara
- Baumbach, Günter; **Air Quality Control**, Berlin, 1996
- Chatfield, Christopher; **The Analysis of Time Series an Introduction**, Chapman and Hall, Londra, 1980
- Çağımız ve Çevre Kirliliği**, Türk Çevre Vakfı Yayınları, Ankara, 1990
- Çömlekçi, Necla; **İstatistik**, (2. Basım) Kalite Matbaası, Ankara, 1975
- Çömlekçi, Necla; **Temel İstatistik, İlke ve Teknikleri**, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1988
- Doğalgaz, LPG, Petrol ve Enerji Dergisi**, Sayı No: 54, İstanbul, 1998
- Eskişehir Büyükşehir Belediyesi; **Kömür Komisyon Raporu**, Eskişehir, 1995
- Genceli, Osman; **Doğal Gazın Özellikleri, Doğal Gaza Dönüşüm Semineri**, İTÜ Yayınevi, İstanbul, 1989
- George E.P. Box and Gwilym M. Jenkins; **Time Series Analysis Forecasting and Control**, Holden Day Inc., San Francisco, 1970
- Harrison, R. M.; **Understanding Our Environment: An Introduction To Environmental Chemistry And Pollution**, University Of Birmingham, 1998
- İncecik, Selahattin; **Hava Kirliliği**, İTÜ Gümüşsuyu Matbaası, İstanbul, 1994
- J. Buffle, H. Leeuwen; **Environmental Particles, Environmental Analytical And Physical Chemistry Series**, Lewis Publishers, 1992
- Johnson, Lynwood and Montgomery, Douglas; **Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control** John Wiley and Jons Inc., New York, 1974

- Kayım, Halil; **İstatistiksel Ön Tahmin Yöntemleri**, Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yayınları No:11, Ankara, 1985
- Korum, Uğur; **İstatistiğe Giriş**, Savaş Kitap ve Yayınevi, Ankara, 1986
- Küçükçalı, Rüknettin; **Doğal Gaz Tesisatı**, No: 74, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1994
- Küçükçalı, Rüknettin; **Doğal Gaz ve LPG Tesisatı**, No: 172, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998
- Küçükçalı, Rüknettin; **Isısan Çalışmaları**, No:75, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1994
- Kütahya'da Hava Kirliliği ve Çözüm Yolları Konferansı**, Kütahya, 1998
- Müezzinoğlu, Aysen; **Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği**, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir, 2000
- Okutan, Hasancan; **Hava Kirliliğinin Çevre Üzerindeki Etkileri, Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü**, Marmara Araştırma Merkezi, Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü, Gebze-Kocaeli, 1993
- Özmen, Ahmet; **Zaman Serisi Analizinde Box-Jenkins Yöntemi ve Banka Mevduat Tahmininde Uygulama Denemesi**, Anadolu Üniversitesi Yayınları No:207, Eskişehir, 1986
- Seinfeld, J.; **Air Pollution Physical And Chemical Fundamentals**, Mc Graw-Hill, Amerika, 1975
- Selçuk, Mustafa; **Kazanların Doğal Gaza Dönüşümü, Konutların Isıtılmasında Doğal Gaz Semineri**, Ankara, 1988
- Serper, Özer; **Uygulamalı İstatistik II**, (Gözden Geçirilmiş 4. Baskı) Ezgi Kitapevi, Bursa, 2000
- Şen, Orhan; **The effect of Aircraft Engine Exhaust Gases on the Environment**, Bulletin of the Technical University of İstanbul, İstanbul, 1996
- T.C. Çevre Bakanlığı; **Çevre Notları**, Ankara, 1998
- T.C. Çevre Bakanlığı; **Ulusal Çevre Eylem Planı**, Ankara, 1997
- T.C. Çevre Bakanlığı; **Ulusal Çevre Eylem Planı**, Ankara, 1998
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, **1985 Enerji Politikaları**, Ankara, 1984
- TMMOB Makine Mühendisleri Odası; **Doğal Gaz Temel Bilgileri**, Yayın No: 167, Ankara, 1994
- TMMOB Makine Mühendisleri Odası; **Konut Tesisatı İşletmecileri İçin Doğal Gaz El Kitabı**, Yayın No:174, Ankara, 1995

Türkiye'nin Çevre Sorunları 99, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara, 1998

V.A. Mabert and R.C. Radcliffe; **A Forecasting Methodology as Applied to Financial Time Series**, The Accounting Review, 1974

Yılmaz, Tuncay; **Çevre ve İnsan Dergisi**, Sayı 8, Ankara, 1988

Wasney, Fuller; **Introduction To Statistical Time Series**, John-Wiley and Sons Inc., U.S.A., 1976

<http://www.seckinpetrol.com/bpfo61.htm>

[www.koeri.boun.edu.tr/meteoroloji/hkirli1.htm#HAVA %20KIRLILIGI %20KAYNAKLARI %20VE%20NEDENLERI](http://www.koeri.boun.edu.tr/meteoroloji/hkirli1.htm#HAVA%20KIRLILIGI%20KAYNAKLARI%20VE%20NEDENLERI)