Zonguldak Taşkömürü Havzasında Meydana Gelen Degaj Olaylarına Etki Eden Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modellemesi ile Değerlendirilmesi

Nilüfer Kurşunoğlu

DOKTORA TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan 2019

Assessment of Factors Affecting Coal and Gas Outbursts in Zonguldak Hard Coal Basin Using Structural Equation Modeling

Nilüfer Kurşunoğlu

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Mining Engineering

April 2019

Zonguldak Taşkömürü Havzasında Meydana Gelen Degaj Olaylarına Etki Eden Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modellemesi ile Değerlendirilmesi

Nilüfer Kurşunoğlu

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden İşletme Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Önder

Nisan 2019

ONAY

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Nilüfer Kurşunoğlu'nun DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Zonguldak Taşkömürü Havzasında Meydana Gelen Degaj Olaylarına Etki Eden Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modellemesi ile Değerlendirilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman **:** Prof. Dr. Mustafa Önder

İkinci Danışman : -

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Mustafa Önder

Üye : Prof. Dr. Cem Şensöğüt

Üye : Prof. Dr. Mahmut Yavuz

Üye : Doç. Dr. Yaşar Kasap

Üye : Doç. Dr. Arzu Altın Yavuz

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Mustafa Önder danışmanlığında hazırlamış olduğum "Zonguldak Taşkömürü Havzasında Meydana Gelen Degaj Olaylarına Etki Eden Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modellemesi ile Değerlendirilmesi" başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 04/04/2019

Nilüfer Kurşunoğlu

İmza

ÖZET

Degaj (ani kümür ve gaz püskürmesi), kömür bünyesinde belirli bir denge halinde bulunan metan gazının madencilik çalışmaları sonucunda yüksek basınçla arını parçalayarak kömür ve yan kayaç ile birlikte ocak çalışma boşluğunu doldurmasına verilen addır. Bu tür olaylar, kömür madenlerinin güvenliğini tehdit eden en önemli unsurlardandır ve çalışanların yaralanması ya da ölmesi, üretim kayıpları, ekipmanların zarar görmesi gibi problemlere sebep olabilmektedir. Kömür madenlerinde meydana gelen degajlar, kömürün yapısal özelliği ve jeolojik koşullardan kaynaklanan faktörlerden etkilenir. Bu faktörler aynı zamanda birbirlerinden de etkilenmektedir. Her bir faktörün degaja olan etkisi, kömür madeninin bulunduğu koşullara göre değişkenlik gösterebilmektedir. Degajların önceden tahmin edilebilmesi ve gerekli önlemlerin alınması, olaylara etki eden parametrelerin etkin bir şekilde analiz edilmesi ve etkilerinin göreceli değerlendirilmesi ile sağlanabilir.

Tez çalışmasında, 1969-2013 yılları arasında Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda meydana gelen 90 adet degaj olayı incelenmiş ve degaja etki eden faktörler olarak üretim derinliği, damar gaz içeriği, nem içeriği, damar kalınlığı, damar eğimi ve faya uzaklık belirlenmiştir. Ana faktörler üretim derinliği, damar gaz içeriği, nem içeriği olarak, yardımcı faktörler ise damar kalınlığı, damar eğimi, faya uzaklık olarak belirlenmiştir. Birden fazla değişkeni tek bir model ile değerlendirebilmek amacıyla "Yapısal Eşitlik Modellemesi" yöntemi kullanılmış ve yardımcı faktörlerin ana faktörlere etkileri araştırılmıştır. Degajlara etkisi olduğu belirlenen faktörlere "Kümeleme Analizi" uygulanarak riskli damarlar belirlenmiştir. Kömür damarları kümelere ayrılarak risk indeksi yapılmıştır. Üretim derinliği 300-630 m, gaz içeriği 5.76-16.9 m^3/t, nem içeriği % 1.15-4.62, faya uzaklığı 0-45 m aralığında olan kömür damarları birinci derecede riskli olarak belirlenmiştir. Degaja yatkın bölgelerde koruyucu damar kazısı, kontrol sondajları, drenaj, emniyet topuğu veya arına su enjektesi gibi yöntemlerle önlem alınabileceği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Degaj, kömür madeni, Yapısal Eşitlik Modellemesi, Kümeleme Analizi.

SUMMARY

Methane gas, which is in a certain equilibrium within coal, fills the working area with high pressure breaking the face along with coal and side rock due to mining activities. It is defined as “coal and gas outburst”. Such accidents are one of the most important factors threatening the safety in coal mines. Coal and gas outbursts can cause problems such as injury or death of employees, loss of production, damage of equipment. Outbursts are affected by many factors arising from structural properties of coal and geological conditions. These factors also affect each other. The effect of each factor on sudden outbursts may vary depending on the conditions of the coal mine. The prediction of sudden outbursts and taking necessary precautions can be achieved by an effective analysis of the parameters affecting outbursts and a relative evaluation of the effects.

In thesis study, factors affecting 90 sudden outbursts occured in Zonguldak hard coal basin were determined as mining depth, gas content, moisture content, seam thickness, seam inclination and distance from fault. Mining depth, gas content, moisture content were categorized as main factors, seam thickness, seam inclination, distance from fault were categorized as contributor factors. The effects of main factors on outburst events were evaluated with “Structural Equation Modeling” method and the effects of contributor factors on main factors were estimated with a single model. Risky seams were determined applying “Cluster Analysis” to the factors determined to have an effect on outbursts. Risk index were constituted dividing coal seams into clusters. Mining depth in the range of 300-630 m, gas content with a range of 5.76-16.9 m^3/t, moisture content in the range of 1.15-4.62 % and distances from fault in the range of 0-45 m were determined as first degree risky coal seam conditions. In outburst prone regions, some precautions should be taken such as protective seam, control boreholes, safety pillar and water injection to face to eliminate the risk of outburst.

Keywords: Coal and gas outburst, coal mine, Structural Equation Modeling, Clustering Analysis

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın yürütülmesinde, tezin gelişmesinde ve sonuçlanmasında önemli değerlendirmeler ve düzeltmeleri ile tüm katkıları için değerli tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa ÖNDER'e teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme jürisinde yer alan, olumlu yönlendirmeleri ile çalışmalarım sırasında karşılaştığım sorunların aşılmasında sağladıkları katkılarından dolayı değerli hocalarım Prof. Dr. Mahmut YAVUZ ve Doç. Dr. Arzu ALTIN YAVUZ'a teşekkür ederim.

Türkiye Taşkömürü Kurumu'ndaki çalışmalarımı gerçekleştirebilmem için gerekli imkanları sağlayan başta TTK İş Sağlığı, Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanı Ahmet Faik SARIALİOĞLU olmak üzere, TTK Kozlu ve TTK Karadon Müessese Müdürlükleri'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi
SUMMARY vii
TEŞEKKÜR viii
İÇİNDEKİLER ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ xv
1. GİRİŞ VE AMAÇ 1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 4
3. KÖMÜRLEŞME OLAYI VE GAZ OLUŞUMU 17
3.1. Kömürleşme Süreci 17
3.2. Metan Oluşumu 19
4. DEGAJ OLAYI 21
4.1. Degaj Olayının Mekanizması 21
4.2. Degaja Yatkın Damarların Özellikleri 27
4.2.1. Jeolojik yapı 27
4.2.1.1. Üretim derinliği 27
4.2.1.2. Damar kalınlığı 27
4.2.1.3. Damar eğimi 28
4.2.1.4. Tektonizma 28
4.2.2. Kömürün yapısı 29
4.2.2.1. Kömürleşme derecesi 29
4.2.2.2. Kömürün dayanımı 30
4.2.3. Gaz içeriği 30
4.2.4. Gaz basıncı 31
4.2.5. Gerilme koşulları 31
4.2.6. Kömürün sorpsiyon ve desorpsiyon özellikleri 32
5. ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASI 34
5.1. Jeolojik Yapı 41
5.2. Kömürlü Birimler 44

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.2.1. Alacaağzı formasyonu 44
5.2.2. Kozlu formasyonu 44
5.2.3. Karadon formasyonu 45
5.3. Tektonizma 45
5.4. Jeolojik Evrim 45
6. YÖNTEM VE TEORİK BİLGİ 47
6.1. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler 48
6.2. Degaj Olaylarının Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlerle Değerlendirilmesi 48
6.3. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlerin Varsayımları 51
6.4. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlerin Uygulanma Amaçları 51
7. YAPISAL EŞİTLİK MODELLEMESİ 53
7.1. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi 53
7.2. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Temel Özellikleri 54
7.3. Ölçüm modeli ve Yapısal Model 55
7.4. Yol (Path) Analizi 58
7.4.1. Yol (Path) analizinin türleri 60
7.4.2. Yol (Path) analizinde ilişki türleri 65
7.5. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Varsayımları 66
7.5.1. Normallik varsayımı 66
7.5.2. Örneklem büyüklüğü varsayımı 66
7.6. Yapısal Modelin Oluşturulması 67
7.6.1. Modelin belirlenmesi 69
7.6.2. Model tahmini 69
7.6.3. Model uyumunun değerlendirilmesi 71
7.6.4. Modelin modifikasyonu 75
7.7. Yapısal Eşitlik Modellemesinde Kullanılan Paket Programlar 76
7.7.1. AMOS (Analysis of moment structures) 76
7.7.2. LISREL (Linear structural relations) 78
7.8. Yapısal Eşitlik Modellemesinde Tanımlama 78

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

8. KÜMELEME ANALİZİ 80
8.1. Kümeleme Analizinin Tanımı ve Amacı 80
8.2. Kümeleme Analizinin Diğer Çok Değişkenli Yöntemlerle Karşılaştırılması 82
8.3. Kümeleme Analizinde Varsayımlar 83
8.4. Kümeleme Yöntemleri 83
8.4.1. Hiyerarşik kümeleme yöntemleri 84
8.4.2. Hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemleri 86
8.5. Kümeleme Analizinde Uzaklık ve Benzerlik Ölçüleri 87
8.6. Değişkenlerin Standardizasyonu ve Dönüştürülmesi 88
8.7. Kümeleme Analizinin Aşamaları 89
8.8. Küme Sayısının ve Küme Geçerliliğinin Belirlenmesi 90
9. ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASINDA MEYDANA GELEN DEGAJ OLAYLARININ YAPISAL EŞİTLİK MODELLEMESİ YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ 91
9.1. Veri Analizi 91
9.2. Model Belirleme 99
9.3. Model Tahmini 102
9.4. Model Uyumunun Değerlendirilmesi 103
10. KÜMELEME ANALİZİ YÖNTEMİ İLE RİSK ANALİZİ 107
10.1. Hiyerarşik Kümeleme Yöntemi ile Küme Sayısının Belirlenmesi 107
10.2. Küme Yapılarının Test Edilmesi 114
10.3. Küme Yapılarının Değerlendirilmesi 115
11. BULGULAR VE TARTIŞMA 122
11.1. YEM Sonuçlarının Değerlendirilmesi 122
11.1.1. Ana faktörlerin etkisi 122
11.1.2. Yardımcı faktörlerin etkisi 124
11.2. Kümeleme Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 128
12. SONUÇ VE ÖNERİLER 132

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

KAYNAKLAR DİZİNİ..... 138
ÖZGEÇMİŞ 144

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

3.1. Metan gazının oluşumu 20
4.1. Degaj bölgesindeki kazı arını koşulları (a) Normal gerilme ve gaz basıncı (b) Maksimum gerilme ve gaz basıncı (c) Degajın başladığı andaki gerilme ve gaz basıncı ……. 23
4.2. Kömür damarı içinde degaja yatkın bölgeler 28
5.1. Zonguldak Taşkömürü Havzası kömür sahalarının dağılımı 35
5.2. Zonguldak havzası genelleştirilmiş stratigrafi kesiti 43
6.1. Uygulanan yöntemlerin şekilsel gösterimi 50
7.1. Ölçüm modeli 55
7.2. Yapısal model 56
7.3. Yapısal eşitlik modelinin grafiksel gösterimi 57
7.4. Gizil değişkenlerle yol analizi örneği 60
7.5. Dışsal ve içsel değişkenlerin yol şemasında gösterimi.....61
7.6. Gözlenen değişkenlerle yol analizi örneği.....62
7.7. Melez yol analizi örneği 62
7.8. Tek göstergeli dışsal değişken.....63
7.9. Tek göstergeli içsel değişken 63
7.10. Doğrulayıcı faktör analizi modeli 64
7.11. Yapısal regresyon modeli örneği..... 64
7.12. Doğrudan etki……. 65
7.13. Dolaylı etki……. 65
7.14. Yapısal eşitlik modellemesinde süreç akışı 68
7.15. AMOS programı ekran görüntüsü 77
8.1. Kümeleme analizi 80
9.1. Kozlu -425/22929 Çay rekup lağımında degaj sonrası arının görünüşü 94
9.2. Kozlu işletmesi degaj yerlerini gösteren plan.....95
9.3. Karadon işletmesi degaj yerlerini gösteren plan.....95
9.4. Yapısal eşitlik modelinin teorik gösterimi 100

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

9.5. Ölçüm modeli ve yapısal model 101
9.6. Yapısal model hipotezleri 102
9.7. Model tahmini penceresi 103
9.8. Ölçüm modeli sonucu 103
9.9. Yapısal model sonucu 105
10.1. Tüm değişkenlere ait kümeleme analizi 108
10.2. Degaj olaylarına ait dendogram grafiği 109
10.3. Küme 1 ve Küme 2 alt küme grupları 118

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. Degaj olaylarına etki eden faktörler için literatür özeti 13
4.1. Dünyada yaşanan degaj olayları....25
4.2. k_t indeksine göre degaj yatkınlık sınıflandırması 32
4.3. $\Delta P_{0\text{-}60}$ indeksine göre degaja yatkınlık sınıflandırması 33
5.1. TTK Müesseselerine ait rezervler....35
5.2. Karadon/Gelik işletmesi üretim bilgileri. 36
5.3. Karadon/Kilimli işletmesi üretim bilgileri....37
5.4. Kozlu işletmesi üretim bilgileri (Çay V, Domuzcu-Büyük-Kesmeli) 38
5.5. Kozlu işletmesi üretim bilgileri (Çay III-V, Sulu-Acılık)....39
5.6. Amasra işletmesi üretim bilgileri 40
5.7. Armutçuk işletmesi üretim bilgileri 40
5.8. Üzülmez işletmesi üretim bilgileri 41
7.1. Ölçüm modeli ifadeleri....56
7.2. YEM'in grafiksel gösterimine ait açıklamalar 57
7.3. Path diyagramında kullanılan semboller....59
7.4. Model uyum indekslerinin kısıtları 75
8.1. Kümeleme yöntemlerinin genel yapısı 84
9.1 Kozlu İşletmesi'nde meydana gelen degaj olayları....92
9.2. Karadon İşletmesi'nde meydana gelen degaj olayları....93
9.3. Degaj olaylarına ait veriler....96
9.4. Çok değişkenli normallik testi sonucu....99
9.5. Ölçüm modeli sonuçları 104
9.6. Yapısal model sonuçları....105
9.7. Korelasyon sonuçları ……..…….. 106
9.8. Yapısal eşitlik modeli uyum değerleri 106
10.1. Yığışım tablosu.... 111
10.2. Hiyerarşik kümeleme yöntemi sonucunda oluşan küme yapısı 114
10.3. Oluşturulan kümelere ait MANOVA analizi....115
10.4. Değişkenler bazında risk dereceleri....116
10.5. Küme 1-1 ve Küme 1-2 değişken ortalamaları 119

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge **Sayfa**

10.6. Küme 2-1 ve Küme 2-2 değişken ortalamaları.....120
11.1. YEM yöntemine göre ana faktörlerin sonuçları 122
11.2. YEM yöntemine göre yardımcı faktörlerin sonuçları 124
11.3. Dünyada kömür ocaklarında yaşanan degaj olaylarının özellikleri 127
11.4. Kümeler bazında değişken ortalamaları..... 130
11.5. Risk indeksi……..... 131

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
k_t	Gaz desorpsiyon indeksi
K_1	Gaz desorpsiyon indeksi
$\Delta p_{0\text{-}60}$	Gaz desorpsiyon indeksi
$\Delta p_{10\text{-}60}$	Gaz desorpsiyon indeksi
$\Delta p_{express}$	Gaz desorpsiyon indeksi
Δp	Gaz desorpsiyon indeksi
Δh_2	Gaz desorpsiyon indeksi
f	Protodyakonov indeksi

Kısaltmalar	**Açıklama**
DE	Damar eğimi
DK	Damar kalınlığı
FU	Faya uzaklık
Gİ	Gaz içeriği
Nİ	Kömür damarı nem içeriği
TTK	Türkiye Taşkömürü Kurumu
ÜD	Üretim derinliği
Vd.	Ve diğerleri
YEM	Yapısal Eşitlik Modellemesi

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Metan gazı, kömürleşme sürecinin bir yan ürünü olarak oluşur ve oluşan metanın bir kısmı, kömürleşme sürecinin ilk evrelerinde atmosfere kaçar. Damar üzerindeki tabakaların kalınlaşması sonucu metan gazı kömür ve yan kayaçlar içinde depolanır. Kömür damarlarının metan içeriği; gazın basıncı, kömürün cinsi, kömürleşme derecesi ve nem içeriğine bağlı olarak değişir. Metan gazı damar içerisinde hem çatlak ve gözeneklerin iç yüzeylerine tutunmuş olarak, hem de boşluklarda serbest gaz olarak bulunur. Çok gözenekli bir yapıya sahip olan kömürün yüzey alanı 20-200 m^2/gr arasında değişir. Böyle geniş bir alanda çok yüksek hacimde metan gazı adsorbe edilir. Kömür içerisinde metan dışında karbondioksit, azot ve bazı soy gazların da depolanmasına karşılık toplam gazın %90-98'ini metan gazı oluşturur. Bu nedenle kömür üretimi esnasında açığa çıkan gazın tümü metan olarak tanımlanır. Gazlılık damarlara göre değişkenlik gösterir ve bazı damarlar diğerlerine nazaran daha yüksek metan gazı içerirler (Öztürk, 2014).

Ocak havası içerisinde bulunan gazlar, insan sağlığı için zararlı oldukları gibi yangın ve patlama riskini de birlikte taşırlar. Yan tabaka ve kömür içerisinde bulunan metan gazı tabaka ve atmosferik koşulların değişmesi ile ocak havası içerisine dağılır, havalandırma akımı ile bütün ocağı dolaşır veya havalandırması bulunmayan yerlerde birikirler. Biriken gazlar, oksijenin yerini alarak çalışanların boğulmasına veya zehirlenmesi sonucu ölümüne neden olurlar. Yasal düzenlemeler yeraltı ocaklarındaki çalışmalarda bulunması muhtemel gazlar için sınır değerler getirmiştir. Ancak bazı durumlarda damar veya kömür püskürmesi şeklinde gazlar açığa çıkar ve ocakları gaz basar. Bu gibi olaylar degaj (ani kömür ve gaz püskürmesi) olarak adlandırılır. Degaj olayları alınan bütün tedbirlere rağmen meydana gelebilmektedir. (Öztürk, 2014). Maden ocaklarında üretimin derinleşmesi ile birlikte tektonik zonlarda kömürün kimyasal ve fiziksel değişime uğraması sonucu degaj olaylarının meydana gelme olasılığı da artmaktadır. Bu sebeple degaj olaylarına etki eden faktörlerin incelenmesi, güvenli çalışma koşullarının sağlanması bakımından önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı; Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK)'na bağlı Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda meydana gelen degaj olaylarına etki eden faktörlerin "Yapısal

Eşitlik Modellemesi (YEM)" yöntemi ile incelenerek olayların oluşumunda etkili parametreleri belirlemektir. Ayrıca, bu yöntemle elde edilecek etkili faktörlere "Kümeleme Analizi" yöntemi uygulanarak degaj açısından riskli kömür damarlarının belirlenmesi ve risk indekslemesinin yapılması hedeflenmiştir.

Çalışmanın 2. bölümünde konuyla ilgili geçmişte yapılmış çalışmalar incelenerek tez konusunun önemi diğer araştırmacıların yapmış olduğu araştırma sonuçları değerlendirilerek ortaya konmuştur.

Çalışmanın 3. bölümünde kömürün oluşmasında etkili olan kimyasal olayların aşamaları açıklanmıştır. Kömür damarlarının soğurabileceği gaz miktarını etkileyen etmenler açıklanarak metan gazının oluşum ve yayılım süreci hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın 4. bölümünde degaj olaylarının tanımı ve mekanizması hakkında genel bilgiler verilmiş ve degajlara etki eden faktörler açıklanmıştır.

Çalışmanın 5. bölümünde Zonguldak Taşkömürü Havzası hakkında genel bilgilere yer verilmiştir. Havzanın tarihçesi, jeolojik yapısı ve üretim bilgileri ile ilgili açıklamalar yapılmıştır.

Çalışmanın 6. bölümünde çok değişkenli veri analizi hakkında kısa bilgi verilmiştir. Çok değişkenli istatistiksel yöntemler ve degaj olaylarının çok değişkenli istatistiksel yöntemlerle ilişkisi açıklanmıştır. Yöntemlerin karşılaştırmaları, varsayımları ve uygulanma amaçları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın 7. bölümünde YEM yöntemi detaylı bir şekilde tanıtılmıştır. Yöntemin temel özellikleri, yol analizi ve türleri, yol analizinde ilişki türleri, YEM'in varsayımları, uygulama adımları ve YEM'de kullanılan paket programlar hakkında bilgilere yer verilmiştir.

Çalışmanın 8. bölümünde Kümeleme Analizinin tanımı ve amacı açıklanmıştır. Diğer çok değişkenli yöntemler ile Kümeleme Analizinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Kümeleme Analizinin varsayımları, kümeleme yöntemleri, uygulama aşamaları, küme sayısının ve geçerliliğinin belirlenmesi hakkında bilgiler sunulmuştur.

Çalışmanın 9. bölümünde Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda meydana gelen degaj olaylarına etki eden faktörler YEM yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bu amaçla öncelikle literatür araştırması sonucunda etkili faktörler belirlendikten sonra havzada meydana gelen 90 adet degaj olayına veri analizi yapılmıştır. Uygun sonuçların elde edilmesinden sonra etkili olduğu belirlenen faktörler ana ve yardımcı faktörler olarak gruplanmıştır. Çalışmanın ölçüm modeli ve yapısal model oluşturulmuştur. Model uyumu AMOS (Analysis of Moment Structures) paket programı ile değerlendirilmiş ve degaj olayına etki eden faktörler değerlendirilmiştir.

Çalışmanın 10. bölümünde YEM ile belirlenen etkili faktörlere Kümeleme Analizi uygulanarak riskli kömür damarları belirlenmiştir. Hiyerarşik kümeleme yöntemi ile küme sayısı belirlenmiştir. Oluşan küme yapılarının geçerliliğini belirlemek amacıyla MANOVA analizi yapılmıştır. Risk analizi, değişkenlerin küme ortalamalarına göre yapılmıştır.

Çalışmanın 11. bölümünde YEM ve Kümeleme Analizi yöntemlerinin uygulanmasından elde edilen veriler detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Yöntemlere ait sonuçlar literatürde diğer araştırmacıların yapmış olduğu araştırma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Benzerlikler ve farklılıklar ortaya konarak karşılaştırma sonuçları tartışılmıştır. Kümeleme Analizi sonuçlarına göre kömür damarlarına risk indekslemesi yapılmıştır.

Çalışmanın 12. bölümünde tez çalışmasında kullanılan yöntem, çalışmada ulaşılan genel sonuçlar ve değerlendirmeler ortaya konmuştur. Tez kapsamındaki araştırma sonucunda ulaşılan genel sonuçlar maddeler halinde açıklanmıştır. İleride yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Degaj olaylarının değerlendirilmesinde bugüne kadar deneysel, Beyasian Diskriminant Analizi, Regresyon Analizi, Lojistik Regresyon, Yapay Sinir Ağları, Catastrophe Progression, FLAC3D, COMET3 gibi pek çok yöntem uygulanmıştır. Literatürde kullanılan yöntemler, yöntemlerin uygulanmasında kullanılan değişkenler ve bu değişkenlerin degajlara etkileri aşağıda açıklanmıştır.

Ökten (1983), Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda yaptığı tez çalışmasında degaj olaylarını maden ocağından alınan kömür numuneleri ile değerlendirmiştir. Üretim derinliği (m), damar kalınlığı (m) ve eğimi (º), gaz içeriği (m^3/t), darbe dayanım sayısı, gaz desorpsiyon indeksleri (k_t, Δp_{0-60}, Δp_{exp}), kömürleşme derecesi ve kırıntı geliri (l/m) çalışmada değerlendirilen değişkenlerdir. Yapılan testler sonucunda degaja yatkın kömür damarları tespit edilmiştir. Normal kırıntı gelirinin 2.5 l/m olduğu hesaplanmış ve 6 l/m'den fazla olan damarlarda degaj tehlikesinin olduğu elde edilmiştir. Gaz desorpsiyon hızına göre yapılan değerlendirmede damarların degaja eğilimli olduğunu söyleyebilmek için; $k_t>0.75$, $\Delta p_{0-60}>15$ mmHg, $\Delta p_{exp}\leq 0.30$ sınır değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Olayların genellikle 9 m^3/t sınır değerinden daha büyük gaz içeriklerinde meydana geldiği belirlenmiştir. Degaj sonucunda oluşan kömürlerden alınan numunelerin darbe dayanım sayıları 30'dan küçük bulunmuştur. Buna göre çalışmada değerlendirilen numunelerden darbe dayanım sayıları 30'dan küçük olan damarların degaj eğiliminde olduğu belirtilmiştir.

Beamish ve Crosdale (1998), geçmişte yaşanan degaj olaylarını inceleyerek genel bir değerlendirmede bulunmuşlardır. Gaz emisyon oranı, kömür gaz içeriği, kömür gaz bileşimi, madencilik koşulları, jeolojik koşullar, sorpsiyon özellikleri, nem içeriği, basınç dayanımı, kömür rank ve litotipi ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve degajların mekanizması açıklanmıştır. Degajın meydana gelebilmesi için minimum metan içeriğinin 9 m^3/t olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, degajların çoğunlukla yatay fay, ters fay ve normal faylarda oluştuğu, yüksek ranklı kömürlerin düşük nem içeriğine sahip olduğu ve sorpsiyon kapasitesinin nem içeriği arttıkça azaldığı vurgulanmıştır.

Cao vd. (2001), yaptıkları çalışmada maden ocağından aldıkları kömür numunelerini analiz etmişlerdir. Kömür numunelerini; makroskopik yapı, Protodyakonov sertlik katsayısı (f), gaz desorpsiyon indeksi (Δp_{10-60}), gaz içeriği (m^3/t) ve tektonik yapı değişkenleri ile değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda degajların tektonik olarak deformasyona sahip, makroskopik yapısında değişime uğramış bölgelerde çoğunlukla meydana geldiğini belirlemişlerdir. Bu bölgelerdeki kömürlerin düşük dayanımlı, ince taneli ve yüksek gaz emisyonuna sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Analiz edilen numunelerin Δp_{10-60} değerleri degaja eğilimli çıkmıştır. Düşük f değeri degaj eğilimini göstermektedir. Yapılan çalışmada numunelerin f değeri artan mikroyapısal deformasyonla birlikte azalmakta ve degaja eğilim gösterdiği belirlenmiştir. Gaz içeriği arttıkça degaj olasılığının arttığı sonucunu elde etmişlerdir.

Aguado ve Nicieza (2007), gaz basıncı, gaz basıncı değişimi, gaz içeriği ve desorpsiyon hızı gibi çeşitli saha ölçüm endekslerini birleştiren bir degaj değerlendirme modeli oluşturmuşlardır. Ayrıca, olası degaj eğilimi olan bölgeleri değerlendirmek için önerilerde bulunmuşlardır. Çalışmalarında yüksek basınçlı su enjektesi ve koruyucu damar kazısı gibi iki tehlike önleyici tedbirin birlikteliğinin etkisinden bahsetmişlerdir. Gaz basıncını ve değişkenliklerini ölçmek için bir gaz-ölçüm tüpü seti geliştirilmiş olup su enjeksiyonun önleyici bir ölçü olarak etkinliği bu ölçüm tüpleri vasıtasıyla gösterilmiştir. Enjeksiyon, kömür yatağındaki gaz basıncını azalttığından bu yöntemin başlıca amacı, infüzyon edilen bölgede metan emisyonunun engellenmesi için çatlak ve kırıkları doyurmak ve kömür yatağının maruz kaldığı gerilmeleri kısmen gevşetmektir.

Tian-jun vd. (2009), çalışmalarında Doğal Afet Yöntemi (catastrophe progression method) ile degaj riskini tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmada değerlendirilen faktörler; üretim derinliği (m), damar kalınlığı (km), f değeri, gaz içeriği (m^3/t), gaz basıncı (MPa) olarak belirlenmiştir. Maden ocağından alınan ölçümler doğrultusunda degaj tahmin modeli kurulmuş ve her değişken için bir katsayı elde edilmiştir. Elde edilen katsayı değerlerine göre kömür örnekleri “riskli” ve “risksiz” şeklinde iki kategoriye ayrılmış ve gerçek degaj koşullarıyla karşılaştırılmıştır. Uygulanan yöntemin %87.5 başarı sağladığı elde edilmiştir.

Chao vd. (2010) çalışmalarında, Beyasian Diskriminant Analizi yöntemi ile degaj büyüklüğünü tahmin etmişlerdir. Çalışmada metan difüzyonunun ilk hızı, kömür katsayısı, gaz basıncı, ufalanabilirlik derecesi, üretim derinliği değişkenleri kullanılmıştır. Degaj meydana geldiğinde atılan kömür miktarına göre degajlar "olmama durumu, küçük, orta, büyük boyutlu" olarak dört kategoriye ayrılmıştır. Bu dört tip degaj büyüklüğüne göre bir model kurmuşlardır. Kurdukları Beyasian model sonuçları ile gerçekte meydana gelen degaj büyüklüklerini karşılaştırmışlardır. Tahmin sonuçları ile gerçek koşullar arasında tam bir uyum sağlandığını tespit etmişlerdir.

Ruilin ve Lowndes (2010) degaj olaylarını Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks) ve Hata Ağacı Analizi yöntemleriyle tahmin etmişlerdir. Öncelikle Hata Ağacı Analizi yöntemi ile degaj olaylarında etkili parametreleri belirlemişlerdir. Bu parametreler; gaz basıncı (MPa), f değeri, kömür çatlaklık derecesi (K_{cr}), kömür damarı gaz geçirgenliği (λ), kömürün dallanma özelliği (K_{bm}), damar kalınlığında değişiklik (K_{th}), tektonik stres (K_f), ara katmanlarda kayma (K_d) olarak belirlenmiştir. Maden ocağından degaj değişkenlerine ait ölçümler alınmıştır. Alınan ölçüm değerleri ANN yönteminde girdi olarak kullanılmıştır. ANN sonuçlarına göre maden ocağında şiddetli, yüksek, orta, emniyetli olarak dört risk seviyesi belirlenmiştir. Gerçek koşullarla ANN sonuçları karşılaştırılmış ve ANN yönteminin %87 başarı oranı sağladığı elde edilmiştir.

Xue vd. (2011), FLAC3D ve COMET3 yazılımlarıyla degaj simülasyonu yapmışlardır. Kömür damarlarının deformasyonu FLAC3D ile modellenmiştir. Kömürün gaz dinamiği ise (adsorpsiyon, desorpsiyon) COMET3 ile modellenmiştir. Langmuir sabitleri (m^3/t, kPa), tek eksenli basınç dayanımı (MPa), üretim derinliği (m), gözeneklilik (mD) değişkenleri modellemede girdi olarak kullanılmıştır. Gerilmelerin üretim ilerledikçe artış gösterdiği ve degaj olasılığını artırdığı gözlenmiştir. Simülasyon ile gözenek basınç değişimi ve kömür deformasyon değerleri modellenmiş ve kazı yüzeylerinde bu değerlerin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Jianchun vd. (2012), degajları maden ocağına ait geçmiş olaylar ve kömür numunelerine uygulanan deneyler ile değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında gaz içeriği (m^3/t), damar kalınlığı (m), gaz emisyonu (m^3/dk) ve gaz desorpsiyon indeksleri (K_1, Δh_2) faktörlerini değerlendirmişlerdir. Her bir faktör için degaj olayını meydana getiren kritik

değerler belirlemişlerdir. Faktörler için belirlenen kritik değerler sırasıyla; 7.7 m^3/t gaz içeriği, 0.8 m damar kalınlığı, 2 m^3/dk gaz emisyonu, K_1 değeri 0.26 mL/(g $min^{1/2}$) ve Δh_2 değeri 200 Pa olarak belirlemişlerdir. Bu değerlerin belirlenmesinde önceki degaj kazalarının karakteristik özelliklerini dikkate almışlardır.

Yang vd. (2012), FLAC3D yazılımını kullanarak farklı gerilmeler ve farklı ayak ilerlemeleri için degaj simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, gerilmelerin galeri eksenine dik olması durumunda degaj riskinin yüksek olduğunu göstermiştir. 1 m, 2 m, 3 m ve 4 m olarak dört farklı ayak ilerlemesinde modelleme yapılmış ve arının 1.5-2 m ilerisinde degaj riskinin en yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Δh_2 ile degaj olasılığını tahmin etmişlerdir. Δh_2 değeri arttıkça, degaj riski artmaktadır. Hava giriş ve çıkış galerilerinde ve arında Δh_2 değerleri ölçülmüş ve arında daha düşük değerler elde edilmiştir. Hava giriş ve çıkış galerilerinde degaj olasılığının yüksek olduğu belirlenmiştir.

Esen (2013), Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda yaptığı tez çalışmasında degaja etki eden faktörleri kömür numuneleri ile değerlendirmiştir. Üretim derinliği (m), damar kalınlığı (m) ve eğimi (º), gaz içeriği (m^3/t), darbe dayanım sayısı, gaz desorpsiyon indeksi ($\Delta p_{express}$), kömürleşme derecesi ve kaya basıncı (l/m) çalışmada değerlendirilen değişkenlerdir. Yapılan testler sonucunda degaja yatkın kömür damarları tespit edilmiştir. Bu damarların gaz içerikleri 9 m^3/t sınır değerinden yüksektir. Gevrek kömürler darbe etkisi ile daha fazla ufalanmakta ve degaja meyilli kömürlerin ölçülen darbe dayanım değerleri diğerlerine oranla daha düşüktür. Degaj sonucu oluşan kömürlerden alınan numunelerin $\Delta p_{express}$ değerleri 0.43'ten küçüktür. Bu sonuca göre çalışmada değerlendirilen numunelerden $\Delta p_{express}$ değeri 0.43'ten küçük olan damarların degaj eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Normal kırıntı gelirinin 2.5 l/m olduğu hesaplanmış ve 6 l/m'den fazla olan damarlarda degaj tehlikesinin olduğu elde edilmiştir.

Haifeng vd. (2013), yaptıkları çalışmada maden ocağından alınan kömür numuneleri; gaz desorpsiyon indeksi (Δp), f değeri ve gaz basıncı (MPa) deneyleri ile değerlendirmişlerdir. Kömür yapısının yumuşak ve gaz difüzyon hızının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca degajların tektonik olarak faylı ve magmatik sokulumların bulunduğu bölgelerde yoğun olarak meydana geldiğini belirlemişlerdir. Bu bölgelerde kömürün yumuşak yapı gösterdiği, gaz desorpsiyon hızının ve gaz içeriğinin yüksek

olduğu, yüksek sıcaklık ve basınç ortamının oluştuğunu belirtmişlerdir. Artan derinlikle birlikte gaz basıncı ve gaz içeriğinin de artmasıyla degaj olasılığının arttığını tespit etmişlerdir.

Wang vd. (2013), kömür ocağından aldıkları numuneler üzerinde; gaz içeriği (m^3/t), Δp, f değeri, gaz basıncı (MPa) değerlerini incelemişlerdir. Kömür damarları incelenen değerlere göre degaja yatkın özellik göstermektedir. Üretim derinliği, damar kalınlığı ve jeolojik yapıya göre degajları değerlendirmişlerdir. Artan derinlik ve kalınlık ile degaj olayları artış göstermektedir. Degajlar çoğunlukla faylı ve kırıklı yapılarda meydana gelmiştir. Ayrıca koruyucu damar kazısının degaj üzerine etkileri incelenmiştir. Bu sayede kömür damarının gaz içeriğinde azalma sağlanarak güvenli bir çalışma ortamı sağlanabileceği elde edilmiştir.

Nie vd. (2014), degaj simülasyonunu geliştirdikleri alet ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada gaz basıncı (MPa), yatay ve dikey gerilmeler (MPa), nem içeriği (%) ve gözeneklilik (%) faktörleriyle degaj olaylarını değerlendirmişlerdir. Kömür numuneleri 4 MPa basınç altında sıkıştırılarak simülasyon aletinde kullanılmak üzere hazırlanmış ve değişkenlerin degaja etkileri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda; yatay - dikey gerilmelerin ve gaz basıncının arttıkça degaj olasılığının arttığı, gözeneklilik ile nem içeriğindeki artışın ise degaj olasılığını azalttığı elde edilmiştir.

Wang vd. (2014), yaptıkları çalışmada, tektonik yapı, termal etki, üretim derinliği (m), gaz desorpsiyon indeksi (Δp), f değeri, gaz basıncı (MPa) değişkenlerine göre degaj olaylarını değerlendirmişlerdir. Kömür damarları incelenen değerlere göre degaja yatkın özellik göstermektedir. Artan derinlikle birlikte gaz içeriği ve gaz basıncında artış meydana gelir ve degaj riski artış göstermektedir. Degaj olayları çoğunlukla faylı ve kırıklı yapılarda meydana gelmiştir. Çalışma sonucunda, magmatik sokulumun kömür damarları için yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı bir ortam sağladığı, bu durum kömür damarlarının termal evrimini desteklediği, gaz üretimini artırdığı ve kömür metamorfizmasında büyük değişikliklere sebep olduğu belirlenmiştir.

Xue vd. (2014), FLAC3D ve COMET3 yazılımlarıyla degaj simülasyonu yapmışlardır. Kömür damarlarının deformasyonu FLAC3D ile modellenmiştir. Kömürün

gaz dinamiği ise (adsorpsiyon, desorpsiyon) COMET3 ile modellenmiştir. Gaz içeriği (m^3/t), Langmuir sabitleri (m^3/t, kPa), tek eksenli basınç dayanımı (MPa), üretim derinliği (m), gözeneklilik (mD) değişkenleri simülasyonda girdi olarak kullanılmıştır. Bu değişkenler içerisinden gaz içeriği faktörü degaj risk değişkeni olarak belirlenmiş ve diğer faktörlerin degaja etkileri gaz içeriği değişkenine göre değerlendirilmiştir. Buna göre degaj olayı; artan üretim derinliği, yüksek Langmuir basıncı, düşük Langmuir hacmi, düşük gözeneklilik ve düşük basınç dayanımı koşullarında meydana geldiği sonucu elde edilmiştir.

Li vd. (2015), degaj olaylarını Lojistik Regresyon yöntemi ile tahmin etmişlerdir. Gaz emisyon hızı (L/dk), sondaj kesme ağırlığı (kg/m), Δh_2, damar kalınlığı (m), deformasyon sırasında yayılan elektromanyetik sinyal şiddeti (mV) ve elektromanyetik sinyal atımı (Hz) değişkenlerine göre degaj olaylarını incelemişlerdir. Maden ocaklarında kullanılan kritik gaz emisyon hızı değerini 5 L/dk, kritik sondaj kesme ağırlığı değerini 6 kg/m, kritik adsorpsiyon indeksi değerini ise 200 Pa olarak açıklamışlardır. Değişkenlerle kurdukları lojistik regresyon modeli ile gerçek degaj durumunu karşılaştırmışlar ve kurdukları modelin %95.7 doğrulukla sonuç verdiğini belirlemişlerdir.

Yin vd. (2016), degaj simülasyonu için bir cihaz geliştirmişlerdir. Simülasyonda gerilmelerin (MPa), gaz basıncının (MPa) ve nem içeriğinin degaja etkileri değerlendirilmiştir. Maden ocağından alınan numunelere uygulanan testler sonucunda degaj olaylarının genellikle oluşturulan orijinal stres zonu, yoğun stres zonu ve stres rahatlama zonu olarak üç gerilme bölgesinden yoğun stres zonunda meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu bölgede yüksek basınçlar meydana gelmiştir. Gaz basıncının degaj olayına etkisi incelendiğinde 0.5 MPa'ın altında degajın meydana gelmediği, bu değerin üzerindeki basınçlarda degaj olasılığının arttığı gözlenmiştir. %5, %10 ve %15 nem içeriklerinde deneyler yapılmış ve nem içeriği arttıkça degaj riskinin azaldığı belirlenmiştir.

Zhai vd. (2016), geçmişte yaşanan degaj olaylarının özelliklerini inceleyerek genel değerlendirmeler yapmışlardır. Üretim derinliği, tektonik yapı, damar kalınlığındaki değişimler, tavan-taban taşının yapısı ve üretim yöntemi değişkenleri degaj değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Derinlik arttıkça kömürün mekanik özelliklerinde değişim meydana gelmektedir. Kömür içerisinde biriken yüksek gerilmelerin ve yüksek

basınçlı gazın birlikte etki etmesiyle degaj olasılığı derinlikle birlikte artış gösterdiği belirlenmiştir. Degajlar genellikle artan gaz ve zemin basıncı nedeniyle faylı ve kırıklı yapıların civarında meydana gelmiştir. Damar kalınlıklarında ani değişimler degaj olayına sebep olmuştur. Tavan taban taşı şeyl veya silt taşından oluşmaktadır ve bu yapı düşük geçirgenliği nedeniyle yüksek sızdırmazlığa sahiptir. Bu sebeple gazın yayılması zordur ve bu bölgelerde gaz içeriği yüksektir. Bu durumun degajlara neden olabileceği tespit edilmiştir. Farklı üretim yöntemleri farklı gerilmelere sebep olmakta, degajların çoğu patlatma sırasında meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Chaojun vd. (2017), yaptıkları çalışmada degajları üç açıdan değerlendirmişler. Çalışmada kullanılan değişkenler; gaz basıncı (MPa), gözeneklilik (m^2), Young modülü (MPa), Poisson oranı, basınç dayanımı (MPa), dinamik vizkozite (Pa-s), Langmuir sabitleri (m^3/kg, MPa), hacimsel gerilme katsayısı (kg/m^3) ve Klinkenberg faktörü (MPa) olarak belirlenmiştir. MATLAB ve COMSOL Multiphysics yazılımlarını kombine etmişlerdir. İlk olarak kömürün nem içeriği ve gaz içeriği özelliklerini incelemişlerdir. Nem içeriği arttıkça gaz desorpsiyonu, difüzyonu ve sızıntısı azalmakta, bu sebeple degaj olasılığının azaldığını açıklamışlardır. Kömür damarındaki gaz, kömürü dışarı itebilecek büyük miktarda bir iç enerji içerir. Bu sebeple gaz içeriği arttıkça degaj olasılığının arttığını belirtmişlerdir. İkinci aşamada jeolojik koşullar olarak kırıklar, faylar ve kömür damar kalınlıklarındaki değişimleri incelemişlerdir. Fay ve çevresinde degaj ihtimalinin yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Karmaşık tektonik yapılarda tektonik stres genellikle kömürde elastik potansiyel enerjiyi artıracak şekilde yoğunlaşmaktadır. Üçüncü olarak ise madencilik çalışmalarının etkisini incelemişlerdir. Üretimle birlikte artan gerilmeler kömürün basınç dayanımını aşarak plastik deformasyon bölgesi oluştururlar. Bu durumun degaj olayının tetiklenmesine neden olduğunu belirlemişlerdir.

Jiabo vd. (2017), deneysel çalışmada degaja etki eden faktörler arasındaki korelasyonları ANOVA ve Olasılık Tablosu Analizi (CTA) yöntemleri ile incelemişlerdir. Faktörlerin degaj üzerindeki etki büyüklükleri ise Regresyon Analizi yöntemi ile değerlendirilmiştir. Nem içeriği (%), gerilme (MPa), gözeneklilik (%) ve gaz basıncı (MPa) faktörlerinin etkilerini araştırmışlardır. Degaj olayı üzerinde gaz basıncı ve nemin birinci derecede önemli faktörler olduğu, gerilme ve gözenekliliğin ikinci derecede etkisi olduğu sonucuna varmışlardır. Yüksek gerilme koşullarında, kırık ve çatlakların oluşumu

daha hızlıdır. Kırık oluşumu sürecinde kömürün geçirgenlik özelliklerinde değişime sebep olarak gaz yayılımı üzerinde güçlü bir etki yarattığı ve kömür dayanımı ile enerji yoğunluğunda azalma meydana geldiğini açıklamışlardır.

Zhang vd. (2017), geçmişte yaşanan degaj olaylarını inceleyerek genel bir değerlendirmede bulunmuşlardır. Degajlara etki eden faktörleri; tavan-taban koşulları, örtü tabakasının kalınlığı, tektonik yapı, gaz basıncı, ilerleme miktarı, kömür yapısal özellikleri (kimyasal bileşim, tane boyutu, damar kalınlığı) olarak belirlemişlerdir. Sert tavan-taban yapısı, zayıf yapıya göre degaja daha meyillidir. Sert yapının kömür damarı içinde yüksek stres birikimine ve aşırı gerilme enerjisine sebep olduğunu, bu durumun da degajı tetiklediğini elde etmişlerdir. Örtü tabakasındaki artışın yüksek dikey gerilmelere sebep olduğunu ve degaj olasılığını artırdığını belirtmişlerdir. Degajlar çoğunlukla tektonik olarak arızalı yapıların yakınında meydana gelmektedir. Bu bölgelerde oluşan yüksek seviyedeki yatay gerilmelerin, tektonik ve termal gerilmelerin varlığından kaynaklandığını açıklamışlardır. Kömür damarlarının gözenek ve çatlaklarında bulunan enerji, depolanan deformasyon enerjisinden daha fazla olabilir. İlerleyen madencilik faaliyetleri sonucunda enerji dengesinde değişikler meydana gelerek degaja sebep olabileceği elde edilmiştir. Günlük ilerlemelerdeki değişiklerin gerilmelerde kısa zaman içinde hızlı bir artışa sebep olabileceği ve bunun da degaja neden olabileceği belirtilmiştir. Kömürün yapısal özellikleri degajın şiddeti ve büyüklüğü üzerinde etkili olduğu açıklanmıştır.

Chen vd. (2018), geçmiş degaj olaylarını regresyon analizi ile değerlendirmişlerdir. Degajları üretim derinliği (m), damar kalınlığı (m) ve eğimi (º), faylar ve üretim yöntemi değişkenleri açısından incelemişlerdir. 100-500 m aralığındaki üretim derinliklerinde, 3-6 m aralığındaki damar kalınlıklarında, 8-45º aralığındaki damar eğimlerinde çoğunlukla degajın meydana geldiğini belirtmişlerdir. Degajın artan derinlikle azalmasının nedenini söz konusu bölgelerde üretime henüz geçilmesi olarak açıklamışlardır. Tektonik bir yapı, gaz birikimine sebep olan yüksek gaz basıncı oluşturur. Bu durum kömürde homojen olmayan bir gaz dağılımına ve elastik potansiyelde artışa neden olur. Bu sebeple degaj olaylarının genellikle faylı bölgelerde meydana geldiğini açıklamışlardır. Düşük damar kalınlığı ve eğimlerde düşük gaz içeriği ve basıncı olması sebebiyle daha az degaj meydana gelmiştir. Yapılan çalışmada degaj olaylarının % 78.6'sının fay ve civarında oluştuğu ve % 68.25'inin patlatma sonrası oluştuğu tespit edilmiştir.

Wang vd. (2018 a), geliştirdikleri deney cihazı ile degaj simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Maden ocağından aldıkları kömür numunelerinin briketleme basıncı (MPa), yerinde gerilme (MPa), briket kömür kalınlığı (mm), gaz basıncı (MPa), ortam sıcaklığı (°C) değerleri belirlenerek simülasyonda kullanılmıştır. Deney sonucunda serbest kalan gazın ilk yayılım enerjisi (initial expansion energy of releasing gas (mJ/g)) değeri elde edilerek degaj olayının şiddeti bu değere göre tahmin edilmiştir. Bu yayılım enerjisi değeri 103.8 mJ/g'den yüksek ise yüksek degaj riski bulunduğunu elde etmişlerdir. Ortam sıcaklığının degaja etki eden faktörler içerisinde en düşük etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Literatür araştırması ile degaj olaylarının değerlendirilmesinde kullanılan birçok yöntem ve bu yöntemlerin uygulanmasında kullanılan değişkenler incelenmiştir. Yapılan araştırmalarda kullanılan değişkenlerin degaj olaylarına etkileri detaylarıyla ele alınmıştır. Degaja etki eden faktörlerin tek bir model üzerinde YEM yöntemi ile incelenmesi ilk kez bu tez çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Literatür araştırmasına ait özet bilgiler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Degaj olaylarına etki eden faktörler için literatür özeti

Degajı Etkileyen Faktörler	Değerlendirme Yöntemi	Kaynak
Gaz basıncı Gaz basınç değişimi	Deneysel analiz	Aguado ve Nicieza (2007)
Gaz emisyon oranı Kömür gaz içeriği Kömür gaz bileşimi Üretim koşulları Jeolojik koşullar Sorpsiyon özellikleri Nem içeriği, basınç dayanımı Kömür rank ve litotipi	Genel analiz	Beamish ve Crosdale (1998)
Gaz içeriği Gaz basıncı Gözeneklilik Sorpsiyon/desorpsiyon özellikleri Gerilme koşulları Kömür basınç dayanımı Jeolojik koşullar	Deneysel analiz	Cao vd. (2001)
Metan difüzyonunun ilk hızı Kömür katsayısı, gaz basıncı Ufalanabilirlik derecesi Üretim derinliği	Beyasian Diskriminant Analizi	Chao vd. (2010)
Gaz basıncı, Gözeneklilik Young modülü Poisson oranı Basınç dayanımı Dinamik vizkozite Langmuir sabitleri Hacimsel gerilme katsayısı Klinkenberg faktörü	Sayısal simülasyon	Chaojun vd. (2017)
Üretim derinliği Damar kalınlığı Damar eğimi Jeolojik koşullar Üretim yöntemi	Regresyon Analizi	Chen vd. (2018)
Üretim derinliği Damar kalınlığı Damar eğimi Gaz içeriği Darbe dayanım sayısı Gaz desorpsiyon hızı Kömürleşme derecesi Kaya basıncı	Deneysel analiz	Esen (2013)

Çizelge 2.1. Degaj olaylarına etki eden faktörler için literatür özeti (devam)

Degaj Faktörleri	Değerlendirme Yöntemi	Referans
Gaz desorpsiyon indeksi Kömür sertlik katsayısı Gaz basıncı Jeolojik koşullar Üretim derinliği	Deneysel analiz, Geçmiş kaza analizi	Haifeng vd. (2013)
Nem içeriği Gerilme Gözeneklilik Gaz basıncı	ANOVA, CTA, Regresyon Analizi	Jiabo vd. (2017)
Gaz içeriği Damar kalınlığı Gaz emisyonu Gaz desorpsiyon indeksleri	Deneysel analiz, Geçmiş kaza özellikleri	Jianchun vd. (2012)
Gaz içeriği Gaz basıncı Gözeneklilik Sorpsiyon/desorpsiyon özellikleri Gerilme koşulları Kömür basınç dayanımı Jeolojik koşullar	Genel değerlendirme	Lama ve Bondziony (1998)
Gaz emisyon hızı Sondaj kesme ağırlığı Gaz desorpsiyon indeksi Damar kalınlığı Elektromanyetik sinyal şiddeti Elektromanyetik sinyal atımı	Lojistik Regresyon	Li vd. (2015)
Gaz basıncı Yatay ve dikey gerilmeler Nem içeriği Gözeneklilik	Deneysel analiz	Nie vd. (2014)
Üretim derinliği Damar kalınlığı Damar eğimi Gaz içeriği Darbe dayanım sayısı Gaz desorpsiyon indeksi Kömürleşme derecesi Kaya basıncı	Deneysel analiz	Ökten (1983)

Çizelge 2.1. Degaj olaylarına etki eden faktörler için literatür özeti (devam)

Degaj Faktörleri	Değerlendirme Yöntemi	Referans
Gaz basıncı Kömür sertlik katsayısı Kömür çatlaklık derecesi Kömür damarı gaz geçirgenliği Kömürün dallanma özelliği Damar kalınlığında değişiklik Tektonik stres Ara katmanlarda kayma	Hata Ağacı Analizi, Yapay Sinir Ağları	Ruilin ve Lowndes (2010)
Üretim derinliği Damar kalınlığı Protodyakonov indeksi Gaz içeriği Gaz basıncı	Doğal Afet Yöntemi	Tian-jun vd. (2009)
Gaz içeriği Gaz desorpsiyon indeksi Protodyakonov indeksi Gaz basıncı	Deneysel analiz	Wang vd. (2013)
Tektonik yapı Termal etki Üretim derinliği Gaz desorpsiyon indeksi Kömür sertlik katsayısı Gaz basıncı	Deneysel analiz	Wang vd. (2014)
Briketleme basıncı Yerinde gerilme Briket kömür kalınlığı Gaz basıncı Ortam sıcaklığı	Deneysel analiz	Wang vd. (2018 a)
Langmuir sabitleri Tek eksenli basınç dayanımı Üretim derinliği Gözeneklilik	FLAC3D, COMET3	Xue vd. (2011)
Gaz içeriği Langmuir sabitleri Tek eksenli basınç dayanımı Üretim derinliği Gözeneklilik	FLAC3D, COMET3	Xue vd. (2014)
Gaz desorpsiyon indeksi Uzun ayak ilerleme miktarı Gerilme koşulları	FLAC3D	Yang vd. (2012)
Gerilme koşulları Gaz basıncı Nem içeriği	Deneysel analiz	Yin vd. (2016)

Çizelge 2.1. Degaj olaylarına etki eden faktörler için literatür özeti (devam)

Degaj Faktörleri	Değerlendirme Yöntemi	Referans
Üretim derinliği Tektonik yapı Damar kalınlığındaki değişimler Tavan-taban taşının yapısı Üretim yöntemi	Geçmiş kaza analizi	Zhai vd. (2016)
Tavan-taban koşulları Örtü tabakasının kalınlığı Tektonik yapı Gaz basıncı İlerleme miktarı Kömür yapısal özellikleri (kimyasal bileşim, tane boyutu, damar kalınlığı)	Geçmiş kaza analizi	Zhang vd. (2017)

3. KÖMÜRLEŞME OLAYI VE GAZ OLUŞUMU

3.1. Kömürleşme Süreci

Bitkisel malzemelerin ve çeşitli hayvan kalıntılarının bataklıklarda birikmesi ve örtü tabakalarının üzerlerini kaplaması sonucunda, artan basıncın ve sıcaklığın etkisi ile kömürleşme süreci gerçekleşir. Metan gazı, bu sürecin bir ürünü olarak meydana gelmektedir. Kömürün gözeneklerinde, serbest halde ve gözenek yüzeylerine tutunmuş olarak bulunan metanın miktarı; kömürleşme derecesi, sıcaklık, gaz basıncı, nem içeriği ve petrografik içerik gibi faktörlere bağlıdır. Yapılan araştırmalar sonucunda, kömürleşme derecesi ve gaz basıncının artmasının soğurulan metan miktarını artırıcı yönde etki ettiği, buna karşılık ise; sıcaklık, nem ve kül içeriğinin artmasının kömürün metan soğurma kapasitesini azalttığını ortaya koymaktadır.

Doğal koşullardaki metan, basınç altında duraylı bir dengededir. Ancak; yeraltı hazırlık ve üretim çalışmaları sonucunda doğal gerilmeler sisteminin bozulması, metan gazının, bulunduğu bölgedeki basınç değerinden daha düşük değerdeki basınç bölgelerine göçüne neden olmaktadır. Kömür; bitki ve hayvan organizmalarının, karmaşık kimyasal reaksiyonlarının birbiri ardına geliştiği bir çevre ortamında kömürleşme işlemine maruz kalmaları sonucu oluşmuş organik kökenli bir kayaçtır. Mikroskobik incelemeler kömür maddesinin sıkışmış ve değişikliğe uğramış ağaç parçaları artıkları olduğunu göstermektedir. Kömürleşme olayında bitki artıkları, yüksek ısı ve basınç altında bakteriyel faaliyetlerin de bir sonucu olarak önce turbaya ve daha sonra da linyit ve taş kömürü evrelerinden geçerek antrasit ve grafite dönüşmektedir. Kömürün meydana gelmesinde etkili olan kimyasal olayların üç aşamada geliştiği ve bu aşamalarda çeşitli gazların açığa çıktığı bilinmektedir. Oksitleyici koşullarda bataklıklar içinde oluşan ilk aşama, bir çözülme işlemidir. Çözülme devam ederken mantar ve mikro organizmaların faaliyetleri sonucu açığa çıkan karbondioksit ve azot gibi gazların miktarlarında zamanla gelişen artışlar olur. Tortu tabakasının çökeldiği ve indirgeyici koşullarda çözülmenin su altında devam ettiği ikinci aşamada ise karbondioksit, yüksek hidrokarbonlar ile az miktarda diğer çeşitteki gazlar serbest hale gelirler. Gazların bir kısmı sulu çözeltilere geçerken, diğer bir kısmı da bir dereceye kadar kömür maddesi tarafından soğurulur. Son aşamada ise,

depolanan kömür tortusunu örten örtü tabakasının kalınlığı artar ve gittikçe yükselen basınç ve sıcaklık nedeniyle kömürün başkalaşımı başlar. Karbondioksit ve metan gazları bu aşamada açığa çıkmaktadır. 'Metan fermantasyonu' olarak da adlandırılan kömürleşme reaksiyonu şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$4C_6H_{10}O_5 \xrightarrow{\text{BAKTERİ+BASINÇ+ISI}} 7CH_4 + 8CO_2 + 3H_2O + C_9H_6O$$

Kömürleşme sürecinin değişik basamaklarında; turbalar, bataklıklar ve ince veya kalın örtü tabakalı ortamlar gibi oluşum ortamlarına bağlı olarak açığa çıkan gazlar, önceleri çoğunlukla atmosfere karışmakta, sonraları ise kömür içerisinde depolanmaktadır. Örtü tabakalarının artan kalınlığı ve azalan geçirgenliğine bağlı olarak gazların kaçışı güçleşir ve oluşan gazın çoğu yatakta kalır. Kömür içerisinde metan dışında; karbondioksit, etan, propan, bütan vb. ağır hidrokarbonlarla birlikte bir miktar azot, karbonmonoksit, kükürtlü hidrojen ve bazen de hidrojene rastlanmasına karşın, toplam miktarın %90-98'ini metan oluşturmaktadır (Çakır, 1994). Kömür ocaklarında metan miktarını etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir (Yalçın, 2012):

1. Damar Yapısı: Kalınlığı yüksek, geçirgenliği düşük ve uçucu madde içeriği fazla olan damarlar daha fazla metan içeriğine sahiptirler. Kömürün yaşı ve yoğunluğu da önemli bir etkendir. Yaşı fazla olan kömürlerde daha fazla, genç olanlarda ise daha az metana rastlanır.
2. Derinlik: Çatlaklardan yerüstüne çıkarak atmosfere kaçabileceği için, sığ derinliklerde metan içeriği azdır. Derinlik artışı ile birlikte kömürün geçirgenliği azalır ve fazla miktarda metan, kömür bünyesinde tutulur.
3. Tektonik Olaylar: Faylar ve özellikle ters faylar, metanın fazla miktarda biriktiği yerlerdir.
4. Ocağın Eskiliği: Henüz işletmeye başlanmamış bakir maden ocaklarında metan yüksek oranda bulunur. Eski maden ocaklarında ise, metan çatlaklardan ve gözeneklerden kaçarak azalmıştır.

3.2. Metan Oluşumu

Karbonifer dönemi kayaçlarının yaygın olduğu bir yapıda genellikle metan gazının depolanma ihtimali yüksektir. Karbon içeriğinin artmasıyla bu ihtimalin artması, kömür ocaklarını metan gazının oluştuğu en büyük kaynak haline getirmiştir. Metan gazı oluşumunda biyojenik ve termojenik olmak üzere iki sistem etkilidir. Kömürleşme sürecinin ilk evrelerinde, bitkisel kaynaklı atıkların belirli sıcaklık ve basınç altında mikrobiyolojik ayrışması ile biyojenik metan meydana gelir. Kömürleşme sürecinin bu aşamasında; metanın fosil biyojenik olarak birikimleri, metanın yerleşebileceği bir rezervuar ya da kütlenin olmayışı ve de oluşan gazın azlığı sebebiyle az görülür. Derinlik artışı ile birlikte sıcaklığın artışı, kömürleşme derecesini artmasına sebep olduğu gibi termojenik metan oluşumuna da neden olur. Artan derinlik kömürleşmeyi artıracağı için metan miktarı da artar. Kömür ile birlikte bünyesindeki metan gazı, belli bir basınç altında denge halindedir. Bu basınç, kömürün rankı (derecesi), üretim derinliği ve kömürün yapısına bağlıdır. Metan gazının, kömür bünyesinde denge durumunda bulunduğu basınç bozulmadığı sürece, metanın açığa çıkması söz konusu değildir (Karakurt vd., 2009).

Bitki kalıntılarının durgun bir ortam havasında kömürleşmeye başlaması, yani selülozun parçalanması neticesinde, bol miktarda metan gazı ve kabondioksit meydana gelir. Kömür ile yan taş içinde saklı kalır. Selülozun parçalanmasının;

$$2C_6H_{10}O_5 \longrightarrow 5CH_4 + 5CO_2 + 2C \text{ veya}$$
$$4C_6H_{10}O_5 \longrightarrow 7CH_4 + 8CO_2 + 3H_2O + C_9H_6O$$

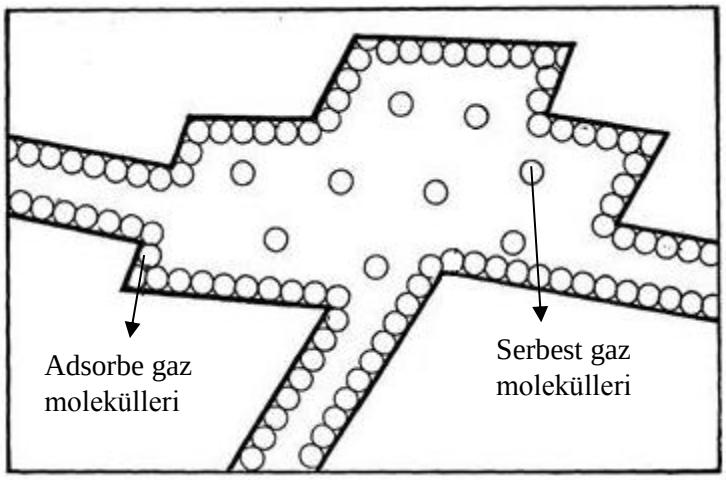
eşitlikleri uyarınca olduğu kabul edilir. Bu ayrışmaya bakteriler ve mantarlar neden olur ve bu sırada ısı ve basıncın da önemli bir etkisi vardır. Metan, kömüre ilave olarak potas, kaya tuzu, demir ve kükürt madenlerinde de görülebilir (Yalçın, 2012).

1 g kömür bünyesindeki toplam yüzey alanı 20-200 m^2 (genelde 90 m^2) büyüklüğünde olup, bu alanın yaklaşık %95'ini mikro gözenekler oluşturmaktadır. Kömür için gözenek hacminin 0.01 ile 0.11 m^3/ton arasında değiştiği hesaplanmıştır. Herhangi bir gaz, havası alınmış gözenekli bir katı ortamla temas ettiğinde, gazın bir kısmının katı ortam tarafından tutularak depolanması olayı 'soğurma' (sorpsiyon) olarak

adlandırılmaktadır. Soğurma kendi içerisinde iki ayrı grupta incelenmektedir. ‘İçe tutunma’ (absorpsiyon) durumunda gaz, katının moleküler yapısı içerisinde düzgün bir dağılım gerçekleştirmektedir. ‘Yüzeye tutunma’ (adsorpsiyon) durumunda ise gaz, katı ortam yüzeyinde yoğun bir konsantrasyon oluşturmakta olup, bu oluşum kendi içinde fiziksel ve kimyasal olarak ikiye ayrılmaktadır. Kömür damarları içinde birikmiş olan metan;

a. Serbest gaz şeklinde kırıklarda, çatlaklarda ve gözenekler içinde,
b. Yüzeye tutunmuş halde kırıklarda, çatlaklarda ve gözenekler içinde,
c. Kömür içerisinde çözünmüş halde

bulunmakta olup, metan yayılımı açısından serbest ve yüzeye tutunmuş durumda bulunan gaz molekülleri önem taşımaktadır. Kömür içindeki serbest durumdaki metan gazının toplam gaz miktarı içindeki oranı %5-10 olarak verilmektedir. Metan molekülleri, kömür gözeneklerin ve mikro çatlakların yüzeyinde tek bir sıra molekül dizisi olarak tutunmakta olup, 0.4 mm çapındadırlar. Serbest gaz molekülleri ile tutunan gaz molekülleri arasında, aynı gaz basıncında ve denge durumunda sürekli bir yer değiştirme söz konusudur. Şekil 3.1, kömür gözeneklerinde tutunmuş ve serbest durumda bulunan gaz moleküllerini simgesel olarak göstermektedir (Çakır, 1994).



Şekil 3.1. Kömür gözeneklerinde gaz molekülleri (Çakır’dan, 1994)

4. DEGAJ OLAYI

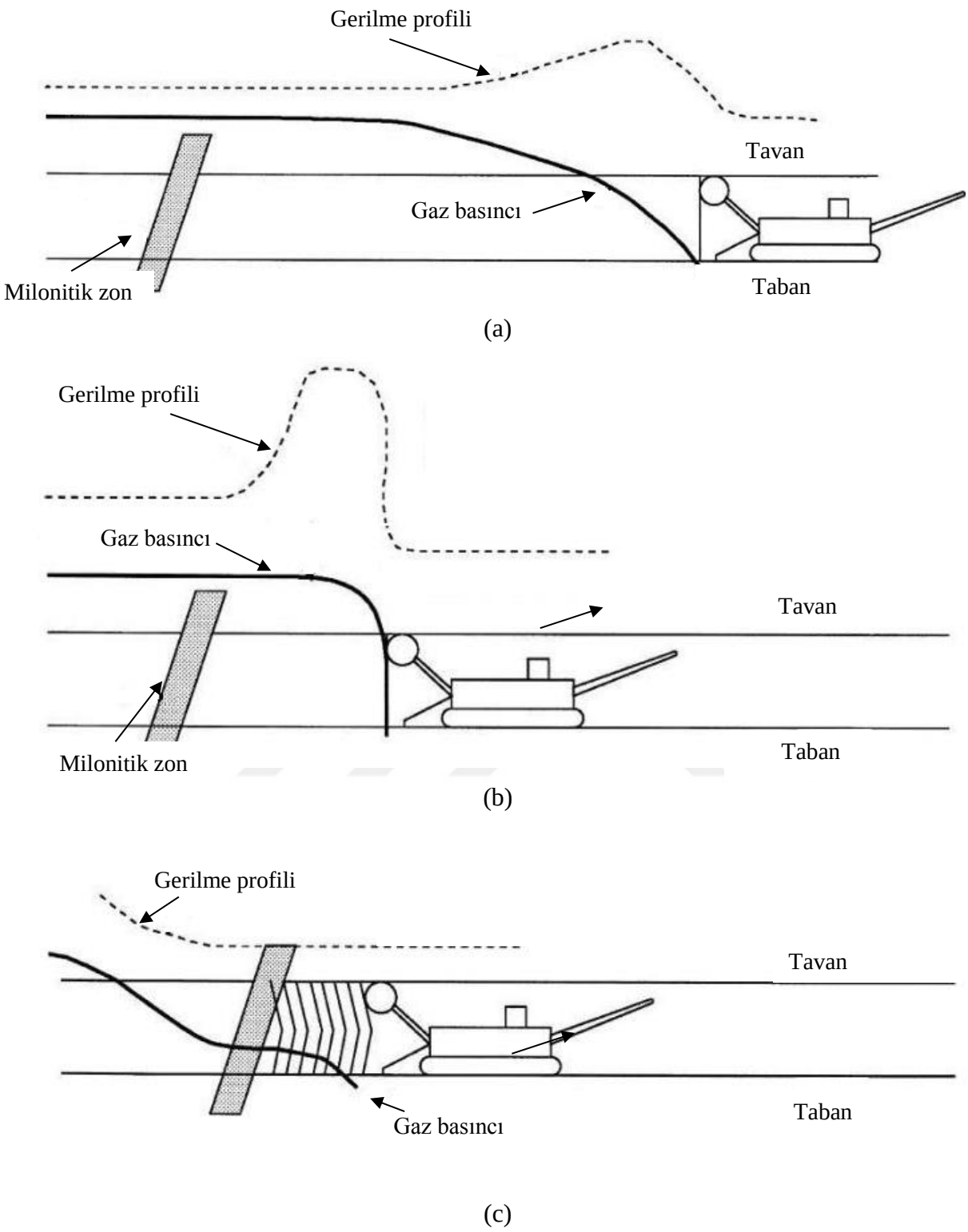
4.1. Degaj Olayının Mekanizması

Bakir kömür damarları içerisinde depolanmış olan metan gazının basıncı, atmosferik basınçtan yüksektir ve sistem denge durumundadır. Gerek kömür ve gerekse çevre kayaçların geçirgenliği, doğal gerilmeler altında metanın hareket etmesine izin vermeyecek kadar düşüktür. Kömür üretim çalışmaları esnasında tabakalardaki doğal gerilme durumu bozulur ve çalışan işyerleri çevresinde ikincil gerilme alanı meydana gelir. Bu durum tabakalarda mikro çatlaklanmaların oluşmasına ve zayıflamalara sebep olur. Gerilme değişimlerine maruz kalan bölgelerdeki tabakalarda bulunan mikro çatlakların niteliği ve niceliği; tabakaların cinsine, kalınlığına ve çalışma ortamına olan uzaklığına bağlı olarak değişir. Ayrıca, üretimin derinliği, şekli, boyutları ve civar işyerlerinin konumlarının da olayı etkilediği bilinmektedir. Kömürün doğal yapısı sebebiyle, çevre kayaçlarda çatlaklar hiç oluşmasa veya çok az çatlaklanma oluşsa bile kömür damarlarında çatlaklanmalar oluşabilmektedir. Damar içeriğindeki gaz, ancak üretim bölgelerinde çıkabileceği yollar bulduğu zaman yayılabilir (Oskan, 2014). Ocaklarda metan yayılımı üç ayrı şekilde olabilir:

- <u>Emisyon şeklinde yayılım:</u> Kömürleşme süreci sırasında kömür bünyesinde tutulmakta olan metan, bir denge basıncında kömürün iç yüzeylerinde soğurulmuş durumdadır. Madencilik çalışmaları sonucunda tabaların kırılması ile bu dengede bozulma meydana gelir ve metan gazı ocak içerisine doğru göç eder. Gözle görülemeyen çatlaklardan ve gözeneklerden emisyon şeklinde oluşan bu yayılım, sürekli ve yavaştır. Bu emisyon şekli iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada gaz, bulunduğu gözeneklerden serbest kalır ve çevredeki çatlak ve kırıklara doğru yayılır (difüzyon). İkinci aşamada ise metan gazı çatlak ve kırıklar boyunca hareket ederek ocak havasına yayılır.
- <u>Üfleyerek yayılım:</u> Metan gazının faylardan, bazı sondajlardan, gözle görülebilen çatlaklardan ve boşluklardan çok miktarda üflenme şeklinde yayılmasıdır. Genellikle kuyu kazma, rekup sürme çalışmalarında ve gözenekli kumtaşında görülür. Gaz, bir çatlak açıklığından ve bir su gelirinden sonra

gelmekte ve su azaldıkça artış göstermektedir. Gelen gazı borularla yeryüzüne nakletmek mümkün ve uygundur. Bu tarz bir gaz yayılımı, genellikle, kısa sürelidir. Fakat bazen yıllarca ve hatta ocağın ömrü boyunca sürebildiği gözlenmiştir. %97.5 metan konsantrasyonlu ve 22.65 m^3/s gelir tespit edilmiştir (Yalçın, 2012).

- Degaj: Kömür bünyesinde ve arın ilerisinde yüksek basınç altındaki metan gazının arındaki kömürü parçalayarak, kömür tozu ve yantaş ile birlikte ocak boşluğunu doldurması olarak tanımlanmaktadır. Normal şartlardaki gerilme profili ve gaz basıncı Şekil 4.1. a'da verilmiştir Arın ile milonitik zon arasındaki kömür bariyerinin azalması; gerilmenin artmasına, kömürün geçirgenliğinin azalmasına ve arın yakınındaki gaz basıncının artmasına neden olur (Şekil 4.1. b). Ani ve hızlı çöken kömür bariyeri arın önünde bir gerilme boşalmasına ve gaz basıncının azalmasına neden olur. Kömürün gaz basıncı değişimi büyük oranda gazın kömürden desorpsiyon hızı ile ilişkilidir (Şekil 4.1. c). Kömür ocaklarında birçok can kaybına neden olan bu olayda metan gazı, kazı yapılan kömür damarından veya damarı çevreleyen tavan ve taban tabakalarından ocağa gelebilir. (Yalçın, 2012).



Şekil 4.1. Degaj bölgesindeki kazı arını koşulları (Beamish ve Crosdale'den, 1998): a)Normal gerilme ve gaz basıncı, b)Maksimum gerilme ve gaz basıncı, c)Degajın başladığı andaki gerilme ve gaz basıncı

Bunlar içerisinde degaj şeklinde yayılım, çok kısa sürede büyük miktarlarda gazın açığa çıkmasına sebep olması nedeniyle diğerlerinden farklı bir yere sahiptir. Olay esnasında, gaz ile birlikte sürüklenen kömür ve kayaç postası da kazı boşluğuna taşınmaktadır. Büyük miktarlarda gazın açığa çıktığı ve kömür postası ile birlikte kazı boşluğunu doldurduğu bu olaylar, degaj (ani kömür ve gaz püskürmesi) olarak tanımlanmaktadır. Tanımdaki kayaç ifadesi, gaz içeren kömür, tuz ve kumtaşı tabakaları için kullanılmaktadır. Olay sırasında açığa çıkan gaz ise, kayacın türüne göre değişiklik göstermektedir. Kömür madenciliğinde meydana gelen olaylarda; CH_4 ve CO_2 veya bunların değişik oranlarda karışımları olayın ana nedeni olarak belirtilmektedir. Olaylar genellikle yeraltı kömür ocaklarında meydana gelmekte olup, tuz (potas) ve metal ocaklarında da nadiren rastlanmıştır. Tuz ve metal ocaklarında ocak havasına karışan gazlar; CH_4, CO_2 ve bunların H_2 ve N_2 gazları ile karışımlarıdır. Yeraltı kömür madenciliğinde ön planda olan Çin, Rusya, Avustralya, Polonya, Ukrayna, Almanya gibi ülkelerde de degaj olayları yaşanmıştır. Kömür madenciliğinin en önemli sorunlarından birisi olarak kabul edilen degaj olayları, geçmişten günümüze kadar dünyanın farklı bölgelerinde ciddi can ve mal kayıplarına neden olmuştur (Esen vd., 2017). Dünyada kayıt altına alınmış degaj olayları ve bu olaylara ait bilgiler Çizelge 4.1'de verilmiştir (Lama ve Bondziony, 1998).

Çizelge 4.1. Dünyada yaşanan degaj olayları

Ülke	Bölge	Dönem	Püskürme Türü (Gaz Türü)	Olay Sayısı
Almanya	Ruhr	1956-1970	Kömür (CH_4)	21
	Ruhr	1971-1993	Kömür (CH_4)	98
	Ibbenbüren	1970-1993	Kömür (CH_4)	240
Avustralya	Bowen	1954-1980	Kömür (CO_2, CH_4)	> 220
	Illawarra	1895-1995	Kömür (CO_2, CH_4)	449
Belçika	Southern	1847-1908	Kömür (CH_4)	357
	Southern	1954-1965	Kömür (CH_4)	130
Birleşik Krallık	West Wales	1901-1980	Kömür (CH_4)	219
Bulgaristan	Balkan	1933-1989	Kömür (CH_4)	> 250
Çin	Shanxi	1951-1971	Kömür (CH_4)	596
	Shanxi	1982-1986	Kömür (CH_4)	466
	Henan	1992'den önce	Kömür (CH_4)	268
	Henan	2008	Kömür (CH_4)	1
	Sichuan	1983'den önce	Kömür (CH_4)	1141
	Liaoning	1951-1986	Kömür (CH_4)	1688
	Liaoning	1969-1976	Kömür (CH_4)	84
	Huanian	1959-1975	Kömür (CH_4)	211
	Liu Zhi	1950-1981	Kömür (CH_4)	9845
	Guizhou	2010-2013	Kömür (CH_4)	2
Çek Cumhuriyeti	Ostrava	1894-1988	CH_4)	469
	Slany	1986-1990	Kaya (CO_2)	8
	Rosice-Oslavany	1987'den önce	Kömür (CH_4)	5
Fransa	Lorraine	1919-1964	Kömür (CH_4)	40
	Loire	1980'den önce	Kömür (CH_4)	26
	Dauphine	1985'den önce	Kömür (CH_4)	275
	Centre	1986'dan önce	Kömür (CH_4)	172
	Gard	1879-1989	Kömür (CO_2, CH_4)	> 6.300
G.Afrika Cumhuriyeti	Main Karoo	1993-1994	Kömür (CH_4)	5
Japonya	Hokkaido&Kyushu	1926-1986	Kömür (CH_4)	920

Çizelge 4.1. Dünyada yaşanan degaj olayları (devam)

Ülke	Bölge	Dönem	Püskürme Türü (Gaz Türü)	Olay Sayısı
Kanada	Nanamio	1921-1927	Kömür (CH_4)	268
	Crows Nest	1903-1928	Kömür (CH_4)	>200
	Canmore	1944-1954	Kömür (CO2, CH_4)	43
	Sydney	1977-1984	Kaya (CH_4, N_2, C_2H_6)	37
Kazakistan	Karaganda	1988'den önce	Kömür (CH_4)	45
Macaristan	Mecsek	1894-1988	Kömür (CH_4)	~ 600
Polonya	Lower Silesian	1894-1994	Kömür (CO_2, CH_4)	1731
	Upper Silesian	1979-1986	Kömür (CH_4)	7
Rusya	Kuznetsk	1946-1988	Kömür (CH_4)	132
	Pechora	1950-1989	Kömür (CH_4)	127
	Yegorshynsko-Kamenski	1944-1963	Kömür (CH_4)	190
	Far East	1927-1977	Kömür (CH_4)	72
Tayvan	Tayvan	1972-1986	Kömür (CH_4)	60
Ukrayna	Donetsk	1946-1988	Kömür (CH_4)	4.689

Ülkemizde degaj olayları sadece Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda meydana gelmiştir. Bu olaylar ilk gerçekleştiğinde tam olarak anlaşılamamış, arın kayması, göçük gibi olaylar olduğu düşünülmüştür. Dolayısıyla olaylara ait ilk bilgiler 1960'lı yılların sonlarından itibaren kayıt atına alınmaya başlanmıştır (Esen vd., 2017). Degajın meydana gelebilmesi için aşağıdaki koşulların oluşması gerekmektedir:

1. Kömür içerisinde, yeterli basınç altında ve yoğunlukta bir gaz bölgesinin varlığı.
2. Kayaç basıncı sebebi ile gaz ve kömür arasındaki bağlantının kalkması.
3. Kömür bünyesindeki gazın yeterli bir hızla çıkması.
4. Oluşan yüksek basınç bölgesinin, yeterli büyüklükteki bir kazı yüzeyinden, yeterli bir uzaklıkta bulunması (Yalçın, 2012).

4.2. Degaja Yatkın Damarların Özellikleri

Degaj olaylarının mekanizması 1800'lü yıllardan beri araştırılmakta ancak günümüzde halen kömür madenciliği açısından tehlike oluşturmaya devam etmektedir. (Guan vd., 2009). Degajın meydana gelmesinde etkili pek çok koşul mevcuttur. Üretim derinliği, damar kalınlığı, damar eğim açısı ve tektonizma gibi jeolojik koşullar, kömürleşme derecesi ve kömürün dayanımı gibi kömürün yapısından kaynaklanan koşullar, damarın gaz içeriği, gaz basıncı, gerilme koşulları, gaz desorpsiyon hızı şeklinde sıralanabilirler (Lama ve Bondziony, 1998).

4.2.1. Jeolojik yapı

4.2.1.1. Üretim derinliği

Üretim derinliğinin artmasıyla birlikte, kömür damarlarının gaz içeriği, gerilme koşulları ve kömür bünyesinde birikmiş olan enerji gibi özelliklerde artış meydana gelir. Bu sebeple, olayların meydana gelme olasılığı derinlikle birlikte artış gösterir (Haifeng vd., 2013). Ancak, tektonizmaya bağlı gerilmelerin mevcut olduğu, kömürleşme aşamasında biriken gazın damardan uzaklaşamadığı durumlarda, yüzeye yakın derinliklerde de olaylar meydana gelebilmektedir (Esen, 2013). Derinlik tek başına etkili bir faktör değildir. Derinlikle birlikte başka koşulların da mevcut olması gerekir. Bunlar; yatay ve düşey gerilmeler, kömür damarının gazlılığı ve bununla birlikte serbest ve adsorbe gaz moleküllerinin varlığı, kömür ve çevre kayaçlarda farklı formlarda toplanmış olan enerji miktarı, kömürün yapısı, kömürleşme derecesi, uçucu madde içeriği ve metamorfizma ile değişen diğer özellikler, sıcaklık değişimi ve bunun kömürden gazın desorpsiyonuna etkisi ve dik damar eğimi olarak verilebilir (Lama ve Bondziony, 1998).

4.2.1.2. Damar kalınlığı

Damar kalınlığı doğrudan gaz oluşumunu ve depolama kapasitesini etkiler. Degajlar yoğun olarak kalın ve orta kalınlıktaki damarlarda ortaya çıkar. Kalın kömür damarları ince damarlara nazaran daha fazla püskürme eğilimindedir. Kalın damarlarda

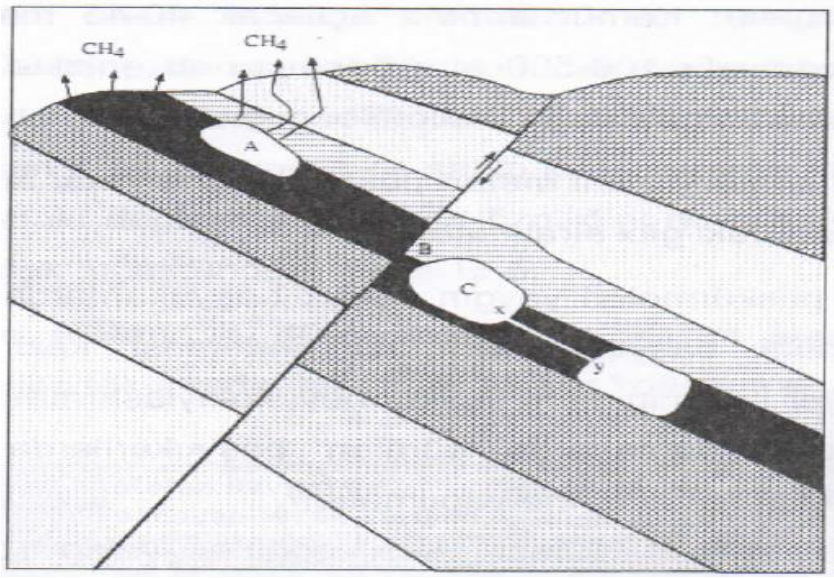
degajı başlatabilecek enerji birikiminin miktarı ve toplam gaz içeriği ince damarlar ile karşılaştırıldığında daha yüksektir (Chen vd., 2018).

4.2.1.3. Damar eğimi

Damar eğimi, degaj olayı başlangıcı ve yayılması üzerinde etkilidir. Eğim yönüne paralel kalın damarlarda degajlar yatay damar ile kıyaslandığı zaman daha sıklıkla oluşur (Lama ve Bondziony, 1998). Eğimli damarlarda eğim yukarı yapılacak madencilik çalışmaları esnasında yerçekimi, degajı kolaylaştırıcı etki edebilmektedir (Yalçın, 2012).

4.2.1.4. Tektonizma

Kömür damarlarındaki ve yan kayaçlardaki kırıklar, çatlaklar, faylar gibi jeolojik yapılar tektonizma sonucu oluşurlar. Degaj potansiyeli kömür damarının maseral bileşimine ve bölgenin jeolojik özelliklerine bağlı olarak değişir. Degajlarda kömür damarlarındaki ve yan kayaçlardaki kırıklar, çatlaklar, faylar gibi tektonik yapılar ile dayklar, siller, kumtaşı kanalları gibi jeolojik yapılar önemli rol oynamaktadır (Baltaş ve Öney, 2012). Tektonizma sonucunda oluşan faylar ve damarın sıktığı yerler degaja yatkın yerlerdir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Kömür damarı içinde degaja yatkın bölgeler (Yalçın'dan, 2012)

Faylar, kırık ve çatlaklar, makaslama zonu, damar kalınlığında değişim, magmatik sokulumlar gibi tektonik yapıların oluştuğu bölgelerde degaj olasılığı yüksektir. Bu bölgelerde kömürün yapısında mekanik ve fiziksel değişikler meydana gelmiştir. Kömür yapısal değişimi mikroskobik olarak gerçekleşmektedir. Mikroskobik yapı kömürün sorpsiyon özelliklerini ve geçirgenliğini içermektedir. Gözenek boyutu 75 mm'den küçük olan kömürler degaj eğilimine sahiptirler. Kömürde yapısal değişikler; tabakalaşma (stratifikasyon) yapısında deformasyon, mikro çatlaklar arasındaki ortalama mesafe, damar kalınlığında değişimler ve dayanım özelliklerinde değişim şeklinde sıralanmaktadır. Yapısal değişime uğrayan kömür damarlarında degaj olasılığı yüksektir (Lama ve Bondziony, 1998).

4.2.2. Kömürün yapısı

4.2.2.1. Kömürleşme derecesi

Kömürlerde organik maddelerin ulaştıkları olgunluk veya değişim derecesi "kömürleşme derecesi" olarak ifade edilmektedir. Kömürleşme derecesi genel olarak uçucu madde ya da sabit karbon içeriği temel alınarak belirlenmektedir. Uçucu madde içeriğinin düşük, buna karşın, sabit karbon içeriğinin yüksek olması kömürleşme derecesinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Taşkömürü sürecinde yüksek uçucu maddeye sahip ve bitümlü kömürden antrasite gittikçe, mikro gözeneklerin kömürün toplam gözenek miktarı içindeki oranı artmaktadır. Bu sebeple sıcaklık, basınç, nem içeriği gibi diğer faktörler sabit kalarak yapılan ölçümlerde, kömürleşme derecesi yükseldikçe kömürün daha fazla gaz soğurduğu elde edilmiştir (Çakır, 1994). Kömürleşme sürecinde ısı, oluşum basıncı ve zamanın etkisiyle, kömürün hem fiziksel özellikleri hem de kimyasal bileşimi düzenli değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle, genel olarak metamorfizma veya kömürleşme derecesi, uçucular, vitrinit yansıması, maseral bileşimi, karbon içeriği, hidrojen içeriği, nem ve kalorifik değer gibi kömür rank endeksleri ölçülerek elde edilir. Kömürleşme derecesi sadece kömürün metaformizmasını değil aynı zamanda gaz içeriğini, dolayısıyla da degaj eğilimini etkilemektedir (Zhou vd. 2017). Kömürleşme derecesi (vitrinit yansıması) % 1.2'den fazla kömürler degaj riski taşımaktadır. Dayk ve siltlerin varlığı ve volkanik kayalar ile temas sonucu kömür rankında ani değişiklikler, gaz sorpsiyon kapasitesinde değişikliklere neden olur. Aynı zamanda madencilik sırasında

normal gaz akışını bozar ve gaz basıncı rejimini değiştirir (Lama ve Bondziony, 1998). Vitrinit içeriği aynı zamanda kömürün gazlılığını etkiler. Vitrinit bakımından zengin kömürler gaz tutma eğilimindedirler ve yüksek gaz emisyonuna sahiptirler. Kömür kazı esnasında oldukça küçük tane boyutuna sebep olacak kırılma gösterdiklerinden vitrinit içeriği fay bölgelerinde yüksektir. (Beamish ve Crosdale, 1998).

4.2.2.2 Kömürün dayanımı

Kömürün dayanımı, genellikle maseral bileşimine bağlıdır ve bu nedenle farklı kömür katmanlarında farklı dayanım özellikleri gözlenebilir. Genel olarak, yüksek dayanımlı kömürler daha az kırıklı yapıya sahiptir ve gaz çıkışının meydana gelmesine neden olacak geçiş bölgesinin oluşması için kırılmaya, parçalanmaya yol açacak yüksek bir enerjiye ihtiyaç bulunmaktadır. Bunun aksine düşük dayanımlı kömürler, belli bir gerilme veya basınç altında hemen kırılabilir ve gaz çıkışının kolaylıkla sağlanabildiği bölgeler oluşabilir. Ayrıca, dayanımı düşük olan kömürler yüksek gözenekliliğe sahiptir ve bu gözenekler yerinde gerilmeler veya madencilik kaynaklı gerilmeler altında açılıp kapanarak gaz birikimini ve basıncını doğrudan etkiler. Böylelikle, degajın oluşmasında itici kuvvet olarak görev alan gerekli basıncın oluşması sağlanır (Zhou vd., 2017). Düşük basınç dayanımı kömürün olgunluğu ve uğradığı tektonik deformasyonlarla ilişkilidir. Protodyakonov indeksi, Impact Strength Index (ISI) ve çekme dayanım testi degaj eğiliminin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Protodyakonov indeksi (f) 0.5'den küçük olan kömürler degaj eğilimindedir (Lama ve Bondziony, 1998).

4.2.3. Gaz içeriği

Gaz içeriği, hidrojeolojik faktörler, oluşum derinliği, kömürün metamorfik derecesi ve jeolojik faktörler gibi parametrelerden büyük oranda etkilenen bir rezerv özelliğidir ve degaj olaylarını etkileyen en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Yüksek metan içeriğine sahip olan damarların degaja daha elverişli olduğu söylenebilir (Scott, 2002). Degajların oluşabilmesi için gerekli minimum gaz içeriği değeri mevcuttur. Bu değer kömürün dayanım özelliklerine, geçirgenliğine ve diğer jeolojik koşullarına bağlıdır. Genellikle 8 m^3/t (kuru-külsüz kömür) gaz içeriğinden daha büyük değerlerde degaj olasılığı yüksektir (Lama ve Bondziony, 1998). Almanya ve Avustralya'daki deneyler

sonucunda ise degaj sınır değeri metan için 9 m^3/t, karbondioksit için 5 m^3/t olarak belirlenmiştir (Beamish ve Crosdale, 1998).

4.2.4. Gaz basıncı

Degajın meydana gelebilmesi için gerekli olan gaz basıncı, yeterli bir hıza erişmelidir. Kinetik gaz kuramına göre, kömür içerisindeki gözeneklerde ve diğer boşluklarda bulunan moleküller devamlı olarak hareket halindedirler. Gaz moleküllerinin ortalama hızı ortam sıcaklığına bağlı olup, hareketleri sırasında birbirlerine ve gözeneğin iç yüzeyine çarpmaktadırlar. Hızlı hareket eden ve dolayısıyla fazla enerjiye sahip moleküller yüzey tarafından yansıtılmasına rağmen, yavaş moleküller gözeneklerin iç yüzeyinde belli bir süre tutulurlar (Çakır, 1994). Damar ya da yan kayaçlarda bulunan gazın sahip olduğu enerji veya basınç, degaj olaylarının gelişimi açısından önemli bir yere sahiptir. Gaz basıncındaki artış, kömür damarının gözenekliliğinin artmasına neden olur. Gözeneklilikteki bu artış, adsorbe edilmiş durumda bulunan gazın serbest duruma dönüşmesine neden olan gaz desorpsiyonunu hızlandırır. Böylelikle degajların meydana gelebilmesi için elverişli koşullar oluşur (Zhou vd. 2017). Degaja meyilli kömürlerin gaz basıncı değeri yumuşak kömürler için 0.3 MPa'dan yüksek, yüksek dayanımlı sert kömürler için 0.6-1 MPa aralığındadır (Lama ve Bondziony, 1998).

4.2.5. Gerilme koşulları

Kayaç basıncına dayanan kurama göre, degajların oluşumu, üst kısımlardaki katmanların ağırlığına ve dolayısı ile damarın ve tavanın bu ağırlıktan doğan gerilimli durumuna bağlıdır. Bu basınç daha sonra, kömürün gelen gerilime karşı koyamayacağı düzeye kadar azalması ile damardaki kömür ve gazın boşluğa doğru atılmasına neden olur. Damar ve çevresindeki katmanlar, tektonik basınçlar sonucunda bölgenin ön-gerilimli duruma gelmiş olmasından da etkilenebilirler (Beamish and Crosdale, 1998). Gerilme koşulları, yerinde gerilmeler ve madencilik kaynaklı gerilmeler olmak üzere iki farklı durumu içermektedir. Yerinde gerilmeler; jeolojik yapıları (tektonik gerilme) ve oluşum derinliğini (jeostatik gerilme) içerir. Degajların jeolojik yapıların civarında oluşmasının önemli bir nedeni, tektonik gerilmelerin gaz akışı ve gaz birikmesinde etkin rol oynamasıdır. Madencilik kaynaklı gerilmeler ise üretim derinliği, damar kalınlığı, damar

eğimi ve kazı arını genişliği gibi madencilik koşullarına bağlı olarak gelişen gerilmeler ile ilişkilidir. Madencilik kaynaklı gerilmeler, mevcut gözeneklerin açılmasına ya da kapanmasına neden olmakta ve böylece kömür damarının gözenekliliğini ve geçirgenliğini dolaylı olarak etkilemektedir (Zhou vd., 2017).

4.2.6. Kömürün sorpsiyon ve desorpsiyon özellikleri

Sorpsiyon kapasitesini etkileyen en önemli etken nem içeriğidir. Nem içeriğindeki artış sorpsiyon kapasitesinde azalmaya sebep olur. Yüksek ranklı kömürler düşük nem içeriğine sahiptir. Parlak kömürler mat kömürlere nazaran daha yüksek sorpsiyon kapasitesine sahiptirler (Beamish ve Crosdale, 1998). Degaj olayının meydana gelebilmesi için öncelikle sorpsiyon dengesinin bozulması ve daha sonra gazın kömürden hızlı desorpsiyonu ile ocak çalışma bölgesine doğru hareket etmesi gerekmektedir. Bu sebeple damarın degaja meyilli olup olmamasının belirlenmesinde gaz desorpsiyon hızının araştırılması önemlidir (Esen vd., 2016). Kömürün mikro gözeneklerinde ve çatlaklarında depolanmış olan gazın ortamdaki basınç dengesinin bozulmasıyla, süreksizliklerden yayılma hızı önemli bir konudur. Deneysel çalışmalarda degaja meyilli kömür damarında gaz desorpsiyon hızının çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Esen vd., 2017). Desorpsiyon hızının ölçülmesinde kullanılan farklı indeksler mevcuttur (Lama ve Bondziony, 1995). Bunlar,

- <u>k_t indeksi:</u> 0.63-0.40 mm arasında tane boyutuna ufalanan 4 gr kömür tanelerinin desorbemetre numune hücresine konarak 6 atm basınçta 48 saat bekletildikten sonra gazın desorbe olma hızı tespit edilir. k_t indeksine göre degaj yatkınlık sınıflandırması Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. k_t indeksine göre degaj yatkınlık sınıflandırması

Sınıf	Değer Aralığı	Degaja yatkınlık
I	$0.75 < k_t \leq 0.82$	Şüpheli
II	$0.82 < k_t \leq 0.88$	Tehlikeli
III	$0.88 < k_t$	Çok tehlikeli

- $\Delta P_{0\text{-}60}$ indeksi: Çıkan gazın belli bir süre sonucunda, sabit hacim içinde oluşturduğu basınç yükselmesinin ölçülmesi esasına dayanır. Gazın desorpsiyon hızı arttıkça doğal olarak ölçülen basınç farkı değeri de yükselir. 0.25-0.50 mm tane boyutuna ufalanan 3 gr kömür tartılarak ölçme aygıtı hücresine konur ve sızdırmaz şekilde kapatılır. Daha sonra gaz emme tulumbası ile 90 saniye süreyle kalıntı gaz ve nemden arındırılır. Bundan sonra her hücreden çıkan gazın 10. ve 60. saniyelerde oluşturduğu basınç yükselmesi değerleri mmHg cinsinden ölçülür. Çizelge 4.3'de $\Delta P_{0\text{-}60}$ indeksine göre degaj yatkınlık sınıflandırması verilmiştir.

Çizelge 4.3. $\Delta P_{0\text{-}60}$ indeksine göre degaja yatkınlık sınıflandırması

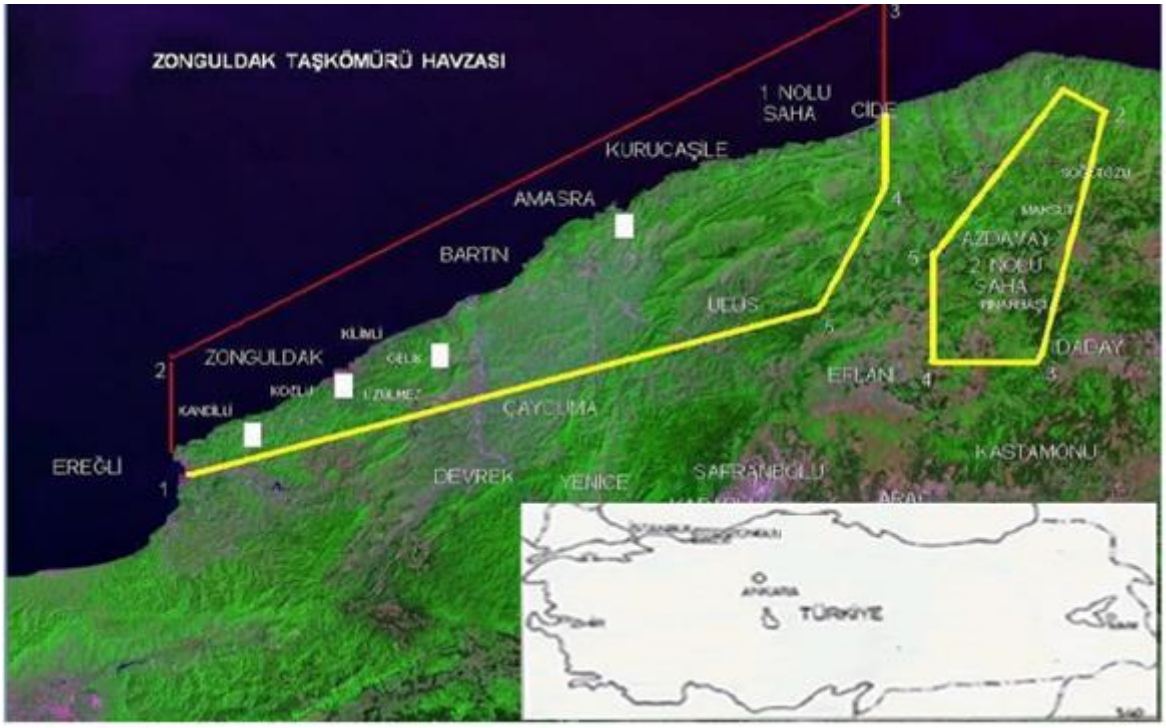
Sınıf	Değer Aralığı	Degaja yatkınlık
I	$0 < \Delta P_{0\text{-}60} \leq 15$	Tehlikesiz
II	$15 < \Delta P_{0\text{-}60} \leq 30$	Şüpheli
III	$30 < \Delta P_{0\text{-}60} \leq 45$	Tehlikeli
IV	$45 < \Delta P_{0\text{-}60}$	Çok tehlikeli

- $\Delta P_{express}$ indeksi: Desorpsiyon ve adsorpsiyon, birbirinin tersi reaksiyonlar olduğundan gaz desorpsiyon hızı yerine adsorpsiyon hızı ölçülebilmektedir. Deneyde kullanılan aygıt, bir numune üzerine gaz desorpsiyon karakteristiği $\Delta P_{express}$ değerinin saptanması esasına dayanır. 0.25- 0.50 mm tane boyutuna ufalanmış kömür numunesinden 70 gr tartılarak numune hücresine konur. Hücre sızdırmaz şekilde kapatılır ve hücre içindeki hava -700 mmHg kadar boşaltılır. Daha sonra hücre içine devredeki basınç 1 bar a ulaşıncaya kadar azot protoksit gazı (N_{20}) verilir. 1. dakikanın sonunda manometreden $\Delta P_{express}$ değeri okunur. $\Delta p_{0\text{-}60}$ indeksinde kritik değer olan 15 mmHg'ya karşılık gelen kritik $\Delta P_{express}$ değeri 0.45 olarak belirlenmiştir (Esen, 2013).

5. ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASI

TTK, Türkiye Kömür İşletmelerine bağlı Ereğli Kömür İşletmeleri (EKİ) Müessesi' nin, 19 Ekim 1983 tarihinde farklı bir genel müdürlüğe dönüştürülmesiyle kurulmuştur. Fakat Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda taşkömürü madenciliğinin 1848 yılında başladığı kabul edilmesi sebebiyle, müessesenin 1848 yılında kurulduğu kabul edilir ve amblemlerinde bu yıl yer alır. 233 sayılı Kanun Hükmünde Kararname hükümlerince bir kamu iktisadi teşebbüsüdür. 11.12.1984 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan ana statüsünde kuruluş amacı şu şekilde belirtilmiştir: "Devletin genel sanayi ve enerji politikasına uygun olarak, taşkömürü rezervlerini en iyi şekilde değerlendirerek ve ülkenin taşkömürü ihtiyacını karşılayarak yurt ekonomisine katkıda bulunmak." Merkezi Zonguldak'ta yer alır. Son yıllarda 2-2,5 milyon ton düzeyinde seyreden taşkömürü üretimini 5 müessesesi ile birlikte gerçekleştirmektedir. Armutçuk, Kozlu, Karadon ve Üzülmez Müesseseleri Zonguldak ili, Amasra Müessesesi ise Bartın ili sınırlarında yer almaktadır.

Zonguldak Taşkömür Havzası, Batı Karadeniz sahilinde Ereğli-İnebolu arasında, yaklaşık 160 km doğu-batı yönünde yayılım sergilemektedir. İdari olarak Zonguldak, Bartın, Karabük ve Kastamonu illeri sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 5.1). Havzada TTK'nın Kozlu, Üzülmez ve Karadon Müessese Müdürlükleri olmak üzere üç ana üretim tesisi bulunmaktadır. Havzada ulaşım açısından bir sorun bulunmamaktadır. Mevcut şehir ve ilçeler, asfalt yollarla birbirine bağlıdır. Havzada kurulu demiryolu ağı, taşkömürü üretim bölgelerinde insan ve malzeme nakliyesi bakımından büyük kolaylıklar sağlamakta ve aynı zamanda Zonguldak-Karabük-Ankara arasında şehirlerarası ulaşıma olanak sağlamaktadır. Bölgede akarsu ağı oldukça zengindir. Bölgedeki kiltaşı, silttaşı, volkanik ve metamorfik birimler suyu tutmaları nedeniyle yüzey sellenmeleri fazlaca görülmektedir. Mevcut akarsu ağı, dendritik olup Karadeniz'e dökülmektedir. Yağışlı tipik Karadeniz iklimi havzada oldukça egemendir (Öztürk, 2014).



Şekil 5.1. Zonguldak Taşkömürü Havzası kömür sahalarının dağılımı (TTK'dan, 2017)

2014 yıl sonu itibariyle Zonguldak Taşkömürü Havzası'ndaki müesseselere ait toplam rezervler Çizelge 5.1'de verilmiştir. 2018 yılı müesseselere ait üretim bilgileri ise Çizelge 5.2-5.8'de verilmiştir (TTK, 2018).

Çizelge 5.1. TTK Müesseselerine ait rezervler

Müesseseler	**Toplam Rezerv (ton)**
Kozlu	155.441.033
Karadon	410.215.535
Amasra	406.000.000
Armutçuk	21.205.401
Üzülmez	82.088.523

Çizelge 5.2. Karadon/Gelik işletmesi üretim bilgileri

Pano Adı / Özellikleri	-260/-150 Tb Sulu Doğu Ayak	-260/-150 Acılık Doğu Ayak	-360/-260 Acılık Doğu Ayak	-260/-150 Tv Akdağ Batı Ayak
Pano Rezervi	24.480 ton	97.420 ton	122.400 ton	115.600 ton
Günlük Üretim Miktarı	258 ton/gün	232 ton/gün	214 ton/gün	156 ton/gün
İşçi Sayısı	113	98	106	101
Üretim Yöntemi	Dönümlü göçertmeli	İlerletimli, göçertmeli	İlerletimli, göçertmeli	İlerletimli, göçertmeli
Ayaktan Geçen Hava Miktarı	160 m^3/dk	150 m^3/dk	320 m^3/dk	150 m^3/dk
Çalışılan Damar Kalınlığı	2.80 m	3.00 m	2.85 m	2.60 m
Metan gazı ve diğer gazlar	CH_4,CO_2,CO	CH_4,CO_2,CO	CH_4,CO_2,CO	CH_4,CO_2,CO
	CH_4:%0,6	CH_4: %0,3	CH_4: %0,3	CH_4:%0,6

Çizelge 5.3. Karadon/Kilimli işletmesi üretim bilgileri

Pano Adı / Özellikleri	-360/-460 Acılık Doğu Ayak	-260/-360 Kurul Batı Ayak	-360/-160 Kurul Doğu Ayak	-360/-460 O. Akdağ Doğu Ayak
Pano Rezervi	367.200 ton	193.400 ton	254.184 ton	74.800 ton
Günlük Üretim Miktarı	252 ton/gün	2 ton/gün	232 ton/gün	174 ton/gün
İşçi Sayısı	126	101	139	46
Üretim Yöntemi	İlerletimli göçertmeli	İlerletimli göçertmeli	İlerletimli göçertmeli	İlerletimli göçertmeli
Ayaktan Geçen Hava Miktarı	540 m^3/dk	55 m^3/dk	390 m^3/dk	430 m^3/dk
Çalışılan Damar Kalınlığı	3.00 m	2.50 m	2.80 m	2.20 m
Metan Gazı ve Diğer Gazlar	CH_4,CO_2,CO	CH_4,CO_2,CO	CH_4,CO_2,CO	CH_4,CO_2,CO
	CH_4:%0,5	CH_4:%0,3	CH_4:%0,2	CH_4:%0,3

Çizelge 5.4. Kozlu işletmesi üretim bilgileri (Çay V, Domuzcu-Büyük-Kesmeli)

Pano Adı / Özellikleri	-380/-420 Çay V	-425/-437 Çay V	-425/-485/-560 Domuzcu-Büyük-Kesmeli
Pano Rezervi	318.320 ton	358.715 ton	765.357 ton
Günlük Üretim Miktarı	375 ton/gün	400 ton/gün	325 ton/gün
İşçi Sayısı	131	137	114
Üretim Yöntemi	Dönümlü	Dönümlü	Dönümlü
Ayaktan Geçen Hava Miktarı	280 m^3/dk	290 m^3/dk	650 m^3/dk
Çalışılan Damar Kalınlığı	2.80 m	2.30 m	2.30 m
Metan Gazı ve Diğer Gazlar	CH_4,CO_2,CO	CH_4,CO_2,CO	CH_4,CO_2,CO

Çizelge 5.5. Kozlu işletmesi üretim bilgileri (Çay III-V, Sulu-Acılık)

Pano Adı / Özellikleri	-400/-360 Çay III-V	-485/-560 Sulu, -280/-300 Acılık	-485/-555 Sulu, Acılık
Pano Rezervi	175.794 ton	286.148 ton	465.525 ton
Günlük Üretim Miktarı	350 ton/gün	300 ton/gün	269 ton/gün
İşçi Sayısı	117	118	136
Üretim Yöntemi	Dönümlü	Dönümlü	Dönümlü
Ayaktan Geçen Hava Miktarı	550 m^3/dk	310 m^3/dk	390 m^3/dk
Çalışılan Damar Kalınlığı	2.30 m	2-3 m	2.00 m
Metan Gazı ve Diğer Gazlar	CH_4,CO_2,CO	CH_4,CO_2,CO	CH_4,CO_2,CO

Çizelge 5.6. Amasra işletmesi üretim bilgileri

Pano Adı / Özellikleri	-248/-300 Kuzey- Doğu Taşlı Mekanize	-175/-236 Kuzey- Doğu Alt Taşlı Ayak
Pano Rezervi	65.450 ton	95.000 ton
Günlük Üretim Miktarı	275 ton/gün	200 ton/gün
İşçi Sayısı	40	60
Üretim Yöntemi	Dik damar mekanize	Arkadan göçertmeli
Ayaktan Geçen Hava Miktarı	520 m^3/dk	700 m^3/dk
Çalışılan Damar Kalınlığı	2.20 m	2.10 m
Metan Gazı ve Diğer Gazlar	CH_4	CH_4

Çizelge 5.7. Armutçuk işletmesi üretim bilgileri

Pano Adı / Özellikleri	222	105	200
Pano Rezervi	196.542 ton	348.839 ton	68.770 ton
Günlük Üretim Miktarı	294 ton/gün	368 ton/gün	258 ton/gün
İşçi Sayısı	132	166	127
Üretim Yöntemi	İlerletimli	Dönümlü	Dönümlü
Ayaktan Geçen Hava Miktarı	460 m^3/dk	485 m^3/dk	500 m^3/dk
Çalışılan Damar Kalınlığı	9.00-12.00 m	9.00-12.00 m	9.00-12.00 m
Metan gazı ve diğer gazlar	CH_4	CH_4	CH_4

Çizelge 5.8. Üzülmez işletmesi üretim bilgileri

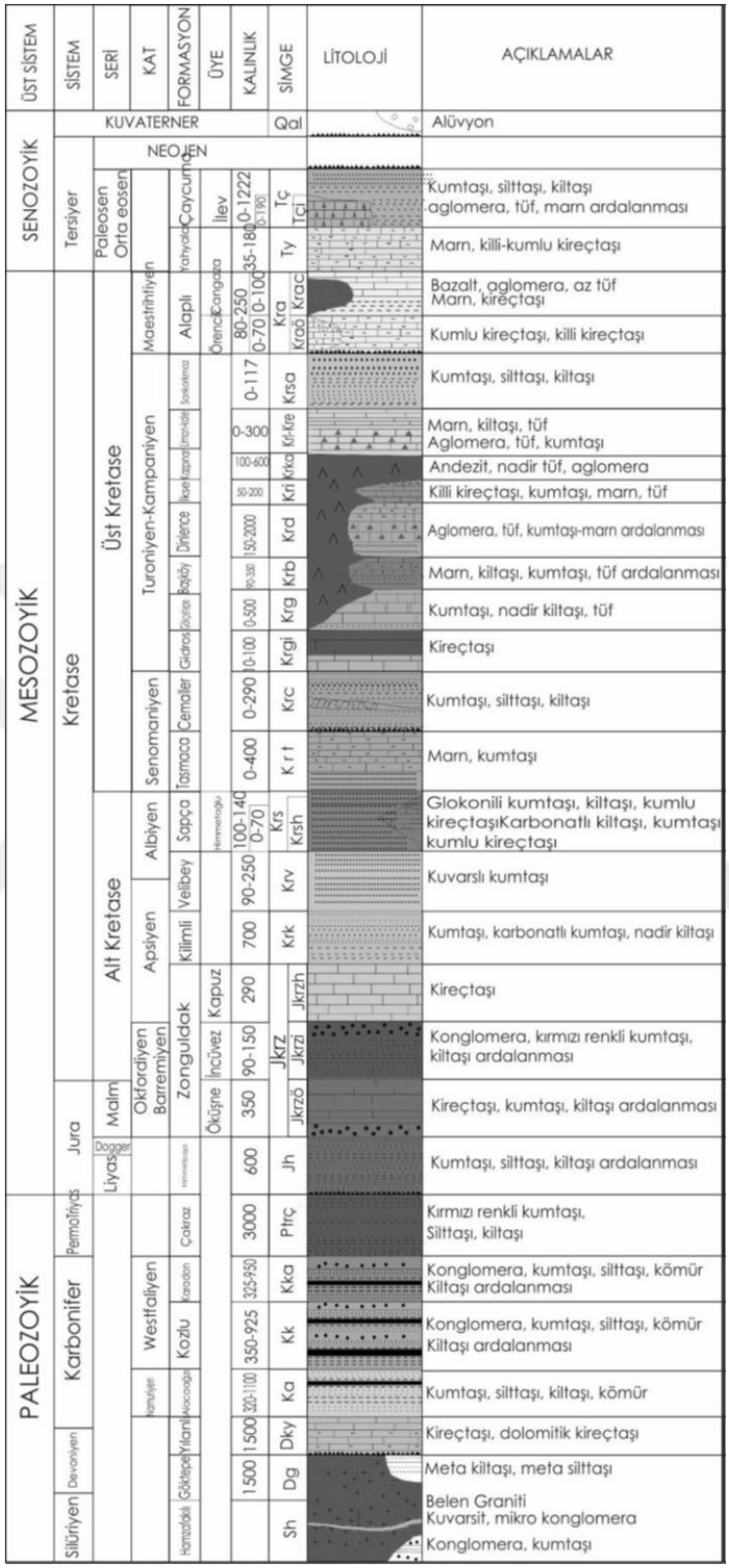
Pano Adı	**2. Ocak**	**3. Ocak**	**4. Ocak**
Pano Rezervi	59.000 ton	18.000 ton	56.000 ton
Günlük Üretim Miktarı	450 ton/gün	500 ton/gün	522 ton/gün
İşçi Sayısı	1328		
Üretim Yöntemi	Dönümlü, göçertmeli	Dönümlü, göçertmeli	Dönümlü, göçertmeli
Ayaktan Geçen Hava Miktarı	450 m^3/dk	400 m^3/dk	400 m^3/dk
Çalışılan Damar Kalınlığı	2.20 m	1.50 m	3.30 m
Metan Gazı ve Diğer Gazlar	CH_4	CH_4	CH_4

5.1. Jeolojik Yapı

Zonguldak Taşkömürü Havzası; Asya kıtasında yer almakta fakat, Batı Avrupa kömür havzaları gibi Karbonifer yaşlı olması nedeniyle Avrupa havzaları grubuna kapsamında yer almaktadır. Havza kömürsüz Vizeyen katı üzerine, kömürce zengin Namuriyen, Westfaliyen katların kulm fasiyesli bir geçişle gelmektedirler ve buna benzer paleontalojik palinojik seviyelerle Zonguldak havzası, Avrupa havzaları grubuna dahil edilmektedir. Havza, Alp orojenik kuşağının Alpin kanadının Türkiye'deki uzantısı olan Pontid sıradağları içinde yer almakta ve şiddetli kırık-kıvrımlı Paleozoyik, Mesozoyik yaşlı birimlerden meydana gelmiştir (Coşkun, 1999).

Havza kömürleri Karbonifer devrinde oluşmuş otokton kömürlerdir. Bu oluşumdan günümüzde bilinen Armutçuk, Zonguldak, Amasra, Pelitovası ve Söğütözü Karbonifer pencereleridir. Zonguldak Havzası'nın görünür tabanını, Silüriyen-Devoniyen yaşlı kuvarsitler oluşturmaktadır. Bu temel üzerine Yılanlı formasyonu olarak adlandırılan

Vizeen yaşlı sığ denizel karbonatlar gelir. Yılanlı formasyonu, havzanın güney kesimi ile Bartın Bölgesinin kuzeyinde mostra vermektedir. Havzanın temelini oluşturan birim, genel olarak gri, siyah ve koyu kahve renkli kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, dolomit, çörtlü kireçtaşı ardalanmasından oluşur. Yılanlı formasyonunun kalınlığı, Zonguldak dolayında 800-850 m buna karşın Ereğli Bartın dolayında 1500 m'dir. Yılanlı formasyonunun üzerine Namuriyen yaşlı Alacaağzı formasyonu uyumlu olarak gelir. Birim havzada, Armutçuk bölgesinde dolomitik, Zonguldak dolaylarında resifal kireçtaşları ve Amasra bölgesinde çörtlü kireçtaşları ile temsil edilen farklı ortamların ürünlerini içerir. Havzanın stratigrafi istifini, Paleozoyik, Mesozoyik, Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı birimler oluşturmaktadır. Havzanın genelleştirilmiş stratigrafik kesiti Şekil 5.2'de verilmiştir (Gürdal, 1998).



Şekil 5.2. Zonguldak havzası genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Ocakoğlu vd.'den, 2013)

5.2. Kömürlü Birimler

Havzadaki kömürlü birimleri içeren Karbonifer yaşlı karasal istif, üç kaya stratigrafi biriminden oluşmaktadır. Bunlar Namuriyen yaşlı Alacaağzı formasyonu, Vestfaliyen A yaşlı Kozlu formasyonu ve Vestfaliyen BC yaşlı Karadon formasyonudur. Bu birimlerin özellikleri aşağıda özetlemiştir (Gürdal, 1998).

5.2.1. Alacaağzı formasyonu

Namuriyen yaşlı birim havzada batıdan doğuya doğru sahil şeridi boyunca Alacaağzı, Değirmenağzı, Üzülmez, Gelik ve Amasra yörelerinde mostra verir. Alacaağzı formasyonu, delta ve delta önü geçiş ortamlarına ait kumtaşı, kil ve silttaşlarının egemen olduğu çökeller ile temsil edilir. Ayrıca formasyonun üst kesimlerinde, bazı ince kömür damarlarını içeren, laminalı şeyl, silttaşı ve ince-orta tabakalı kumtaşı ardalanması şeklinde devam eden kırıntılı oluşumlar bulunmaktadır. Genellikle yeşil, haki ve sarı renklerde izlenen birim, ince orta tabakalanma gösterir. Alacaağzı formasyonunun kalınlığı, Amasra bölgesinde 370 m, Zonguldak bölgesinde 250-350 m ve Armutçuk bölgesinde ise 1000 m'den fazladır. Birimin üzerine Vestfaliyen yaşlı kaba taneli kırıntılı bir istif konkordan olarak gelir. Taban ilişkisi, havzanın hemen her yerinde alttaki Vizeen yaşlı Yılanlı formasyonu ile dereceli geçişli olarak izlenmektedir. Formasyonun yaşı, yapılan palinojik tanımlamalarda Namuriyen olarak saptanmıştır (Gürdal, 1998).

5.2.2. Kozlu formasyonu

Kozlu formasyonu; silttaşı, kilttaşı, konglomera, kumtaşı ve kömür birimlerinden meydana gelmektedir. Armutçuk-Alacaağzı bölgesinde 0-300 m kalınlığına sahip formasyon, Zonguldak bölgesinin Kozlu, Üzülmez ve Karadon yörelerinde 800 m olarak izlenmektedir. Kömürlerde yapılan palinolojik çalışmalara göre kömür biriminin yaşı Vestfaliyen olarak verilmiştir. Kozlu formasyonunda belirlenen sedimanter yapılar ve özellikler, formasyonun örgülü ve menderesli akarsu ortamında çökeldiğini göstermektedir. Bu formasyon bölgede Namuriyen'den itibaren gelişen bir delta ortamının ürünüdür (Gürdal, 1998).

5.2.3. Karadon formasyonu

Havzadaki en genç kömürlü birim Vestfaliyen BC yaşlı Karadon formasyonudur. En belirgin olarak Karadon yöresinde mostra vermektedir. Birim konglomera, kumtaşı, silttaşı, kilttaşı ve kömür ardalanmasından oluşur. Birimin aşınma nedeniyle değişen kalınlıkları Kozlu bölgesinde 350 m ve Tarlaağzı bölgesinde 550 m'dir. Birimin yaşı Vestfaliyen BC olarak verilmiştir. Litostratigrafik olarak Kozlu formasyonundan belirgin bir farklılık göstermeyen Karadon formasyonu, çökelme ortamı açısından kısmen farklıdır. Tektonik aktivitenin yavaşladığı ve gelen kırıntılı malzemenin azaldığı evrelerde ortamda, yeniden Kozlu formayonuna benzer çökelme koşulları egemen olmuştur (Gürdal, 1998).

5.3. Tektonizma

Zonguldak havzası birimleri, Hersiniyen ve Alpin orojenezlerine bağlı olarak yoğun bir tektonizmanın etkisinde kalmıştır. Hersiniyen orojenezi ile gelişen KB-GD deformasyonların etkisi, havzada Kretase öncesi birimlerdeki faylar ve kıvrımlar olarak izlenmektedir. Kretase yaşlı örtü birimlerinin çökelmesinden sonra, tüm birimler Alpin orojenezinin etkisiyle yeni bir deformasyon geçirmiştir. Bölgenin kuzeyindeki hızlı çökeme sonucu gelişen aşırı yükleme havzanın güney kesimini yükseltmiştir. Bu dönem içerisinde havzada BKB-DGD yönlü normal faylar gelişmiştir. Ardından kuzey-güney yönlü sıkışma hareketleri ile başlayan tektonik aktivite, doğu-batı uzanımlı kıvrımlar ve ters fayların oluşumuna neden olmuştur. havzayı etkileyen iki büyük orojenik hareket neticesinde, havzada büyük ölçekli BKB-DGD yönlü normal faylar ile bunları kesen ikincil KD-GB yönlü faylar oluşmuştur. Havzada izlenen uzun ve devamlı faylar, D-B ve KB-GD yönlü faylardır. Bunların en önemlileri D-B yönünde uzanımlı, düşey veya eğim atımlı faylar olan Midi ve Karadon faylarıdır (Gürdal, 1998).

5.4. Jeolojik Evrim

Çökelmesine Lavrasya'nın güneye bakan kıta platformunda başlayan Zonguldak Karbonifer istifinin tabanında, Vizeen yaşlı Yılanlı formasyonu bulunur. Vizeen sonunda birim yerini, havza gerisindeki yükselmeler ve bunu izleyen malzeme gelimine bağlı olarak Namuriyen yaşlı Alacaağzı formasyonunun kırıntılı istifine bırakmıştır. Namuriyen'de

başlayan karasallaşma delta ve delta önü geçiş ortamlarıyla temsil edilir. Vestfaliyen, alttaki delta düzlüğü çökelleri üzerine, örgülü, menderesli akarsu düzlüğü ve taşkın ovası fasiyesleri ile temsil edilen kaba bir kırıntılı malzeme çökelimi ile devam etmiştir. Havzanın işletilebilir kömür damarlarını içeren bu devresel istifi, Vestfaliyen A yaşlı Kozlu formasyonu ve Vestfaliyen BC yaşlı Karadon formasyonutemsil eder. Geç Vestfaliyen'de Armutçuk bölgesinde başladığı düşünülen yükselme ve aşınma dönemi, Stefaniyen'den sonra tüm bölgeyi etkisi altına almıştır. Havza ve aşınmadan korunmuş kömürlü birimler, Kretase'de kuzeyde açılmaya başlayan Batı Karadeniz havzasının etkisiyle yeni bir çökelme döneminin ürünleriyle örtülmüş ve tekrar gömülmeye başlamışlardır. Çökelme kesiksiz olarak giderek derinleşen bir ortamda Tersiyere kadar sürmüştür. Eosen ortalarına kadar etkili olan bu dönemin ardından bölge, Alpin orojenezi ile ikinci bir yükselme ve aşınma döneminin etkisinde kalmıştır (Gürdal, 1998).

,

6. YÖNTEM VE TEORİK BİLGİ

Çok değişkenli istatistikler, karmaşık veri setlerini analiz etmede kullanım yaygınlığı gittikçe artan tekniklerdir. Bu teknikler, çok sayıda bağımsız ve/veya bağımlı değişkenle ve tüm bu değişkenlerin değişik düzeylerde birbiri ile ilişkili olduğu durumlarda analize imkan sağlar. Karmaşık araştırma sorularına tek değişkenli analizlerle cevap verebilmenin zorluğundan ve çok değişkenli analiz yapabilme yeteneği olan paket programların erişilebilirliğinden dolayı çok değişkenli istatistikler oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Çok değişkenli istatistiksel yöntemler, tek ve iki değişkenli istatistiklerin uzantısıdır. Çok değişkenli istatistikler, çok değişkenli modelin eksiksiz (bütünsel) veya genel vakası iken tek ve iki değişkenli istatistikler özel vakalarıdır. Eğer bir araştırmada ikiden fazla değişken mevcut ise, çok değişkenli teknikler genellikle birkaç tek değişkenli veya iki değişkenli analiz yapmak yerine, tek bir analiz yapma imkanı verir. Değişkenler, bağımsız ve bağımlı olarak kabaca iki ana grupta sınıflandırılır. Bağımsız değişkenler olayların maruz kaldığı değişen durumlar ya da olayların araştırma ortamına kendileriyle birlikte getirdikleri (uzun veya kısa gibi) özelliklerdir. Bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenler (tepki veya çıktı değişkenleri) hakkında yordalama yaptıkları için genellikle yordalayıcı değişkenler olarak değerlendirilirler. Çok değişkenli istatistiklerle eş-zamanlı olarak birçok bağımsız ve birçok bağımlı değişken analiz edilebilir.

Uygulama çalışmalarında tek değişkenli istatistiksel yöntemler araştırmanın sonucunu açıklamada yetersiz kalmaktadır. Çünkü tek değişkenli istatistiksel yöntemlerde araştırma konusunda tek değişken söz konusudur. Fakat gerçek hayatta ve modern bilimsel araştırmalarda temel alınan faktör sayısı birden fazladır. Bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri söz konusu olmaktadır be bu sebeple çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulur. Çok değişkenli istatistiksel yaklaşımı tek değişkenli istatistiksel analizlerden üstün kılan temel özellik; tek değişkenli istatistiksel analizlerde veri olarak kabul edilen birçok etkenin çok değişkenli analizlerde birer değişken olarak sistem içerisinde yer alabilmesidir (Tabachnick ve Fidell, 2015).

6.1. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler

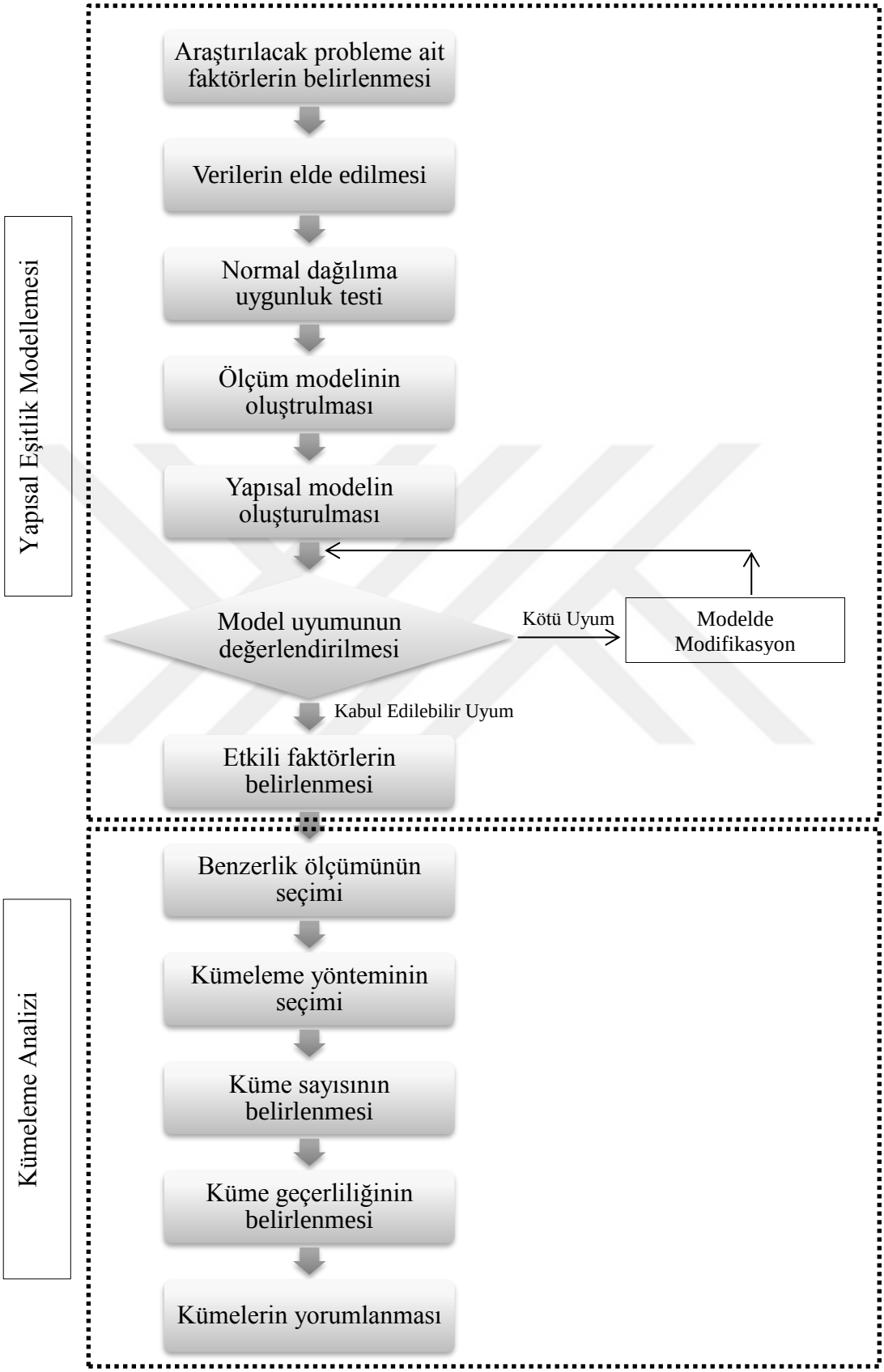
Gerçek dünya problemlerini ele alırken öncelikle problemi anlamak ve probleme neden olan faktörleri doğru ve tam olarak saptamak gerekir. Çoğu zaman bir problemi ortaya çıkaran birden fazla faktör bulunmaktadır ki, bu faktörler istatistik biliminde değişken adı ile anılır. Çok değişkenli istatistik analizlerle incelenecek olaylar ya da problemler çok yönlü olarak ele alınmakta ve analiz sonuçları ile doğru yorumlanabilmektedir. Çok değişkenli istatistik yöntemler çeşitli bilim dallarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Mühendislik, Tıp, Diş Hekimliği, Eczacılık, Biyoloji, Psikoloji, Ekonomi, İşletme, ve Eğitim Bilimleri bunların başında gelmektedir (Özdamar, 2014).

Çok değişkenli istatistik yöntemler sınıflama sistemleri geliştirmek, grup öğelerini kavramsallaştırmak, hipotezler geliştirmek ve hipotez testi yapmak gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Herhangi bir istatistik yöntemi uygulamadan önce araştırmacının amacını açık bir şekilde ortaya koyması ve veri yapısına uygun yöntemi seçmesi gerekir (Özdamar, 2014). Literatürde çoğunlukla kullanılmakta olan çok değişkenli istatistiksel analiz teknikleri, Hotelling T^2, Tek yönlü MANOVA, Tek yönlü MANCOVA, Faktöriyel MANOVA, Faktöriyel MANCOVA, Tek Yönlü Ayrıştırma Analizi, Çok Yönlü Frekans Analizi, Lojistik Regresyon, Temel Bileşenler Analizi, Faktör Analizi, Diskriminant Analizi, YEM, Kümeleme Analizi ve Zaman Serileri Analizi şeklinde sıralanabilir (Tabachnick ve Fidell, 2015).

6.2. Degaj Olaylarının Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlerle Değerlendirilmesi

Degaj olayı, aynı anda etki eden birçok faktörün birlikte etkileşiminin bir sonucudur ve bu nedenle, degaj riskini tek bir parametreyle doğru bir şekilde analiz etmek son derece zordur (Guan vd., 2009). Çoklu faktörlerin bir arada değerlendirilmesi, çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin kullanımını gerektirir. Yukarıda belirtilen teknikler içerisinde yer alan YEM yöntemi, sahip olduğu bir takım özellikler açısından klasik çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden farklı niteliktedir. Öncelikle YEM, diğer istatistiksel yöntemlerden farklı olarak, keşfedici bir yaklaşımın aksine doğrulayıcı bir yaklaşımı benimser. Dolayısıyla YEM dışındaki pek çok istatistiksel yöntem veri seti üzerindeki ilişkileri keşfetmeye çalışır. Fakat YEM, kuramsal olarak varlığı ortaya konmuş olan

ilişkilerin veri ile uyumunu doğrulayabilmektedir. Bu durumda YEM'in hipotez testleri için diğer yöntemlere göre daha fazla başarı elde ettiği söylenebilir. İkinci olarak klasik çok değişkenli istatistiksel yöntemler ölçüm hatasının değerlendirilmesi ya da düzeltilmesi için herhangi bir yeteneğe sahip değildir. YEM ise ölçüm hatalarının hesaplanmasında oldukça net sonuçlar ortaya koyabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, geleneksel yöntemler ölçüm hatalarını ayrı ayrı değerlendirmekte, YEM tüm çözümlemelerde ölçüm hatalarını açıkça göz önünde bulundurmaktadır. Üçüncü olarak, klasik yöntemler analizlerde sadece gözlemlenebilen değişkenler ile işlem yapabilirken; YEM, aynı model içerisinde hem gözlenebilen hem de gözlenemeyen değişkenler aracılığıyla test yapabilme özelliğine sahiptir. Son olarak, günümüzde hem gözlenebilen hem de gözlenemeyen değişkenlerin aynı anda test edilebildiği, doğrudan ve dolaylı çoklu ilişkilerin ya da birden fazla dolaylı ilişkilerin ölçülebildiği YEM yönteminden daha iyi veya daha çok kabul gören bir yöntem bulunmamaktadır. Tüm bu özellikler ise YEM'i günümüzde oldukça uygulanabilen bir metot haline getirmiştir (Meydan ve Şeşen, 2015). Bu sebeple, tez kapsamında degaj olaylarının oluşmasında etkili faktörlerin belirlenmesinde YEM yöntemi tercih edilmiştir. İkinci aşamada ise degaj olaylarında etkisi olduğu belirlenen değişkenlerden hareketle havzadaki kömür damarları benzer özelliklerine göre gruplandırılarak risk indeksi belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden Kümeleme Analizi yöntemi uygulanmıştır. Kümeleme Analizi, çok faklı durumlarda verilerin analiz edilmesinde kullanılan oldukça yararlı bir yöntemdir. Belirlenen kriterlere göre tüm verilerin küme haline getirilerek gözlemlerin azaltılmasını sağlayan ya da özet bilgi sunarak üst gruplar oluşturan bir tekniktir. Ayrıca, verilerin özelliklerine yönelik varsayımlar geliştirmek veya belirlenen varsayımların önceden test edilebilmesi amacıyla Kümeleme Analizinden yararlanılmaktadır (Kalaycı, 2009). Birimlerin ve nesnelerin düzenlenerek farklı gruplara ayrılmasını sağlayan çok değişkenli istatistik yöntemlerinden birisidir. Bu nesnelerin kümelenmesindeki amaç, birimlerin kendi içlerinde birbirine benzer özelliklerine göre gruplanmasını sağlamaktır. Benzerlik gösteren nesneleri bir araya getirmek ve bu grubun ortak özelliklerini incelemek, değişkenler arasındaki neden sonuç ilişkilerini açıklama sürecinde kolaylık sağlamaktadır (Çokluk vd., 2010). Yukarıda belirtilen açıklamalar doğrultusunda tez çalışması iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada YEM ile etkili faktörler belirlenerek. Etkili faktörlerden yola çıkılarak Kümeleme Analizi ile risk analizi yapılmıştır. Tez çalışmasının uygulama adımları Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Kullanılan yöntemlerin uygulanma aşamaları

6.3. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlerin Varsayımları

Farklı amaçlar için gerçekleştirilecek çalışmalarda kullanılacak çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinin tümü, belirli varsayımlara dayanmaktadır. Analiz sonuçlarının güvenilir olmasını sağlayabilmek amacıyla, araştırmalarda kullanılacak verilerin varsayımlar bakımından incelenmesi gerekmektedir. Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin varsayımları aşağıda açıklanmıştır (Kalaycı, 2009):

- Çoklu normal dağılım: Verilerin çok değişkenli normal dağılımlı ana kütlelerden geldiği kabul edilir.
- Sabit varyans: Kovaryans matrisleri bütün gruplarda eşittir.
- Çoklu doğrusal bağlantının bulunmaması: Bağımsız değişkenler arasında anlamlı doğrusal ilişkinin bulunmaması gerekir.
- Doğrusallık: Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında bağımsız bir ilişki vardır.
- Otokorelasyonun olmaması: Değişkene ait birim değerler birbirinden bağımsızdır.

Yukarıdaki varsayımlardan sapma, çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin gücü ve anlamlılığı üzerinde önemli etkilere sebep olmaktadır.

6.4. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlerin Uygulanma Amaçları

Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin uygulanma amaçları aşağıda açıklanmıştır (Özdamar, 2014).

- Veri azaltma: Veri azaltmada amaç veri setinin yapısını belirli sayıda değişken içeren ve aralarında ilişki bulunmayan daha az sayıda değişkenle açıklayabilmektir
- Kümeleme ve sınıflama: Veri özelliklerinin bilinmediği veri seti içinde model kümeler oluşturup, oluşturulan bu kümelere yeni faktörlerin dahil edilmesini sağlamaktır.

- Bağımlılık yapısının değerlendirilmesi: Değişkenlerin kovaryans ve korelasyonlarından faydalanılarak bağımlılığın neden ve sonuçlarının araştırılmasıdır.
- Atama ve ölçekleme: Birimlerin belli ölçülere göre atanmasının yanında çok sayıda değişkenden faydalanılarak birimlerin daha küçük ölçeklerde gösterilmesini sağlamaktır.
- Hipotez testleri ve hipotez oluşturma: Tek değişkenli istatistiksel yöntemlerde olduğu gibi çok değişkenli istatistiksel yöntemlerde de hipotez testlerinden yararlanılmaktadır. Değerlendirilmeye çalışılan olay hakkında yeni model oluşturmak ve hipotezler ortaya çıkartabilmek amacıyla da bu testlere başvurulmaktadır.

7. YAPISAL EŞİTLİK MODELLEMESİ

7.1. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

YEM kavramı, tek bir istatistiksel yöntem olmaktan çok, birden fazla istatistiksel tekniğin genel bir adıdır. Günümüzde çok değişkenli yöntemlerin uygulamalarının temel unsuru olarak kabul edilmektedir. Tek bir model dahilinde; gizil (gözlenemeyen) değişken, gözlemlenebilen değişken, bağımlı ve bağımsız değişkenlerdeki ölçüm hataları, karşılıklı nedensellik, eşzamanlılık ve karşılıklı bağımlılık ilişkileri gibi geniş bir çerçevede değerlendirilebilmektedir. Aynı zamanda gizil yapıları gözlemlenebilen değişkenler vasıtasıyla incelemeye olanak sağlayan yöntemlere verilen genel ad olarak da tanımlamaktadır. YEM, gözlemlenebilen ve gözlenemeyen faktörler arasındaki ilişkiler hakkındaki hipotezlerin test edilmesi için geliştirilmiş bir istatistiksel yaklaşımdır. Teknik olarak yapısal eşitlik setindeki bilinmeyen parametrelerin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Eşitliklerde yer alan faktörler genellikle doğrudan gözlenebilen değişkenler ve gözlenen değişkenlerle ilişkili gizil değişkenlerdir. YEM, gizil değişkenler arasında bir nedensel ilişkinin var olduğunu ve gizil değişkenlerin gözlenen değişkenler yoluyla ölçülebildiğini varsaymaktadır (Çokluk vd.,2010).

YEM'de nedensel yapılar hakkında varsayılan modelleri göstermek için yol (path) diyagramları kullanılmaktadır. Yol analizi, bir biyometrisyen olan Wright tarafından geliştirilmiştir (Çelik ve Yılmaz, 2016). Yol modellerinde gözlenebilen değişkenler arasında mevcut olan daha karmaşık ilişkilerin modellenmesi için regresyon analizi ve korelasyon katsayıları kullanır. Yol analizi ile değişkenler arasında neden sonuç ilişkisine dayalı modeller kurulur. Gözlenen korelasyonlara uygun açıklama getirmek ve bir dışsal faktörün modelde yer alan bir diğer değişken ile arasındaki korelasyonu ve nedensel ilişkisini ne ölçüde yansıttığını değerlendirmek amacıyla bu kurulan model kullanılmaktadır. Wright'a göre yol analizi üç kısımdan oluşmaktadır: (1) yol diyagramı, (2) kovaryanslar ve korelasyonlar ile alakalı eşitlikler, (3) etkilerin ayrıştırılmasıdır. Yol diyagramları tüm değişkenler arasındaki etkileşimleri göstermektedir. Wright yol diyagramını kullanarak model parametreleri için faktörlerin korelasyonlarını kapsayan eşitliklerin yazılmasına dair bir dizi kurallar önermiştir. Yol analizinin ikinci yönünü bu

önerme oluşturmaktadır. Yol analizinin üçüncü yönünü; toplam etkiler, doğrudan ve dolaylı etkiler içindeki herhangi iki parametre arasındaki toplam etkilerin ayrıştırılması oluşturmaktadır. Wright, yol katsayılarının yorumuna açıklık getirmek için standartlaştırılmış regresyon katsayılarının kullanılmasının daha uygun olacağını belirtmiştir.

Yol analizine ilave olarak, gizil değişken ve ölçüm modellerinin kavramsal sentezi, modern YEM'in temelini oluşturmuştur. YEM modelleri aslında doğrulayıcı faktör modelleri ve yol modellerinin sentezinden oluşmaktadır. Doğrulayıcı faktör analizi (DFA) kavramı ilk olarak 1950'li yıllarda Anderson ve Rubin, Howe ve Lawley gibi bilim adamlarının çalışmaları neticesinde ortaya çıkmıştır. DFA metodunun tam anlamıyla geliştirilmesi ise 1960 yılında Karl Jöreskog tarafından gerçekleştirilmiştir. Karl Jöreskog, tanımlı bir yapıya ait öğelerin oluşturduğu veri setinin test edilip edilemeyeceği konusunda yaptığı kuramsal çalışmalar sonucunda DFA'yı geliştirmiştir. YEM gizil ve gözlenen değişkenleri içermektedir. Gözlenen değişkenler arasındaki kovaryanslardan elde edilen bilgilerden hareketle gizil değişkenler ile ilgili önermeye ilişkin modellerin gelişimi 1960'lı yıllar boyunca sosyoloji biliminde devam etmiştir. Bu gizil değişken modelleri, ölçüm hatalarının gösterim şekli konusunda YEM'in gelişimine anlamlı katkı sağlamıştır (Çelik ve Yılmaz, 2016)

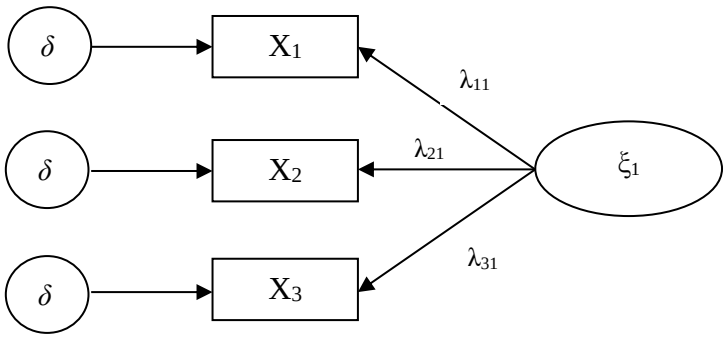
7.2. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Temel Özellikleri

YEM günümüzde mühendislik bilimleri, eğitim bilimleri, sosyal bilimler, davranış bilimleri, ekonomi, pazarlama ve sağlık bilimleri gibi pek çok bilim dalında kullanılmakta olan, belirli bir kurama dayalı olarak gözlemlenebilen ve gözlenemeyen değişkenlerin nedensel ve ilişkisel bir model içinde tanımlanmasına olanak sağlayan çok değişkenli bir istatistiksel yöntemdir. Günümüzde YEM'in popüler olarak kullanılmasının belki de en önemli sebebi gözlenebilen ve gözlenemeyen değişkenler arasındaki doğrudan ve dolaylı etkilerin tek bir model yapısı içerisinde test edilebilmesine imkan tanımasıdır. Bu şekliyle YEM, aynı anda gerçekleştirilebilen birden fazla regresyon analizi olarak da tanımlanabilir. YEM iki önemli noktaya dikkat çekmektedir. Bu noktalardan ilki; araştırma sürecinde bir seri yapısal eşitliği (örneğin regresyon eşitlikleri) içermesi ve ikinci olarak da oluşturulan bu yapısal eşitliklerin hipotezlerin daha kolay anlaşılabilmesi için görsel çizime

olanak sağlamasıdır. Bu iki temel özelliği gösteren bir YEM'in analizi, oluşturulan modelin görünen ve/veya görünmeyen tüm parametrelerin birlikte test edilmesi neticesinde elde edilen sonucun eldeki verilerle ne derece uyumlu olduğunu ortaya koyabilmektedir. Yapısal model uyum indeksleri ile değerlendirilmektedir. Elde edilen uyum indeksleri, model ile veri arasında uyum olduğunu gösteriyorsa, yapısal olarak oluşturulan hipotezler kabul edilmektedir. Model ile veri arasında uyum olmadığı ortaya konmuşsa hipotezler reddedilmektedir (Meydan ve Şeşen, 2015).

7.3. Ölçüm modeli ve Yapısal Model

Genel yapısal eşitlik modelleri iki bölümden oluşmaktadır. Bunlardan ilki, gözlenebilen değişkenleri gizil (gözlenemeyen) değişkenlere doğrulayıcı faktör analizi ile bağlanarak uygulanan "ölçüm modeli"dir. İkincisi ise gizil değişkenleri birbirine aynı anda eşitlik sistemleri ile bağlanarak uygulanan "yapısal model"dir. Ölçüm modeli, genel modelin tamamlayıcı bir parçasıdır. Gizil değişkenler ile bütün yönsüz (korelasyonel) ilişkilerin hesaplandığı modeldir. YEM analizlerinin başlangıç aşamasını oluşturur (Çokluk vd., 2010). Ölçüm modeli, gözlenebilen değişkenler ile gizil değişkenler arasındaki bağlantıyı ifade eden yapısal eşitliklere sahiptir. Gizil değişkenlerin her bir çeşitli gözlenebilen değişkenlerce ölçülür (Çelik ve Yılmaz, 2016). Ölçüm modelinin genel gösterimi Şekil 7.1'de verilmiştir.



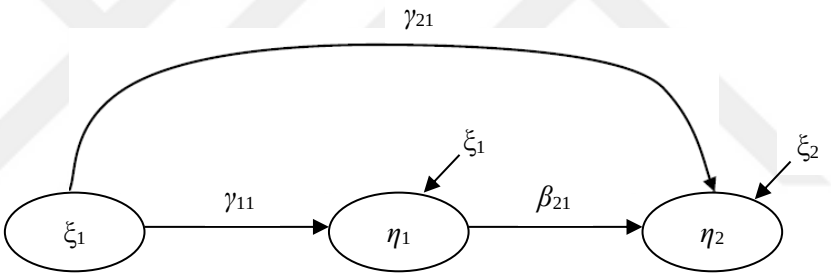
Şekil 7.1. Ölçüm modeli (Çelik ve Yılmaz'dan, 2016)

Ölçüm modelindeki ifadelere ait açıklamalar Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Ölçüm modeli ifadeleri

Sembol	Açıklama
X	Gözlenen dışsal değişken
ξ	Gizil dışsal değişken
λ	Gizil değişken ile gözlenen değişken arasındaki bağa ait yapısal katsayı
δ	Gözlenen dışsal değişkendeki ölçüm hatası

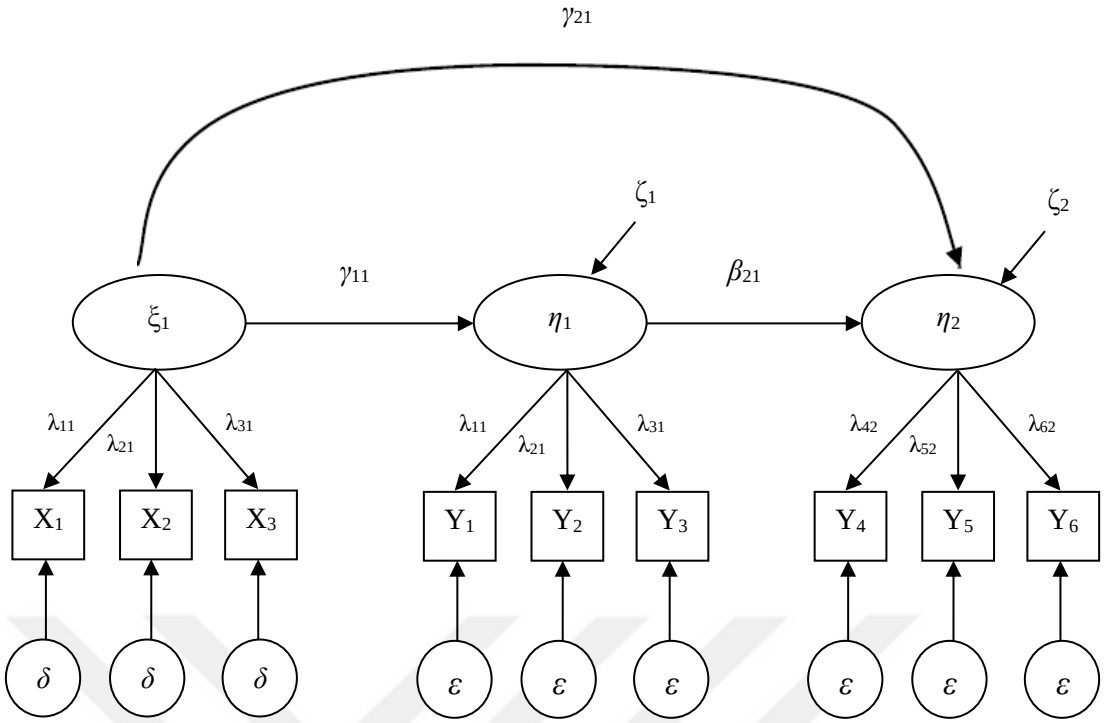
Yapısal model, gizil değişkenler arasındaki ilişkileri özetleyen yapısal eşitliklerden oluşur. Modelin bu kısmı yapısal eşitlik veya nedensel model olarak da adlandırılmaktadır. Modelde bulunan bütün eşitlikler yapısal ilişkileri tasvir eder (Çelik ve Yılmaz, 2016). Yapısal model Şekil 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7.2. Yapısal model (Çelik ve Yılmaz'dan, 2016)

Şekil 7.3'de bir yol analizi diyagramı ya da YEM'in grafiksel olarak gösterimi verilmiştir. Şekil 7.3'te üç gizil değişken için basit bir tekrarlı yol diyagramı görülmektedir (Çelik ve Yılmaz, 2016). Grafiksel gösterimdeki ifadelere ait açıklamalar Çizelge 7.2'de verilmiştir.

γ_{21}



Şekil 7.3. Yapısal eşitlik modelinin grafiksel gösterimi (Çokluk vd.'den, 2010)

Çizelge 7.2. YEM'in grafiksel gösterimine ait açıklamalar

Sembol	**Açıklama**
X	Gözlenen dışsal değişken
Y	Gözlenen içsel değişken
ξ	Gizil dışsal değişken
η	Gizil içsel değişken
λ	Gizil değişken ve gözlenen değişken arasındaki bağa ilişkin yapısal katsayı
δ	Gözlenen dışsal değişkendeki ölçüm hatası
ε	Gözlenen içsel değişkendeki ölçüm hatası
ζ	Gizil içsel değişkenle ilişkili hata terimi
γ	Dışsal bir değişkenden içsel bir değişkene olan yapısal etki
β	İçsel bir değişkenin diğer bir içsel değişkene olan yapısal etkisi

Gizil değişkenler arasındaki tek yönlü ve çift yönlü oklarla gösterilen parametreler ile gizil değişkenlerden onların göstergelerine uzanan tek yönlü oklarla gösterilen parametrelerin de hesaplanması gerekmektedir. Bu parametreler, faktör analizinde yer alan faktör yüklerine karşılık gelen değerleri ifade etmektedir. YEM'de göstergeler gizil

değişkenleri etkilemez, tersine her bir gizil değişken kendi göstergelerine etki eder. Göstergelere dışarıdan gelen tek yönlü oklar ise, bunların hata varyansını ifade etmektedir. Bir göstergenin açıklamadığı varyansı doğal olarak hata varyansı temsil eder. Gizil değişkenlere dışarıdan gelen tek yönlü oklar ise o gizil değişkenlerdeki daha önce gelen bağımsız gizil değişkenler tarafından etkilenmeyen hata varyansını ifade eder. Bir modelde yönü belli olan ve olmayan bütün etkileşimler sayısal bir değere sahiptir. Yönü belli olan ilişkilerdeki sayısal değer, regresyon katsayısı değerlerini ifade etmektedir. Yönü belirlenmemiş olan değişkenlere verilen değerler ise doğrudan değişkenler arasındaki korelasyona karşılık gelmektedir (Çokluk vd., 2010).

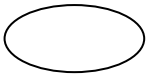
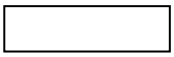
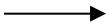
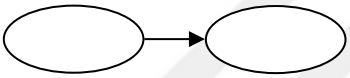
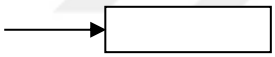
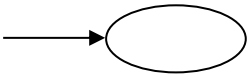
7.4. Yol (Path) Analizi

Yol çözümlemesi, araştırmacı tarafından karşılaştırılan iki veya daha fazla nedensel modelin korelasyon matrislerinin uygun olup olmadığını test etmek amacıyla kullanılan regresyon modellerinin bir uzanımı olarak tanımlanabilir. Yöntem, pek çok gözlemlenmiş değişken içeren modelleri kullanıyor olsa da, istenen sayıda bağımlı ve bağımsız değişken ve eşitlik içerebilmektedir. Böylelikle yol çözümlemesinin gözlenebilen değişkenleri kullanarak birçok çoklu regresyon analizini gerektirdiği sonucu elde edilebilir. Yol çözümlemesi sadece nedensel ilişkileri ortaya çıkaran bir yöntem değildir. Aynı zamanda "nedensellik modellemesi" adı ile tabir edilen değişkenler arasındaki kuramsal ilişkileri ortaya çıkartma aracı olarak söz edilmektedir. Tanımlı bir yol çözümlemesi iki değişken arasındaki nedensel ilişkileri üç durumda ortaya çıkarmaktadır. Bunlar sırasıyla; değişkenler geçici olarak sıralandığında, değişkenler arasındaki kovaryans ve korelasyonlar belirlendiğinde ve diğer nedensel ilişkiler kontrol edilmiş olduğundadır (Schumacker ve Lomax, 2010).

Birbiriyle ilişkisi olan birden fazla değişken arasındaki karmaşık ilişkileri, görsel olarak belirlemek için yol diyagramından yararlanılmaktadır. Bu diyagram yol analizinin temelini oluşturmakta, modelle ilgili iddia edilen ilişkilerin (kurulan hipotezler) açıkça görülmesini ve bu ilişkilerin yapısal denklemlere dönüştürülmesinde kolaylık sağlamaktadır (Tabachnick ve Fidell, 2015). Yol diyagramının temel avantajı, belirlenen varsayıma dayalı ilişkilerin bir şekille ifade edilmesidir. Yol diyagramı sistem eşitlikleri ile ilgili tüm bilgileri içermektedir. Bu sebeple sadece diyagramdan yararlanarak da eşitlikleri

yazmak mümkündür (Çelik ve Yılmaz, 2016). Yol diyagramında kullanılan semboller Çizelge 7.3'de verilmiştir.

Çizelge 7.3. Yol diyagramında kullanılan semboller (Meydan ve Şeşen'den, 2015).

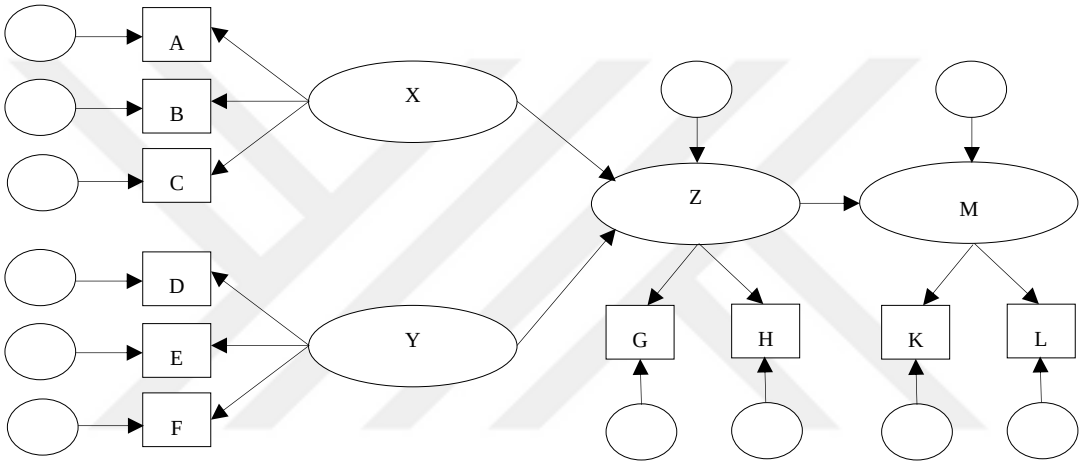
Semboller	**Açıklama**
	Gizil değişkenler
	Gözlenen değişkenler
	Bir değişkenin diğer bir değişken üzerindeki etkisi
	İki değişken arasındaki korelasyon
	Gözlenen bir değişkenin gizil bir değişken üzerindeki yol katsayısı
	Gizil bir değişkenin, bir başka gizil değişken üzerindeki yol katsayısı
	Gözlenen bir değişkenle ilgili ölçüm hatası
	Gizil bir değişkenin tahminindeki artık hatası

Gözlenen değişken, doğrudan veya dolaylı bir şekilde gözlenebilen ölçüm, tartım, sayım ya da ölçekler yoluyla elde edilen değişkenlerdir (Özdamar, 2014). Gizil değişken ise birden fazla gözlenen değişkeni etkileyen, bu gözlenen değişkenler arasındaki etkileşimleri açıklamaya çalışan ve doğrudan gözlenemeyen bir değişkendir. Diğer bir ifadeyle gözlenen değişkenler, ortak bir nedeni paylaşmaları nedeniyle bir araya gelmektedirler ve bu kümenin geneli gizil değişken olarak ifade edilir. Gizil değişkenler YEM'in farklı analizlerinde ve doğrulayıcı faktör analizinde anahtar niteliği taşımaktadır. Gizil değişkenler, hata varyansını modellemeye olanak tanır ve tanımlanmamış olan modellerin oluşturulmasında araştırmacılara yol göstericidir (Çokluk vd., 2010). Psikolojideki kendilik kavramı, sosyolojideki güçsüzlük, eğitim bilimlerindeki sözlü ifade yeteneği gizil değişkenlere örnek olarak verilebilir (Meydan ve Şeşen, 2015).

7.4.1. Yol (Path) analizinin türleri

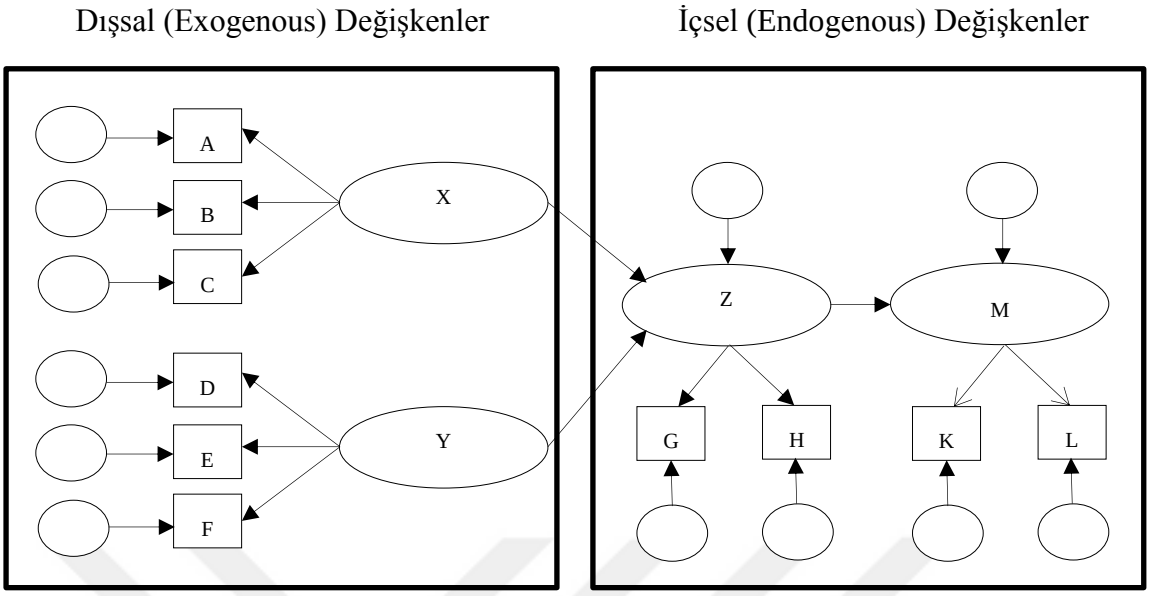
Genel olarak üç tür yol analizinden söz edilebilmektedir. Bu analiz türleri aşağıda açıklanmıştır (Çokluk vd., 2010):

- Gizil değişkenlerle yol analizi: Bu model türünde daha önce test edilen ölçüm modelleri ile model kurulur. Şekil 7.4'de gizil değişkenlerle yol analizi örneği verilmiştir.



Şekil 7.4. Gizil değişkenlerle yol analizi örneği (Çokluk vd.'den, 2010):

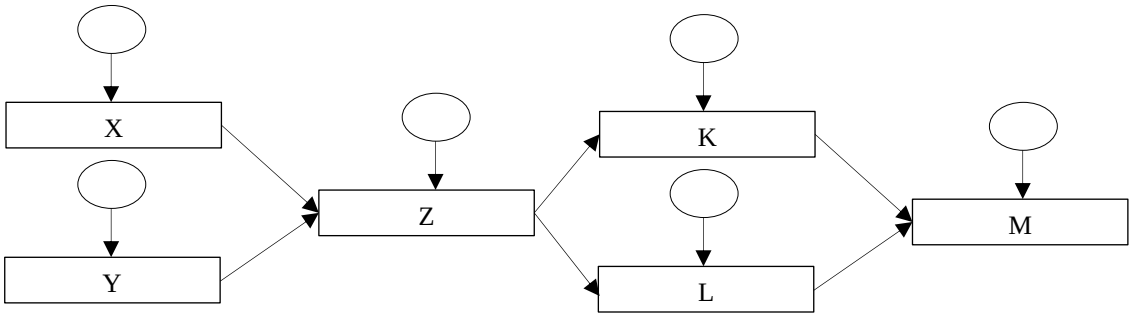
Şekil 7.4'de dört gizil değişken tanımlanmıştır. Bu örnekte belirtilmesi gereken ifadelerden birincisi dışsal (exogenous) ve içsel (endogenous) değişkenlerdir. Şekil 7.5'de bu değişkenler yol şeması üzerinde gösterimi verilmiştir.



Şekil 7.5. Dışsal ve içsel değişkenlerin yol şemasında gösterimi (Çokluk vd.'den, 2010)

Şekil 7.5'de sol tarafta kutu içine alınan değişkenler dışsal değişkenler, sağ tarafta kutu içine belirtilen değişkenler ise içsel değişkenlerdir. "bağımsız değişken" ifadesi dışsal değişkenler için, "bağımlı değişken" ifadesi de içsel değişkenler için kullanılmaktadır. Bir regresyon mantığı ile hareket edildiğinde, dışsal değişkenler her zaman temel yordalayıcı değişkenlerdir ve yol şemalarının sol tarafında belirtilirler. Aynı mantık içerisinde içsel değişkenler ise yordanan değişkenlerdir ve yol şemasında dışsal değişkenlerin sağ tarafında gösterilirler (Çokluk vd., 2010).

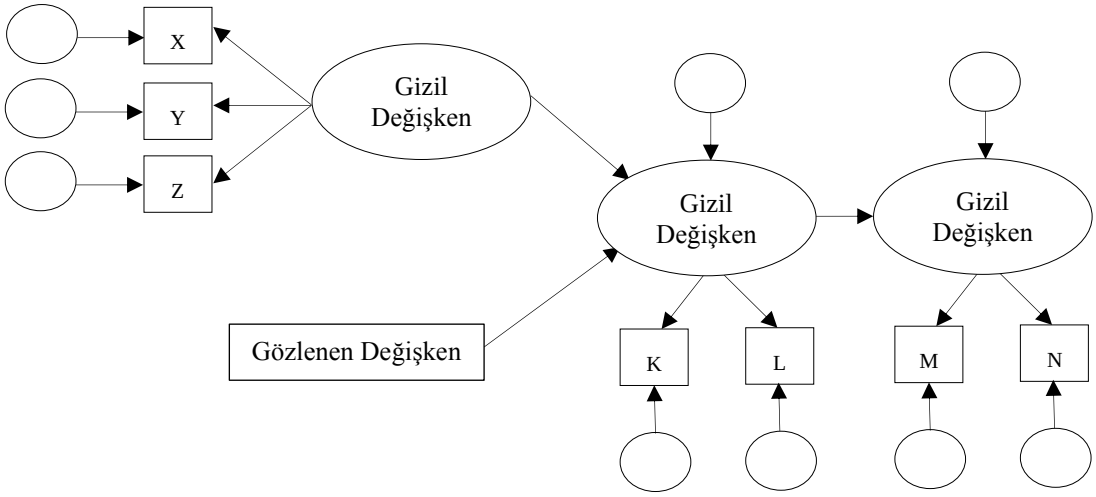
- Gözlenen değişkenlerle yol analizi: Bir modele ait bütün değişkenlerin gözlenen değişkenlerden oluşması durumu, yol modelinin gözlenen değişkenlerle kuruyor olduğunu ifade eder (Çokluk vd., 2010). Şekil 7.6'de gözlenen değişkenlerle kurulan yol analizi örneği verilmiştir.



Şekil 7.6. Gözlenen değişkenlerle yol analizi örneği (Çokluk vd.'den, 2010)

Gözlenen değişkenlerle yol analizi, gizil değişkenlerle yol analizinden daha basit fakat daha az avantaja sahip bir analiz şeklidir. Bu tür analizlerde gizil değişkenler tanımlanmadığı için değişkenlerdeki ölçüm hataları yordanamaz ve modelden elenemez. Böyle bir modelde, her bir değişkende açıklanan ve açıklanamayan varyans miktarları da analiz sonucunda belirlenir. Fakat buradaki içsel değişkenlerde açıklanan varyans miktarı ölçmeden kaynaklanacak hatalar sebebiyle daha az güvenilirdir (Meydan ve Şeşen, 2015).

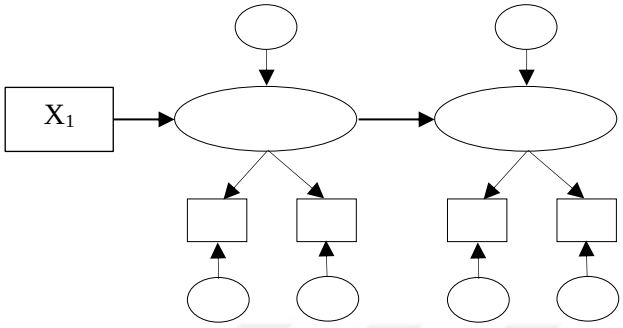
- Melez (Hibrid) yol analizi: Ölçüm modelleri ile yapısal modellerin birlikte olduğu bu modelde, çoklu içsel ve dışsal değişken olarak gizil ve gözlenen değişkenlerin her ikisi de bir arada kullanılabilir. Şekil 7.7'de melez yol analizi örneği verilmiştir.



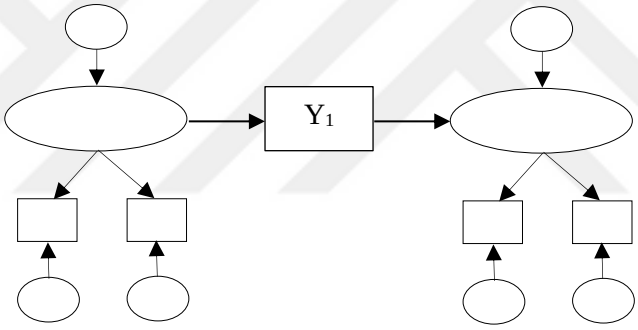
Şekil 7.7. Melez yol analizi örneği (Çokluk vd.'den, 2010)

Melez yol analizi doğrudan ve dolaylı nedensel etkiler ile ilgili hipotezlerin test edilmesine imkan tanır. Melez yol analizinde, tek bir modelde ölçüm modellerinin test

edilmesi oldukça kullanışlıdır. Melez yol modelleri gözlenen değişkenlerin dışsal ve içsel olarak tanımlanmasına göre ikiye ayrılır. Bu türlere ilişkin örnekler Şekil 7.8 ve Şekil 7.9'da verilmiştir.



Şekil 7.8. Tek göstergeli dışsal değişken (Çokluk vd.'den, 2010)

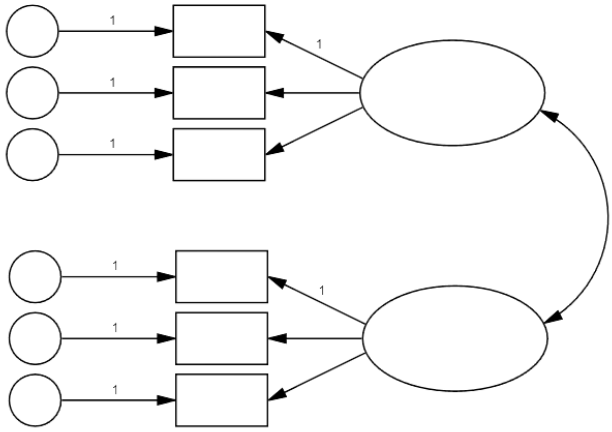


Şekil 7.9. Tek göstergeli içsel değişken (Çokluk vd.'den, 2010)

Oluşturulacak olan bir yol modelinde gözlenen değişken dışsal ya da içsel olabilir. Bu durum, pek çok araştırma için önemli düzeyde bir esneklik sağlar. Yapısal model türleri aşağıda açıklanmıştır. (Çokluk vd., 2010).

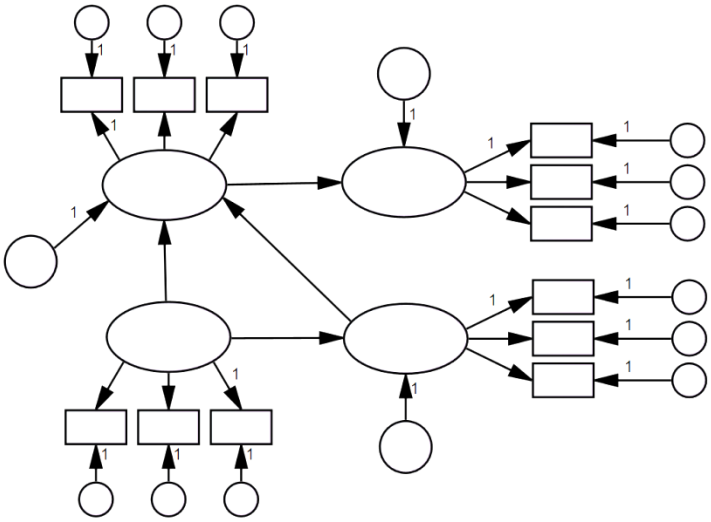
- Doğrulayıcı faktör analizi modelleri: Genel olarak gözlemlenen bazı değişkenlerin bir gizil değişkeni oluşturup oluşturmadığının ya da birçok gizil değişken arasında belirlenen ilişkilerin var olup olmadığının testi için bu tür modeller kullanılır. Modeldeki her bir gizil değişken, bir grup gözlemlenen değişken tarafından ölçülmektedir. Dolayısıyla doğrulayıcı faktör analizi modellerinde bir değişkenin diğerini etkilemesinden ziyade değişkenler arasındaki ilişki önemlidir. Bu sebeple gizil değişkenler arasındaki ok çift

yönlüdür. Şekil 7.10'da örnek bir doğrulayıcı faktör analizi modeli verilmiştir. Modelde iki gizil değişken ve bu değişkenleri ölçen üçer adet gözlemlenen değişken bulunmaktadır (Meydan ve Şeşen, 2015).



Şekil 7.10. Doğrulayıcı faktör analizi modeli (Meydan ve Şeşen'den, 2015)

- Yapısal regresyon modelleri: Yapısal regresyon modelleri aslında doğrulayıcı faktör analizi modellerine benzese de buradaki temel fark, gizil değişkenlerin de kendi aralarında çift yönlü ilişki yerine, yol analizi etkilerine (gizil regresyon etkilerine) sahip olmalarıdır. Bu tür modeller, aralarındaki etkileşim bilinmeyen gizil değişkenlerin ilişkilerini keşfedebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 7.11'de örnek bir yapısal regresyon modeli verilmiştir (Meydan ve Şeşen, 2015).



Şekil 7.11. Yapısal regresyon modeli örneği (Çokluk vd.'den, 2010)

7.4.2. Yol (Path) analizinde ilişki türleri

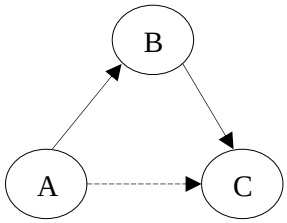
Geleneksel regresyon analizlerinde bir veya birden fazla yordayıcı değişkenin bir yordanan değişkeni ne ölçüde açıkladığı hakkında bilgiler elde edilmek istenmektedir. Yordanan değişkenden yordayıcı değişkene tanımlanan bu yol doğrudandır. Yordayıcı değişken ile yordanan değişken arasında aracı (mediator) değişken tanımlanabilmesi, yol analizlerinin en önemli avantajlarından birisidir. Yapısal eşitlik modellerinde gözlenen ve gizil değişkenler arasında üç şekilde ilişki bulunmaktadır (Schumacker ve Lomax, 2004):

- Yönsüz ilişki (nondirectional relation): Yönsüz ilişkide bir model içerisinde bir değişkenden diğerine herhangi bir yön tanımlanmamaktadır. Korelasyon analizler ile hesaplanan ilişkiler bu ilişki türüne örnek verilebilir.

- Doğrudan etki (direct effect): Doğrudan etki, bir modelde yer alan bağımsız bir değişkenden bağımlı bir değişkene uzanan tek yönlü ilişkidir (Şekil 7.12).

Şekil 7.12. Doğrudan etki (Çokluk vd.'den, 2010)

- Dolaylı etki (indirect effect): Dolaylı etkinin bulunduğu bir modelde bir bağımsız değişkenin bir bağımlı değişkene olan etkisi, bir veya daha fazla aracı (mediating) değişkenle belirtilmektedir. Dolayısıyla basit bir dolaylı etkide aslında iki doğrudan etki bulunur. Şekil 7.13'de A'dan B'ye doğrudan bir etkinin ve B'den C'ye de doğrudan bir etkinin olduğu düşünüldüğünde dolayısıyla A'nın C üzerinde B aracılığıyla dolaylı bir etkisi var olduğu sonucu elde edilir.



Şekil 7.13. Dolaylı etki (Çokluk vd.'den, 2010)

7.5. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Varsayımları

Her istatistiksel yöntemde olduğu gibi YEM'de de tutarlı tahminler yapılabilmesi için belli varsayımların sağlanması gerekmektedir. Bu varsayımlar veri ile tahmin yönteminin varsayımlarının birleşimidir. YEM'in temel varsayımları, çok değişkenli normallik ve örneklem hacmi varsayımlarıdır.

7.5.1. Normallik varsayımı

Yapısal eşitlik modellerinin sıradan kullanımlarının altında yatan temel bir varsayım, gözlemlerin sürekli ve çok değişkenli normallik varsayımlarını sağlayan bir kümeden geliyor olmasıdır. Bu varsayım özellikle en çok olabilirlik tahmin yöntemi için önemlidir. Çünkü en çok olabilirlik tahmin yöntemi çok değişkenli normal dağılımdan türetilmiştir. Verinin süreklilik ve çok değişkenli normal dağılım özellikleri göstermesi durumunda, en çok olabilirlik tahmin yöntemi ile elde edilen tahminler normal, yansız ve etkin özellikler gösterir (Tabachnick ve Fidell, 2015). Bu varsayımın ihlalinde ise dağılımdan bağımsız veya ağırlıklı yöntemler [(Ağırlıklandırılmış en küçük kareler (WLS)] ve genelleştirilmiş en küçük kareler (GLS) gibi yöntemler önerilmektedir. Normalize çok değişkenli basıklık değeri 8'den büyük ise veri setinin çok değişkenli normal dağılıma uymadığı, 10'dan büyük ise bir sorun olduğu, 20'den büyük ise ciddi bir sorun olduğu düşünülmektedir (Varol, 2014).

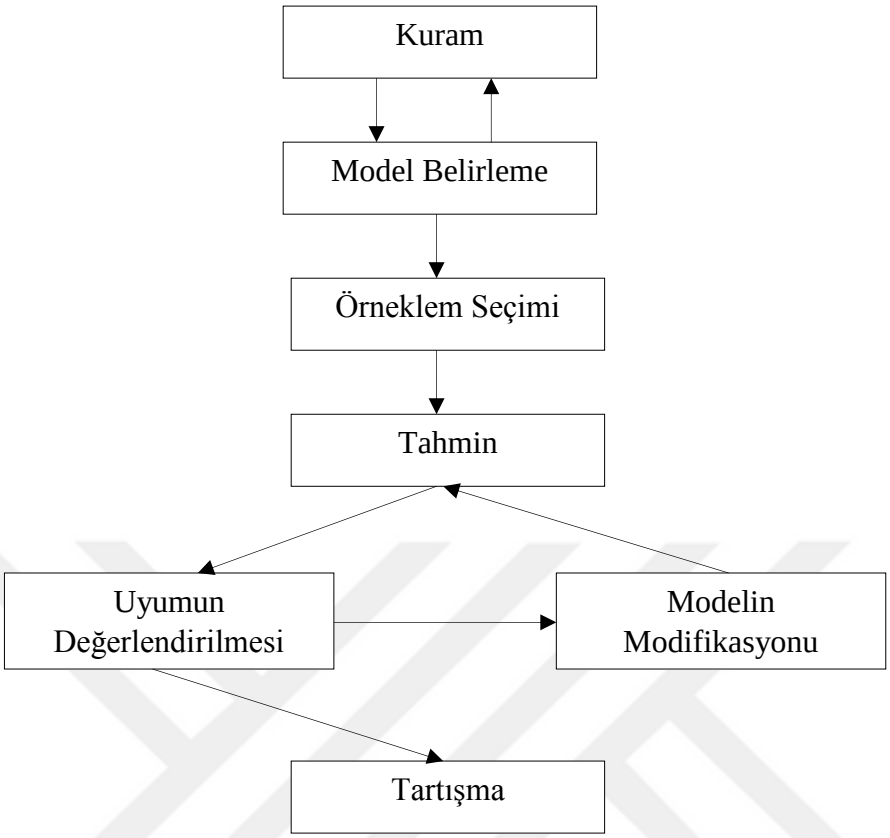
7.5.2. Örneklem büyüklüğü varsayımı

YEM tahminlerinde ve sonuçlarının yorumlanmasında örnek büyüklüğü önemli rol oynamaktadır. Literatürde örneklem hacminin belirlenmesine yönelik çeşitli pratik kurallar bulunmaktadır. Örneklem hacmi, değişkenlerin sayısından en az 8 kat daha fazla olmalıdır. Ölçülen değişkenlerin her biri veya gösterge değişkeni en az 15 birime sahip olmalıdır. Örneğin, 10 tane gösterge değişken için en az 150 örneklem hacmine ihtiyaç duyulmaktadır. Asimptotik kovaryans matrisini hesaplayabilmek için p: gözlenen değişken sayısı olmak üzere p(p+1)/2 gözleme ihtiyaç duyulmaktadır (Bayram, 2010). Yapısal eşitlik modeli için gerekli örnek hacmi, maksimum olasılık tahmini kullanılması durumunda en az 50 olmalıdır, fakat bu çok küçük bir değerdir. Bu değer arttıkça

maksimum olasılık veriler arasındaki farkın tespit edilebilmesi duyarlılığı yükselmektedir. Bu değer 500'e doğru yükseltildikçe, maksimum olasılık tahmin metodu çok daha duyarlı hale gelmektedir (Hair vd., 2010).

7.6. Yapısal Modelin Oluşturulması

Değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerinin geçerliliğini test etmek amacıyla yapısal eşitlik modelleri kullanılmaktadır. Bir modelin oluşturulması aşamasında değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerini tanımlayan bir model ortaya konur. Değişkenler arasındaki ilişkilerin oluşturulurken korelasyon analizi ve faktör analizi sonuçlarından yararlanılmaktadır (Meydan ve Şeşen, 2015). Geleneksel yapısal eşitlik modelleme süreci Şekil 7.14'de verilmiştir.



Şekil 7.14. Yapısal eşitlik modellemesinde süreç akışı (Çokluk vd.'den, 2010).

Şekil 7.14'deki akış şeması incelendiğinde, öncelikle kuramsal yapının oluşturulması gerekir. Bir yol diyagramında gösterilen yapısal eşitlikler, teorinin birebir sunumu olarak belirtilir. Daha sonra bir örneklem seçilerek bu örneklemden ölçümler alınır. Modele ilişkin parametrelerin tahmini gerçekleştirilir ve önce ölçüm modelleri test edilir. Daha sonra modelin uyum iyiliği değerlendirilir ve eğer model iyi uyum sağlanmıyorsa modelin modifikasyonu veya modifikasyonları gerçekleştirilir. Tipik olarak bu aşama döngüseldir, yani yeterli bir uyum ölçütleri sağlanıncaya kadar modelde sürekli olarak iyileştirmeler yapılır. Bu ölçütlerin sağlanmasında çoğunlukla birden fazla uyum iyiliği indeksinden faydalanılır. Süreç, elde edilen sonuçların tartışılması ile sona erdirilir (Çokluk vd., 2010).

7.6.1. Modelin belirlenmesi

YEM'in ilk adımında modelin tanımlanması teoriden hareketle gerçekleştirilir. Değişkenler arası karmaşık ilişkilerin tanımlanması modelleme sürecinde YEM'in temel adımının çıkış noktası olarak kabul edilmektedir. Bu süreç YEM'in en zor aşaması olarak ifade edilir. Çünkü model belirlemenin temelinde konuya ait teori yatmaktadır ve model oluşturulmadan önce teorinin ayrıntılı olarak değerlendirilmesi gerektirmektedir.

Model tanımlama aşamasında modeldeki bütün değişkenler doğrusal kabul edilmiştir. YEM'de model kurma süreci model değişkenlerine ait tüm parametrelerin tanımlanması olarak ifade edilmektedir. Model parametrelerinin tanımlanması ise modelde yer alacak tüm değişken ve ilişkilerin (korelasyonel ve regresif) belirlenmesi anlamına gelmektedir (Meydan ve Şeşen, 2015).

Herhangi bir yapısal eşitlik modelini tanımlayabilmek için gösterge sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Çok sayıda gösterge kullanmak, tek bir gösterge (madde) ile yapının ölçülmesi sorunun çözümünü gerçekleştirebilmek için yapılacak tek yoldur. Bir ölçümler dizisi, tek bir göstergeden çok daha güvenilir olma meyilindedir. Çok sayıda gösterge kullanarak aynı zamanda bir dereceye kadar yapının farklı boyutlarının belirlenmesini sağlanabilir. YEM'de kaç adet gösterge kullanılması gerektiği ile ilgili belirli bir standart mevcut değildir. Bu durumda, tek faktörlü bir model için en az üç gösterge olması, asgari bir şart olarak kabul edilebilir. Modelde iki ya da daha fazla faktör bulunması durumunda faktör başına en az iki göstergenin olması gerekmektedir (Çokluk vd., 2010).

7.6.2. Model tahmini

Model belirlendikten sonra gözlenen ve kestirilmiş evren kovaryans matrisleri arasındaki farkı en aza indirmek hedefiyle evren parametreleri kestirilir. Bu hedefe ulaşmak için Q fonksiyonu minimize edilir:

$$Q = (s - \sigma(\Theta))'W(s - \sigma(\Theta)) \qquad 7.1$$

Denklem 7.1'de s, verinin vektörü; σ, kestirilmiş evren kovaryans matrisinin vektörünü ifade etmektedir. Θ, σ'nın modelin parametrelerinden (regresyon katsayıları, varyanslar ve kovaryanslar) elde edildiğini gösterir. W, örneklem ile kestirilmiş evren kovaryans matrisi arasındaki kare farklarını yükleyen matristir (Tabachnick ve Fidell, 2015). YEM'de parametrelerin tahminleri için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Çıkarım tekniklerinden hangisi kullanılırsa kullanılsın, YEM kapsamında hesaplama genellikle birbirine benzemektedir. YEM'in amacı modele ait tahmini kovaryans matrisi ile gerçek verilere ait kovaryans matrisi arasındaki farkın minimize edilmesidir. Bu işlemler esnasında yineleme mantığı bulunmaktadır. Her yinelemede fark azalır. Fakat birkaç yineleme sonrasında bu farktaki azalma yok denecek duruma gelir (Tezcan, 2008). En çok olabilirlik (Maximum Likelihood-ML), genelleştirilmiş en küçük kareler (Generalized Least Squares-GLS), ağırlıklandırılmamış en küçük kareler (Unweighted Least Squares-ULS) ve ağırlıklandırılmış en küçük kareler (Asymptotically distribution free-ADF) tahmin yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır (Çelik ve Yılmaz, 2016):

- En çok olabilirlik yöntemi (Maximum Likelihood-ML): ML metodu, yapısal eşitlik modeli alanında en sık kullanılan tahmin yöntemidir. ML, parametre tahminlerini üretirken gözlenen kovaryans matrisi (yani örneklemden elde edilen bilgi) ile teorik modelin hipotezleri doğrultusunda üretilen tahmini kovaryans matrisinin (modelin gösterdiği parametre değerleri) benzer olması varsayımından haretketle bu benzerliği maksimize edecek şekilde parametre değerlerini üretir. Böylece üretilen tahminlerin örneklemden elde edilen bilgiyi yansıtması olasılığı (en çok olabilirlik) maksimize edilmiş olur. ML yöntemi hakkında bilinmesi gereken en önemli şey, eğer bu tahmin yöntemini kullanacaksak modeldeki gözlenen değişkenlerin çok değişkenli normallik varsayımını sağlaması gerektiğidir.
- Genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi (Generalized least squares, GLS): GLS yöntemi, ML'nin uygulanamadığı, çok değişkenli normallik varsayımının ihlal edildiği durumlarda en sık kullanılan tahmin yöntemidir. Ancak en önemli sınırlılığı oldukça büyük örneklem hacimleri (n>2500) gerektirmesidir. GLS, gözlenen kovaryans matrisi ile tahmin edilen kovaryans arasındaki toplam farkı minimize edecek şekilde parametre tahminlerini üretir. Bunu yaparken de ML

yöntemine göre daha az hesaplama yaptığından ML'ye göre daha hızlı çalışır ve yakınsama problemlerine daha az yakalanır.

- Ağırlıklandırılmamış en küçük kareler yöntemi (Unweighted least squares, ULS): Özellikle ordinal veriler için kullanılan "tetrachoric" ve "polychoric" korelasyon matrisleri, yapıları gereği negatif tanımlı olabilirler ve negatif öz değerlere sahip olabilirler. Yapısal eşitlik modeli çözümlemeleri de ilişki matrisi (kovaryans-korelasyon) tabanlı çözümlemeler olduğundan bu matrislerin negatif tanımlı olmaları, ML ve GLS için parametre tahminlerinin yapılmamasına sebep olmaktadır. İşte bu negatif öz değerleri kontrol altına alan ULS bu sorunu aşmaktadır. Ancak bu yöntem bir ki kare değeri üretemez. Dolayısı ile istatistiksel bir anlamlılık sınaması yapamaz.
- Asimptotik olarak örneklemden bağımsız tahmin yöntemi (Asymptotically distribution free-ADF): ML yönteminin gerektirdiği çok değişkenli normallik varsayımının ihlal edildiği durumlarda herhangi bir dağılım bilgisi ya da varsayımı gerektirmeyen ADF yöntemi tercih edilebilir. ADF kovaryans ya da korelasyon gibi bir ilişki matrisini kullanarak değil, ham veriyi, yani satır ve sütunlar halinde ifade edilmiş veriyi kullanarak parametre tahminlerini üretir. Bu hacim basit modeller için 200-500 satır veri iken daha karmaşık modellerde artmaktadır.

7.6.3. Model uyumunun değerlendirilmesi

Yapısal eşitlik model testleri, tahmin edilmeye çalışılan modelin, o modele ilişkin toplanmış olan veriler için ne derecede uygun olduğuna dair değerlendirme ölçütleri, başka bir ifadeyle uyum indeksleri sunar. Bir modelin veri ile uyumlu olup olmadığı, test sonucu ortaya konulan çeşitli uyum indekslerinden yararlanılarak gerçekleştirilir. YEM'de kullanılan paket programlar bazı benzer uyum iyiliği indeksleri hesaplasalar da birçoğu da farklı indeksi hesaplamaktadırlar. YEM'de sık kullanılan uyum indeksleri aşağıda açıklanmıştır.

a. Genel model uyumuna ilişkin indeksler:

- Ki-kare uyum indeksi (Chi-Square goodness of fit, χ^2): Ki-kare testi, geliştirilen model ile gözlem değişkenlerine ait kovaryans yapısında ortaya çıkan modelin farklı olup olmadığı hipotezini test etmektedir (Meydan ve Şeşen, 2015). Eğer veri ile model arasında uyum mükemmel ise elde edilen değerin sıfıra yakın olması ve *p* anlamlılık değerinin manidar olmaması gerekir. Dolayısıyla geleneksel anlamlılık testinin tersine χ^2 testinde manidar olmayan bir *p* değeri elde edilmek istenir. Bu sebeple elde edilen büyük χ^2 değerleri, uyumun ne kadar kötü olduğunu ifade eder. χ^2 testine bir diğer ifade ile *kötülük uyumu testi* de denebilir.
- Yaklaşık hataların ortalama karekökü (Root mean square error of approximation, *RMSA*): Merkezi olmayan χ^2 dağılımında, popülasyon kovaryanslarını kestirmek için kullanılan bir indekstir. Bu indeks 0 ile 1 arasında değer almaktadır.
- Artık ortalamaların karekökü (Root mean square residual, *RMR*) ve Standardize edilmiş artık ortalamaların karekökü (Standardized root mean square residual, *SRMR*): RMR ve SRMR, evrene ait kestirimsel kovaryans matrisi ile örnekleme ait kovaryans matrisleri arasındaki artık kovaryans ortalamalarıdır. RMR ve SRMR değerleri 0 ile 1 arasında değişir ve değerin 0'a eşit olması mükemmel uyuma işaret eder (Çokluk vd., 2010).

b. Model karşılaştırmalarını temel alan indeksler:

- Normlaştırılmış Uyum İndeksi (Normed fit index, *NFI*) ve Normlaştırılmamış uyum indeksi (Non-normed fit index, *NNFI*): NFI, test edilen bir modelin χ^2 değerinin, bağımsız modelin χ^2 değerine bölünmesiyle bulunur. Fakat indeksin özellikle çapraz tahminleme ve küçük örneklem büyüklüğünde kararsız olduğu bilinmektedir. Bu sebeple küçük örneklem büyüklüklerinde iyi uyum gösteren bir modelin reddedilmesine neden olabilir (Meydan ve Şeşen, 2015). Bu durumda

NFI, serbestlik derecesi de hesaba katılarak yeniden hesaplanır ve bu değer NNFI olarak adlandırılır. Çok küçük örneklemlerde NNFI, diğer uyum indekslerinden daha zayıf bir uyum indeksi verebilir. NFI ve NNFI değerleri 0 ile 1 arasında değişir. Değerin 1'e yaklaşması mükemmel uyuma, 0'a yaklaşması ise model uyumsuzluğuna karşılık gelir (Çokluk vd., 2010).

- Karşılaştırmalı uyum indeksi (Comparative fit index, *CFI*): Bu indeks, modelin uyumunu ya da yeterliliğini genellikle bağımsızlık modeli ya da yokluk modeli (null) olarak adlandırılan ve değişkenler arasında hiçbir ilişkinin olmadığını varsayan temel bir modelle karşılaştırarak verir. Bağımsızlık modelinin (gizil değişkenler arasında ilişkinin olmadığını öngören model) ürettiği kovaryans matrisi ile önerilen yapısal eşitlik modelinin ürettiği kovaryans matrisini karşılaştırır. CFI, örneklem büyüklüğünü de hesaba dahil etmesinden dolayı, örneklemin küçük olduğu durumlarda da oldukça iyi çalışan bir indekstir. 0 ile 1 arasında bir değer verir.
- İyilik uyum indeksi (Goodness of fit index, *GFI*): χ^2'ye alternatif olarak model uyumunun örneklem büyüklüğünden bağımsız olarak değerlendirilebilmesi için geliştirilmiştir. GFI, modelin örneklemdeki kovaryans matrisini ne oranda ölçtüğünü gösterir ve modelin açıklandığı örneklem varyansı olarak da kabul edilir (Çokluk vd., 2010).
- Düzeltilmiş iyilik indeksi (Adjusted goodness of fit index, A*GFI*): Parametre tahminlerinin sayısı için GFI'nın düzenlenmiş bir türüdür. Örneklem büyüklüğüne çok duyarlı olduğu için büyük örneklemlerde daha uygun değerler verir (Çokluk vd., 2010). Daha fazla parametreyi serbest bırakarak, daha az kısıtlanmış bir modelde serbestlik derecesini gösteren rakamda yapılan düzeltmeye dayanır.
- Artırmalı uyum indeksi (Incremental fit index, *IFI*): NNFI'daki geniş değişkenliğin yarattığı problemlere çözüm bulabilmek amacıyla ortaya konulmuştur. NNFI'den tek farkı, indeksin hesaplanmasında serbestlik derecesinin hesaba katılmamasıdır (Meydan ve Şeşen, 2015).

YEM uyum indeksleri farklı teorik gerekçeler ile geliştirildiği için, birçok açıdan farklılık sergileyebilmektedir. Uyum indekslerinin bu çok yönlü doğası sadece uyum indeksleri arasında bir kıyaslama yapmayı zorlaştırmakla kalmaz aynı zamanda bu tüm adı geçen indeksler arasından tek bir mükemmel indeks seçmeyi de neredeyse imkansız kılar (Varol, 2014). YEM modellerinin raporlanmasında hangi uyum indekslerinin raporlanacağı kesin olarak belli olan bir konu değildir. Bu çoğunlukla araştırmacının amacına bağlıdır. Ancak yine de her çalışmada χ^2, serbestlik derecesi ve iyilik uyum indeksi (GFI) değerleri mutlaka verilmekte, amaca uygun olarak da diğer indekslerden bir-iki tanesinin sonucu ifade edilmektedir (Meydan ve Şeşen, 2015). CFI ve RMSA en sık rapor edilen uyum indeksleridir (Tabachnick ve Fidell, 2015). YEM araştırmalarında, χ^2/sd'nin rapor edilmesi konusunda araştırmacılar arasında bir görüş birliği olmasına rağmen, diğer uyum indekslerinden hangilerinin rapor edilmesi gerektiği konusunda farklı araştırmacılar tarafından farklı öneriler sunulmaktadır. McDonald ve Moon-Ho (2002); CFI, GFI, NFI ve NNFI (TLI), Garver ve Mentzer (1999); RMSEA, CFI ve NNFI (TLI), Brown (2006); RMSEA, SRMR, CFI ve NNFI (TLI), Iacobucci (2010); CFI ve SRMR uyum indekslerinin rapor edilmesini önermektedir. Gerbing ve Anderson (1992) ise, araştırmacının amacına bağlı olarak farklı uyum indekslerinin rapor edilebileceğini belirtmektedir. Yapısal eşitlik modelinde uyum indekslerinin kabul edilebilir sınırları Çizelge 7.4'de verilmiştir.

Çizelge 7.4. Model uyum indekslerinin kısıtları (Çelik ve Yılmaz, 2016)

Uyum Ölçüsü	İyi Uyum	Kabul Edilebilir Uyum
χ^2	$0 \leq \chi^2 \leq 2sd$	$2sd \leq \chi^2 \leq 3sd$
p değeri	$0.05 \leq p \leq 1.00$	$0.01 \leq p \leq 0.05$
χ^2/sd	$0 \leq \chi^2/sd \leq 2$	$2 \leq \chi^2/sd \leq 3$
RMSEA	$0 \leq RMSA \leq 0.05$	$0.05 \leq RMSA \leq 0.08$
SRMR	$0 \leq SRMR \leq 0.05$	$0.05 \leq SRMR \leq 0.10$
NFI	$0.95 \leq NFI \leq 1.00$	$0.90 \leq NFI \leq 0.95$
NNFI	$0.97 \leq NNFI \leq 1.00$	$0.95 \leq NNFI \leq 0.97$
CFI	$0.97 \leq CFI \leq 1.00$	$0.95 \leq CFI \leq 0.97$
GFI	$0.95 \leq GFI \leq 1.00$	$0.90 \leq GFI \leq 0.95$
AGFI	$0.90 \leq AGFI \leq 1.00$	$0.85 \leq AGFI \leq 0.90$
	GFI'ya yakın	GFI'ya yakın
AIC	Karşılaştırılan model için AIC'ten daha küçük	
CAIC	Karşılaştırılan model için CAIC'ten daha küçük	
ECVI	Karşılaştırılan model için ECVI'den daha küçük	

7.6.4. Modelin modifikasyonu

Bir yapısal eşitlik modelinde, uyum indekslerinin kabul seviyelerini karşılamaması durumunda, modelde modifikasyonlar yapılması (alternatif model ya da modeller oluşturulması) gerekebilir (Çokluk vd., 2010). Bu durumda modifikasyon indeksleri (MI) yapısal modelin iyileştirilmesi konusunda yol gösterirler. MI, gözlenen değişkenler ile gizil değişkenler arasındaki kovaryansa bakarak araştırmacılara modele yönelik modifikasyonlar önerir. Bu modifikasyonlar hata terimleri temelinde oluşturulur ve modelde orijinal olarak öngörülemeyen, fakat ilgili düzenlemenin yapılmasıyla modelde kazanılacak ki-kare miktarını gösterir (Meydan ve Şeşen, 2015). Modifikasyonlar, gözlenen ya da gizil değişkenler arasında önerilen yeni etkileşimlerden, bu değişkenler arasında eklenmesi önerilen hata kovaryanslarına kadar birçok parametreyi kapsar. Ancak, modifikasyon indekslerinin kullanılması sürecinde çok dikkatli olunması gerekmektedir.

Bu indekslerin tek başlarına modeli daha da geliştirmek ya da uyum indekslerini artırmak için bir rehber olarak kullanıldığı durumlar, yapısal eşitlik modelinin temel amaçlarına aykırıdır. Yapılacak her türlü modifikasyon veya iyileştirme mutlaka kuramsal bir gerekçeye, kabul edilebilir bir kavramsal mantığa dayalı olarak gerçekleştirilmelidir. Özellikle modifikasyon indeksleri tarafından önerilen bir değişiklik, modelin ki-kare değerinde çok büyük bir düşmeye karşılık geliyorsa bu önerilen modifikasyonun model açısından çok önemli bir değişiklik olduğunu ifade eder (Çokluk vd., 2010).

Modifikasyonların yapılmasının ardından gerçekleştirilecek işlem, modelin yeniden test edilmesidir. Testin tekrarlanması sonucunda uygun uyum indeksleri elde edilirse model kabul edilecektir. Aksi durumda, yapılabiliyorsa tekrar bir modifikasyon yapılabilir. Yeni bir modifikasyon yapılamayana kadar bu işleme devam edilir ve sonuçta elde edilen uyum indekslerine göre model kabul edilir veya reddedilir (Meydan ve Şeşen, 2015).

7.7. Yapısal Eşitlik Modellemesinde Kullanılan Paket Programlar

YEM'in model tahmini ve uyumunun değerlendirilmesindeki karmaşık matematiksel işlemler sebebiyle hazır yazılım kullanımı zorunluluk haline gelmiştir. Günümüzde veri yapılarına YEM analizi uygulamasının gerçekleştirilebilmesi için birçok paket program geliştirilmiştir. Bu programlardan bazıları; AMOS (Analysis of moment structures), LISREL (Linear structural relations), EQS (Equations of structure), Mx PLUS, SAS/CALIS/TCALIS (Statistical analysis system)'dir. Bunlardan sıklıkla kullanılanlar ise AMOS ve LISREL'dir. Aşağıda bu programlar hakkında bilgi verilmiştir.

7.7.1. AMOS (Analysis of moment structures)

AMOS programı ilk olarak 1994 yılında Jim Arbuckle tarafından geliştirilmiştir. Adını, "Analysis of Moment Structures" sözcüklerinin kısaltılmasından almaktadır. AMOS kovaryans yapı analizi için grafiksel tabanlı bir programdır. Eksik veri olması durumunda model tahmini yapma, birden fazla modeli karşılaştırabilme, bootstrapping (standart hataların tahmini) ve Monte-Carlo analizleri gerçekleştirme gibi özelliklere sahiptir (Varol, 2014).

AMOS programı özellikle grafiklerle çalışmayı seven kullanıcılar için oldukça güçlü bir altyapıya sahiptir. Faktör analiz ya da yapısal eşitlik modelleri kurmak isteyen kullanıcılar, AMOS'un sağladığı grafik temelli kullanıcı ara yüzüyle çok kolay işlem gerçekleştirebilirler. Dolayısıyla, AMOS oldukça kullanıcı dostu bir programdır. Bunun yanı sıra, programın hem grafiksel gösterimi hem de metin temelli yapıyı aynı anda kullanması, kullanıcının programı kolaylıkla anlamasını ve istediği yapısal eşitlik modellerini hızlıca tasarlayabilmesini sağlamaktadır. Bu kapsamda, modeller grafik üzerinde çizilirken, modelin test sonuçları hem grafik üzerinde gösterilmekte, hem de metin dosyası şeklinde ayrıntılı olarak raporlanmaktadır. Programın bu yapısı, test edilen modellerin kolaylıkla anlaşılmasını ve sonuçların yorumlanabilmesini sağlamaktadır (Meydan ve Şeşen, 2015). Şekil 7.15'de AMOS programının ekran görüntüsü verilmiştir.

Şekil 7.15. AMOS programı ekran görüntüsü

Birden fazla bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkilerin ölçülmesi ve bu ilişkiler arasındaki ağın görsel olarak ifade edilmesi, iki değişken arasındaki ilişkiye başka bir değişken eklendiğinde, bu değişkenin aracı etkisinin olup olmadığının araştırılması (aracılık etkisi) AMOS programının genel kullanım amaçlarını oluşturmaktadır. Ayrıca, normallik testi, doğrulayıcı faktör analizi, iki veya daha fazla grup verilerinin tek bir yapısal modele göre analiz sonuçlarının karşılaştırılması (çoklu grup analizi), bağımlı-bağımsız değişken çifti arasındaki ilişkinin başka bir bağımsız değişken tarafından etkilendiği durumun analizi (farklılaştırıcılık etkisi), model modifikasyonu gibi işlemlerin uygulanmasına olanak sağlar. Temel istatistiksel analiz programları arasında yer alan SPSS programı ile tamamen uyumlu bir şekilde çalışabilmektedir.

7.7.2. LISREL (Linear structural relations)

LInear Structural RELations isminin kısaltması olan LISREL, temellerini yapısal veri sistemlerini temsil etmede kullanılan Jöreskog-Keesling Wiley yaklaşımından alır. Bu sebeple programın komut dili, büyük çoğunluğu Yunan harflerinden oluşan matris cebrinin istatistiksel diline dayanır. LISREL programının temelinde, kovaryans yapılarının analizine dayanan bir tam gizil değişken modeli, en fazla sekiz matris ve dört vektör ile tanımlanabilir; ortalama yapılarının analizi ayrıca dört matris içerir (Varol, 2014).

LISREL hazır yazılımın programlama dili türleri; LISREL, SIMPLIS ve PRELIS'tir. LISREL'de iki tür veri kullanılarak analizler gerçekleştirilebilir. Bunlardan birincisi ham veri seti diğeri ise kovaryans ve korelasyon katsayıları matrisidir. LISREL hazır yazılımı PRELIS ara yüzü ile LISREL (matris komut dili) veya SIMPLIS (değişken sözdizimini daha kolay kullanmak) programlarından önce veri programı ön işlemcisidir (Çelik ve Yılmaz, 2016).

7.8. Yapısal Eşitlik Modellemesinde Tanımlama

Modele ilişkin tanımlama koşulları yapısal eşitlik modellerinde çok önemli bir kavramdır. Çünkü bu kavrama göre modelde elde edilen parametre tahmin değerleri değerlendirilir. YEM'de tanımlama basit olarak, eldeki bilgi miktarı ile tahmin edilmek istenen bilgi miktarı arasındaki kavramsal ilişki olarak açıklanabilir. Modellerde üç çeşit tanımlama durumundan bahsedilir. Bu tanımlamalar aşağıda açıklanmıştır.

- Eksik tanımlama: Bir modelin eksik tanımlanmış olması, modeldeki tahmin edilmek istenen bilgi miktarının eldeki bilgi miktarından fazla olduğu durumda ortaya çıkar. Bu durumda serbestlik derecesi negatif çıkacak ve modelde parametrelere ilişkin tahminler yapılamayacaktır.
- Tam tanımlama: Modeldeki tahmin edilmek istenen bilgi miktarının eldeki bilgi miktarına eşit olduğu durumdur. Yani elimizde 3 birim bilgi varken 3 birim tahmin yapmak istiyorsak elde yeterli bilgi olacağı için parametre tahminlerini yapabiliriz. Bu durumda da modelimizin serbestlik derecesi sıfır olacaktır.

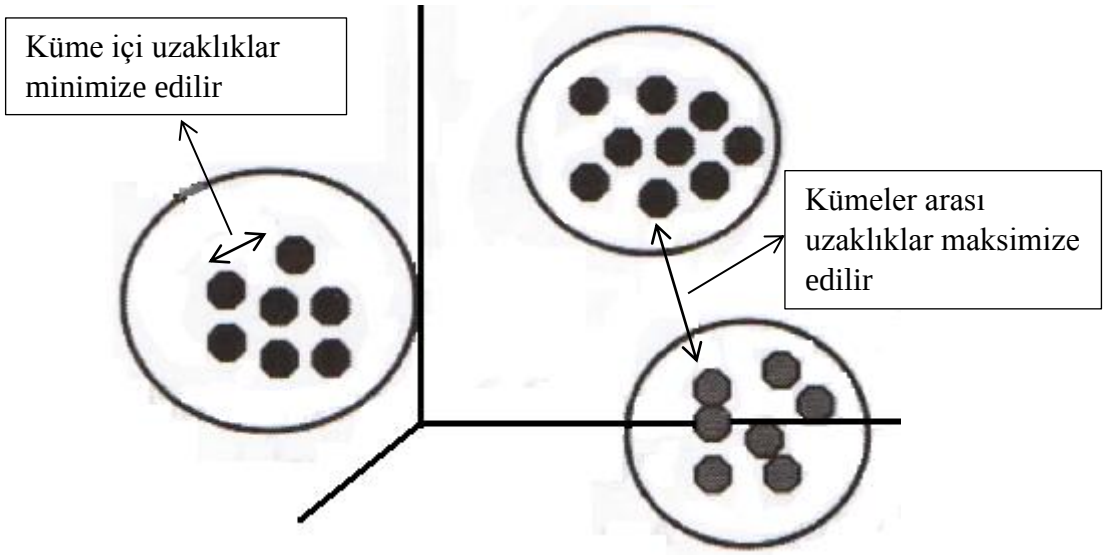
Serbestlik derecesi sıfır olan modeller mükemmel uyum değerleri üretirler (Raykov ve Marcoulides, 2006)

- Aşırı tanımlanmış model: Gözlenen değişkenlerin sayısının gizil değişkenlerden fazla olduğu ve tüm bileşenlerin tanımlı olduğu modeller aşırı tanımlı modellerdir (Schumacker ve Lomax, 2010).

8. KÜMELEME ANALİZİ

8.1. Kümeleme Analizinin Tanımı ve Amacı

Kümeleme Analizi, veri tabanlarındaki verilerin gruplar ya da kümeler altında toplanarak, benzer özelliklere sahip nesnelerin bir araya gelmesini sağlayan bir tekniktir. Temel amacı nesneleri (birimleri) sahip oldukları karakteristik özelliklerini dikkate alarak gruplandırmak olan çok değişkenli bir istatistiksel yöntemdir. Kümeleme Analizi, kullanılan değişkenleri küme içerisinde çok benzer biçimde, kümeler arasında farklı olacak şekilde kümeler (Pektaş, 2013). Kümeleme Analizi, seçilen özellikler bakımından birbirlerine diğerlerinden daha çok benzeyen bireyleri ya da nesneleri bir küme altında toplar. Böylece küme içi homojenlikler, kümeler arası ise heterojenlikler maksimum olur. Eğer yapılan kümeleme işlemi başarılı ise, geometrik gösterimde küme içinde yer alan nesneler birbirine yakın iken, başka kümelerde yer alan nesneler birbirinden uzakta olacaklardır (Şekil 8.1).



Şekil 8.1. Kümeleme analizi (Pektaş, 2013)

Kümeleme Analizi, X veri matrisinde yer alan ve doğal gruplamaları kesin olarak bilinmeyen nesneleri, faktörleri ya da birim ve değişkenleri birbirleri ile benzer olan alt kümelere, gruplara, sınıflara ayırmaya yardımcı olan bir yöntemdir. Veri anlamlı, yararlı

veya hem anlamlı hem de yararlı gruplara ayrılır. Eğer amaç anlamlı gruplar oluşturmak ise, bu durumda kümeler verinin doğal yapısını yakalamalıdır. Kümeleme analizleri çok sayıda değişik işlevi yerine getiren yöntemler topluluğudur. Bu nedenle farklı amaçlar için farklı kümeleme yöntemleri uygulanır (Pektaş, 2013).

Kümeleme Analizi, çok farklı özelliklere sahip verileri analiz etmek amacıyla kullanılan oldukça yararlı bir tekniktir. Kümeleme Analizinin asıl amacı, araştırma sonucunda elde edilen gözlemlerin benzerliklerini temel alarak onları iki ya da daha fazla gruplar halinde bölümlemektir. Kümeleme Analizi, sınıflandırma işlemini objektif bir şekilde geliştirmede sıklıkla kullanılmaktadır. Kümeleme Analizi sonucunda elde edilen bölümler, birimlerin yapılarına bağlı olarak varsayımlar oluşturmasını sağlayabilirler (Schumacker ve Lomax, 2010). Kümeleme Analizi dört temel hedefe ulaşmada yararlı olmaktadır:

- Bir sınıflandırma geliştirmek,
- Nesneleri gruplandırma amacıyla kavramsal sınıflama cetvelleri geliştirmek,
- Veri keşfi yoluyla hipotez üretmek,
- Hipotez testi yapmak ya da bir veri setinde başka yöntemlerle yapılmış olan sınıflandırmaların varlığını tespit etmek

Kümeleme Analizinin kullanım amaçları aşağıda özetlenmiştir:

- n sayıda nesneyi p sayıda değişkene ilişkin özelliklerine göre, kendi içinde mümkün olduğunca homojen ve kendi aralarında heterojen alt kümelere ayırmak,
- p sayıda değişkeni, n sayıda bireyde saptanan değerlere göre ortak özellikleri açıkladığı varsayılan alt kümelere ayırmak ve ortak faktör yapıları ortaya koymak,
- Hem bireyleri, hem de değişkenleri birlikte ele alarak n sayıda bireyi p sayıda değişkene göre ortak özelliklere sahip alt kümelere ayırmak,
- p sayıda değişkene göre saptanan değerler açısından nesnelerin biyolojik ve taksonomik olarak gruplanmasını sağlamak.

Kümeleme Analizi, araştırmacının belirlediği kriterlere göre tüm verileri kümelendirerek verileri azaltmakta ya da üst grup niteliğinde düşünülebilecek gruplar oluşturmaktadır (Çokluk vd., 2010).

8.2. Kümeleme Analizinin Diğer Çok Değişkenli Yöntemlerle Karşılaştırılması

Kümeleme Analizinin genel amacı, belirli özelliklerine göre nesnelerin benzer yönlerini ortaya koymak ve bu benzerliklerden yola çıkılarak birimleri doğru kategorilere ayırmaktır. Analiz bu yönü ile çok değişkenli analiz tekniklerinden biri olan diskriminant analizine benzemektedir. Fakat Kümeleme Analizi yönteminde, diskriminant analizinden farklı olarak birimlerin o anki durumları gözlendiği için, geleceğe yönelik tahminler yapılamamaktadır. Diskriminant analizi ise, daha çok yeni bir gözlemi önceden bilinen bir sınıfa uygun olarak dahil edebilmek amacıyla kullanılmakta ve geleceğe yönelik öngörülerde bulunulmasına olanak sağlamaktadır. Doğal sınıflandırılmaları ile ilgili açıkça bilgi bulunmaması durumunda, alt grupların yapılarının belirlenmesinde Kümeleme Analizi kullanılırken, doğal gruplamaları açıkça bilinen veri setlerinde alt kümelerin incelenmesi diskriminant analizi ile yapılır (Çokluk vd., 2010). Kümeleme Analizi ile diskriminant analizi arasındaki temel fark; diskriminant analizinde sınıfları oluşturmak için gerekli kuralların oluşturulacağı noktaların ve tanıların bilinmesi gerekir iken (group membership) Kümeleme Analizinin bu bilgiye ihtiyaç duyulmadan yapmasıdır. Diskriminant analizi istatistiki testler eşliğinde gruplama yapar ve kurulan model ile tahmin yapmaya imkan tanır iken kümeleme analizleri birincil derecede tahmine dönük değildir (Pektaş, 2013). Faktör analizi ile karşılaştırıldığında ise Kümeleme Analizinin nesneleri gruplama, faktör analizinin değişkenleri gruplamaya yönelik olduğu ifade edilebilir. Ayrıca faktör analizi gruplandırmayı verilerdeki değişimlere (varyans-kovaryans) bağlı olarak yaparken, Kümeleme Analizi yakınlıklara (proximity) bağlı olarak gerçekleştirir (Çokluk vd., 2010).

8.3. Kümeleme Analizinde Varsayımlar

Kümeleme Analizi, gözlemlerin yapısal özelliklerini değerlendirebilmek amacıyla geliştirilen objektif bir yöntemdir. Kümeleme Analizinde araştırmacıların ana kütlenin yapısını doğru bir biçimde temsil eden, güvenilir bir örneklem seçimi yapmaları gerekmektedir. Kümeleme Analizinin başarısı iyi bir örneklem seçimine bağlıdır.

Değişken sayısı arttıkça gözlem sayısının da artırılması gerekir. Bilgisayar sistemlerinin güçlenmesi ve gelişmiş istatistik programları kullanımının giderek yaygınlaşması, araştırmacıların değişken ve gözlem sayısını azaltma isteklerini arttırmıştır. Fakat örneklem sayısının tespitinde genel düşünce, gözlem sayısının değişken sayısının 3 ya da 4 katı olması gerektiği şeklindedir (Kalaycı, 2009).

8.4. Kümeleme Yöntemleri

Kümeleme metotlarının sınıflandırılmasında kullanılan en genel ayırım hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan kümeleme metotları ayırımıdır. Her iki yöntemin ortak amacı kümeler arasındaki farklılıkları ve kümeler içi benzerlikleri en yüksek düzeyde elde etmektir. Böylece küme içi homojenlik arttırılırken kümeler arası homojenlik ise azaltılmaktadır (Pektaş, 2013). Çizelge 8.1'de kümeleme yöntemlerinin genel yapısı verilmiştir.

Çizelge 8.1. Kümeleme yöntemlerinin genel yapısı (Çokluk vd., 2010).

Hiyerarşik Yöntemler		
Birleştirici/Toplamalı Yöntemler	Bağlantı Teknikleri	Tek Bağlantı (En yakın komşuluk)
		Tam Bağlantı (En uzak komşuluk)
		Ortalama Bağlantı
	Varyans Teknikleri	Ward's Yöntemi (Ward's Hata Kareler Toplamı)
	Merkezileştirme Teknikleri	Medyan
		Centroid
Ayırıcı/Ayrımlı/Bölünmeli Yöntemler	Bölünmüş Ortalamalar	
	Otomatik Etkileşim Belirleme	
Hiyerarşik Olmayan Yöntemler		
K-Ortalama (K-Means) Yöntemi		
Medoid Parçalama Yöntemi		
Yığma/Yığılma Yöntemi		
Bulanık (Fuzzy) Kümeleme Yöntemi		

8.4.1. Hiyerarşik kümeleme yöntemleri

Hiyerarşik kümeleme yöntemleri özellikle küçük örneklemler (n<250) için uygundur. Hiyerarşik kümeleme yöntemleri, araştırmacının incelediği veri setinde başlangıçta kaç grup bulunduğunun bilmediği durumlarda çok uygun bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca bu yöntem araştırmacılara inceledikleri veri setinde daha önce gözlenmemiş ilişkileri gözleme ve ilkeleri keşfetme imkanı vermesi sebebiyle de yararlı olmaktadır. Birleştirici/toplamalı hiyerarşik kümeleme yönteminde başlangıçta her gözlem ya da birim kendi başlarına bir küme oluşturur. Bir başka deyişle, n tane birey, n tane küme olmak üzere işlemlere başlanır. Daha sonra küme sayısı bir indirgenerek benzerlik matrisi yeniden oluşturulur ve benzerlik ya da uzaklık matrisine göre n birim aşamalı olarak sırasıyla n, (n-1), (n-2), … (n-r), …3, 2, 1 kümeye yerleştirilir. Bir diğer ifadeyle işlem, her adımda küme sayısının azalması ile devam eder ve en sonunda bütün birimler büyük tek bir kümede toplanır. Birleştirici hiyerarşik kümeleme yönteminde birimlerin birbirleri ile birleştirilmesinde değişik yaklaşımlar (kümeleme algoritmaları) uygulanmaktadır. Bu yaklaşımlar aşağıda açıklanmıştır (Çokluk vd., 2010).

- Tek Bağlantı Kümeleme Yöntemi: Hiyerarşik kümeleme analizleri içerisinde en basit olanıdır. En yakın komşuluk olarak da bilinen bu yöntemde uzaklıklar matrisi kullanılarak birbirine en yakın (uzaklık değerleri en küçük) birey ya da kümeler birleştirilir ve birleştirme işlemi arka arkaya tekrarlanarak gerçekleştirilmektedir.
- Tam Bağlantılı Kümeleme Yöntemi: Tek bağlantı kümeleme yöntemi ile benzer özellikler gösteren bu yöntemde, kümeleme yaklaşımı en büyük (maksimum) uzaklığa dayanmaktadır. En uzak komşuluk olarak da bilinmekte olan bu yöntem, en uzak iki noktanın bir kümeye atanması ile başlar ve aynı mantıkla kümelerin diğer kümelerle birleştirilmesiyle son bulur. Noktaların kümelerle veya kümelerin kümelerle birleştirilmesinde en büyük uzaklık ölçütü dikkate alınır.
- Ortalama Bağlantı Kümeleme Yöntemi: Gözlemler arasındaki benzerlik ortalamasına dayanan bir yöntemdir. İki küme arasındaki uzaklık, birinci kümedeki noktaların ikinci kümedeki noktalara olan uzaklıklarının ortalamasının alınması ile bulunur. Tek bağlantı yönteminde birbirine en yakın, tam bağlantı yönteminde ise birbirine en uzak komşulardan başlanarak kümeleme yapıldığı için bu iki teknik uç değerlerin etkisine oldukça açıktır. Ortalama bağlantı yöntemi bu dezavantajı ortadan kaldıran bir yöntem olarak kullanılmaktadır.
- Ward's Bağlantı Kümeleme Yöntemi: En küçük varyans yöntemi olarak da bilinen bu yöntem, diğer kümeleme yöntemlerinde olduğu gibi kümeler arasındaki uzaklıkları hesaplamak yerine, homojenliği maksimum kılacak, küme içi hata kareler toplamını minimize edecek kümeler oluşturur. Her aşamada elde edilen kümelerden hata kareler toplamı en küçük olanlar birleştirilir. Amaç küme içi homojen yapıyı, kümeler arasında heterojen yapıyı maksimum kılacak kümeler elde etmektir.
- Merkezi Bağlantı Kümeleme Yöntemi: Bu yöntemde, iki küme merkezinin uzaklığı ile iki küme arasındaki benzerlik belirlenir. Küme merkezleri, küme değişkenlerine ait gözlemlerin ortalama değeridir. Bu yöntemde nesneler her seferinde gruplanır ve yeni merkez hesaplanır. Kümelerin merkezleri kümelerde birleşmeler meydana geldikçe ya da oluştukça yer değiştirir. Diğer bir ifadeyle

var olan bir kümeye yeni birey veya bireyler eklendikçe küme merkezi değişir. Bu yöntem genellikle karmaşık sonuçlara sebebiyet verir.

Sonuç olarak hiyerarşik tekniklerin özelliklerini şöyle özetlemek mümkündür (Çokluk vd., 2010):

- Hiyerarşik kümeleme yöntemleri kümeleri art arda birleştirme sürecidir.
- Hiyerarşik kümeleme yöntemleri, veri matrisindeki birimlerin/değişkenlerin başlangıçta kaç küme oluşturduğuna ve küme elemanlarını belirlemede başlangıçta hangi ölçütün seçildiğine göre iki ana gruba ayırırlar. "Birleştirici/Toplamalı Hiyerarşik Kümeleme Yöntemleri" ve "Ayırıcı/Bölünmeli Hiyerarşik Kümeleme Yöntemleri".
- Birleştirici/Toplamalı yöntemlerde n adet nesne ardıl olarak gruplarda birleştirilir.
- Birleştirici/Toplamalı yöntemler, Ayırıcı/Bölünmeli yöntemlere göre daha fazla kullanılmaktadır.
- Tek bağlantı, tam bağlantı, ortalama bağlantı, merkezileştirme ve Ward's bağlantı yöntemleri, çok yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.
- Büyük veri setlerinde hiyerarşik kümeleme analizi işlemleri çok uzun zaman almaktadır.
- Hiyerarşik tekniklerin ağaç diyagramları ile gösterilen sonuçları "dendogram" olarak isimlendirilir.

8.4.2. Hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemleri

Bu yöntemler, küme sayısının araştırmacı tarafından bilindiği durumlarda kullanılır. Bir başka ifadeyle, araştırmacının küme sayısı konusunda ön bilgisinin olması durumunda veya küme sayısına karar vermiş olması durumunda kullanılması önerilen yöntemlerdir (Çokluk vd., 2010). Hiyerarşik olmayan kümeleme metotları bölmeli metotlar olarak da bilinmektedir. Bölmeli metotlar, hiyerarşik yöntemlere göre daha büyük veri setlerine uygulanabilir. Bölmeli metotlarda oluşturulacak k adet kümede her bir küme en azından bir birim içerir ve her birim yalnızca bir grupta bulunur. Hiyerarşik olmayan yöntemler, hiyerarşik yöntemlere göre daha büyük veri setlerine uygulanabilir.

8.5. Kümeleme Analizinde Uzaklık ve Benzerlik Ölçüleri

Bir veri setinde yer alan nesnelerin kümelenme işlemi, bu birimlerin birbirleriyle olan benzerlikleri veya birbirlerine olan uzaklıklarına göre gerçekleştirilmektedir. Değişkenlerin kesikli ya da sürekli olmalarına veya oransal ölçekte olmalarına göre hangi uzaklık ölçüsünün, hangi benzerlik ölçüsünün kullanılacağına karar verilir (Pektaş, 2013). Kümeleme Analizinin ilk aşamasında, benzerlik ya da uzaklık matrisinin oluşturulması yer alır. Bu matris, satırlarında ve sütunlarında analizi birimleri olan ve hücrelerinde her bir gözlem çifti için benzerlik ya da uzaklık ölçümleri olan bir tablodur. Birbirine en yakın kümelerin geniş gruplar olarak birleştirilmesi ya da bir nokta ile bir küme arasındaki ilişkinin ölçüt olarak kullanıldığı gözlemler arası uzaklıklar veya kümeler arası benzerlik ve uzaklıklar için çeşitli ölçümler mevcuttur. Uzaklık ölçümleri, iki gözlemin birbirinden ne kadar uzak olduğunu gösterir. Birbirine benzer olan gözlemler arası uzaklıklar azdır. Benzerlik ölçümleri ise iki gözlemin birbirine ne kadar benzer olduğunu gösterir. Ancak tüm ölçümleri aslında "uzaklık ölçümü" olarak adlandırmak mümkündür; çünkü aynı işlevi görürler. Benzerliğin ölçümlenmesinin farklı yolları bulunmaktadır. Kullanılacak benzerlik ölçümlerinin belirlenmesinde, değişkenlerin metrik veya kategorik olması önemlidir. Metrik veriler için söz konusu bu ölçümlerden bazılarına ilişkin açıklamalar aşağıda verilmiştir (Çokluk vd., 2010):

- <u>Öklit uzaklığı ve Kareli Öklit Uzaklığı:</u> Yaygın olarak kullanılan bir uzaklık ölçüsüdür. Birim sayısının 100'den fazla olması durumunda öklit uzaklığının kullanılması önerilir. Öklit uzaklığı, bir üçgenin hipotenüsüdür ve X gözlemlerine ait farkların karesinin, Y gözlemlerine ait farkların karesi ile toplamının kareköküne eşittir. İki boyutlu düzlemde iki nokta arası uzaklık, iki noktanın X ve Y koordinatlarının ayrı ayrı farklarının hipotenüsüne eşittir.
- <u>Pearson Korelasyon:</u> Metrik düzeyde benzerlik, momentler çarpımı ile belirlenir. Değişken kümelemeye karşı nesneleri veya bireyleri kümelemede, sütunlarda değişkenler, satırlarda bireyler/nesneler olan normal veri tablosunda yer değişikliği yaparlar (transpose). Böylece, sütunları bireyler ve satırları değişkenler olarak kullanılacak şekilde, korelasyonun artık bireyler arasında

olması sağlanır ve benzerlik matrisinin hücreleri bu korelasyonlar ile oluşturulmuş olur.

- Minskowski Uzaklığı: Genellenmiş uzaklık fonksiyonudur. n sayıda nesne ve p sayıdaki değişkene göre nesneler veya değişkenler arasındaki uzaklıkları hesaplayabilmek amacıyla kullanılan uzaklık ölçülerine genel olarak "Minkowski uzaklık ölçüsü" adı verilmektedir. Mutlak farkların toplamının p. kökünün, madde değerleri arasındaki p. kuvvete olan uzaklığıdır.
- Mahalanobis Uzaklığı: Standardizasyona doğrudan olanak sağlayan Öklit uzaklık ölçüsüdür. Standart sapmaları göz önünde bulundurarak standardizasyona imkan tanır ve aynı zamanda grup içi varyans-kovaryansları toplayarak değişkenler arasındaki korelasyonu ayarlar.

8.6. Değişkenlerin Standardizasyonu ve Dönüştürülmesi

Veri matrisinde bulunan değişkenleri ortalamaları ve varyansları birbirlerinden olabildiğince farklı olduğu hallerde birimler arasındaki uzaklık hesaplanırken, ortalaması daha büyük ve/veya varyansı daha büyük olan parametreler, hesaplanan uzaklık değerine daha fazla etki edecektir. Böylelikle, kümeler meydana getirilirken sistematik bir yanlışa sebebiyet verilecektir. Ayrıca değişkenlerde bulunan aşırı değerler de uzaklık değerine etki yapan bir diğer faktördür (Pektaş, 2013). Verilerin dönüştürülme işlemi, standardizasyon veya belli aralıklara indirgeme şeklinde gerçekleşir. Verilerin dönüştürülebilmesi için kullanılan teknikler bulunmakta ve bazılarına ilişkin kısa açıklamalar aşağıda sunulmuştur (Çokluk vd., 2010).

- Z puanlarına dönüştürme: Yaygın olarak kullanılan standardizasyon şeklidir. Her bir değişkeni standart puanlara dönüştürür. Bu dönüştürme ile her bir ham puandan ortalama çıkartılır ve standart sapmaya bölünür. Bu dönüştürme şekli tüm bilgisayar programlarında mevcuttur ve Kümeleme Analizi sürecine de doğrudan dahil edilebilmektedir. Verilerin normal dağılım gösterdiği varsayıldığı durumlarda aralık veya oran ölçeğiyle elde edilmiş verilere uygulanır.
- $-1 \leq x \leq 1$ aralığında dönüştürme: Değerler arasında pozitif ve negatif değerlerin, heterojen yapıdaki verilerin ve uç değerlerin bulunduğu durumlarda tercih

edilen bir yöntemdir. Teknik, değişkenlerin bütün değerlerini maksimum değere oranlar.

- 0≤x≤1 aralığında dönüştürme: Heterojen yapıda değerlerin bulunduğu ve/veya uç değerlerin yer aldığı durumlarda değerleri pozitif 0-1 aralığında değiştirmek amacıyla uygulanır.
- Maksimum değer 1 olacak şekilde dönüştürme: Veri setindeki değerleri maksimum 1 olacak şekilde dönüştürebilmek için uygulanan bir yöntemdir.
- Dönüşüm ortalaması 1 olacak şekilde dönüştürme: Veri setinin ortalamasının pozitif ve 1 olması istendiği durumlarda uygulanan bir yöntemdir.
- Dönüşüm dizisinin standart sapması 1 olacak şekilde dönüştürme: Yeni dizinin standart sapmasının 1 olmasının istendiği durumda kullanılan bir tekniktir.

8.7. Kümeleme Analizinin Aşamaları

Diğer çok değişkenli analizlerde olduğu gibi Kümeleme Analizinin uygulanmasında belirli aşamalar bulunmaktadır. Kümeleme Analizinin uygulama aşamaları aşağıda açıklanmıştır (Özdamar, 2014).

- Nesne veya değişkenlerin doğal gruplamaları ile ilgili kesin bilgilerin bulunmadığı popülasyonlardan alınan n sayıda birimin p sayıda değişkenine ait gözlemlerin elde edilmesi (veri matrisinin oluşturulması).
- Nesne veya değişkenlerin birbirleri ile olan benzerliklerini ya da farklılıklarını gösteren uygun bir benzerlik ölçüsü ile birbirlerine olan uzaklıklarının belirlenmesi (benzerlik veya farklılık matrisinin oluşturulması).
- Uygun küme yöntemi seçilerek benzerlik/farklılık matrisine göre nesne veya değişkenlerin uygun sayıda kümelere ayrılması.
- Oluşan kümelerin yorumlanması ve bu kümeleme yapısına uygun olarak kurulan hipotezlerin doğrulanması için gerekli analitik yöntemlerin uygulanması.

8.8. Küme Sayısının ve Küme Geçerliliğinin Belirlenmesi

Kümeleme Analizi yapılırken veri setinin kaç doğru küme etrafında kümelenmesi gerektiğini kesin olarak veren bir algoritma yoktur. Bu tamamen analistin veriler ile ne yapmak istediğine ve kullandığı algoritmalara göre değişmektedir. Ayrıca oluşan sınıfların hangi anlamları taşıdığının değerlendirilmesi tamamen çözümlemeyi yapan kişiye kalmıştır (Pektaş, 2013). Küme sayısının belirlenmesinde, yığışım tablosundaki (Agglomeration Schedule) katsayılar veya ağaç diyagramı (dendogram) bu aşamada yol gösterici bir araç olarak kullanılabilmektedir (Kalaycı, 2009).

Veri setinin analizi ve Kümeleme Analizi sonuçlarının belirlenmesinden sonra elde edilen sonuçların anlamlılığı ve güvenilirliği konusunda bir garanti yoktur. Verilerde herhangi bir kurala göre gruplanma olmasa bile bir kümeleme sonucuna ulaşılacaktır. Bu açıdan elde edilen kümeleme sonucunun tesadüfi çözümden farklı olup olmadığının bazı test veya testler uygulanarak belirlenmesi gerekir. Kümeleme sonuçlarının geçerliliğini, diğer bir ifade ile kümelerin anlamlılığını test etmenin başka bir yolu da kümeleri oluşturmada kullanılan değişkenler için çok değişkenli varyans analizi ya da diskriminant analizi tekniklerinin uygulanmasıdır. Aşamalı ve aşamalı olmayan kümeleme çözümleri için uygulanabilen varyans analizi yüksek seviyede anlamlı sonuçlar vermesi nedeniyle oldukça uygun bir yöntem olarak görülmektedir. Verilere çok değişkenli varyans analizi uygulanması sonucunda, gruplar arası fark yoktur (grup ortalama vektörleri birbirine eşittir) anlamını taşıyan H_0 hipotezi reddedildikten sonra gruplar arası farkın olduğu sonucuna varılır (Kalaycı, 2009).

9. ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASINDA MEYDANA GELEN DEGAJ OLAYLARININ YAPISAL EŞİTLİK MODELLEMESİ YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

9.1. Veri Analizi

Degaj olayları, farklı bölgelerdeki birçok faktör ve değişkenin bir araya gelmesinin sonucunda meydana gelmektedir. Çizelge 2.1.'deki literatür araştırmasına ve Zonguldak taşkömürü havzasında daha önce yapılmış degaj çalışmalarına (Ökten, 1983; Esen, 2013) dayanarak 6 adet değişken ile yapısal model oluşturulmuştur. Degaj olaylarına etki eden faktörler; *üretim derinliği* (ÜD), *damar kalınlığı* (DK), *damar eğimi* (DE), *kömür damarı nem içeriği* (Nİ), *gaz içeriği* (Gİ), *faya uzaklık* (FU) olarak belirlenmiştir. Zonguldak taşkömürü havzası Kozlu ve Karadon işletmelerinde 1969-2013 yılları arasında 90 adet degaj olayı meydana gelmiştir. Olaylara ait bilgiler Çizelge 9.1 ve Çizelge 9.2'de verilmiştir.

Çizelge 9.1. Kozlu İşletmesi'nde meydana gelen degaj olayları

OLAY NO	TARİH	OLAY YERİ
1	22/06/1969	-425/22924 sulu bşy
2	18/11/1969	-425/22924 sulu bşy
3	12/02/1970	-425/22924 sulu bşy
4	10/03/1970	-360/22823 çay 3k hazırlık taban
5	26/06/1970	-360/-300/22823 çay 5k bşk
6	19/10/1970	-360/-300/22823 çay 3k bşk
7	26/05/1972	-425/-369 22944 acılık bşy
8	19/03/1973	-360/22825 gökcan arakat lağım
9	12/08/1974	-414/-358 22945 çay hazırlık
10	22/08/1974	-425/-360/22923 domuzca bşk
11	15/09/1974	-425/22926 acılık bşy
12	19/11/1974	-425/22925 acılık rekup lağım
13	31/12/1974	-416/22926 acılık bşy
14	22/08/1975	-425/22926 acılık arama lağımı
15	30/09/1975	-422/21946 çay rekup bşy
16	19/11/1975	-417/22926 acılık bşy
17	19/06/1976	-417/22923 büyük bşy
18	27/12/1976	-425/22929 çay rekup lağım
19	03/03/1978	-425/22945 domuzca bşy
20	28/05/1979	-485/211004 piriç bşy
21	04/12/1980	-425/22926 kuzey lağım
22	30/05/1983	-485/21100 çay bşy
23	04/11/1986	-485/221036 sulu rekup lağım
24	04/07/1987	-485/221036 rabut tavan rekup lğ
25	29/11/1990	-485/221009 lağım arını
26	04/04/1991	-485/221036 dibek ayak önü bşy
27	04/10/1991	-560/211127 lağım arını
28	20/11/1991	-560/211127 lağım arını
29	15/01/1992	-485/211004 lağım
30	03/03/1992	-560/-485 çay pano
31	24/09/1998	-560/112056355 lağım
32	22/03/2003	-560/21127 büyük bşy
33	26/02/2004	-560/112056355 messoğlu bşy
34	25/02/2004	-560/355 lağım
35	18/05/2005	-560/112056355 milopero bşy
36	28/08/2010	-630/111063405 lağım
37	03/12/2010	-630/111063405 lağım
38	07/01/2013	-630/111063405 lağım

Çizelge 9.2. Karadon İşletmesi'nde meydana gelen degaj olayları

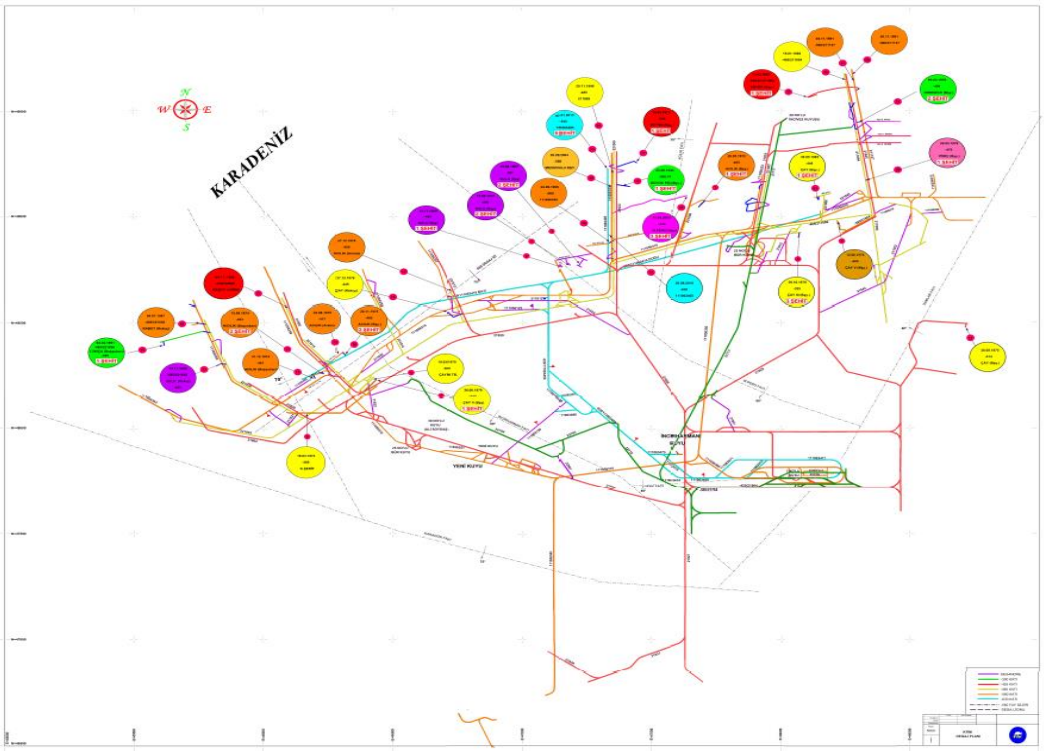
OLAY NO	TARİH	OLAY YERİ
1	11/9/1969	-360/42400 çatalağzı lağım
2	16/11/1969	-360/42417 güney lağım
3	05/05/1970	-260/-160 çay batı bşk
4	23/09/1970	-150/41217 acılık başyuk
5	12/04/1971	-260/-160 sulu bşykrı
6	16/06/1971	-360/51105 çay başyk
7	19/06/1971	-360/51105 çay başyk
8	27/10/1971	-260/42314 çay bşyk
9	23/05/1972	-260/42319 acılık taban
10	05/06/1972	-260/51059 domuzca bşyk
11	20/11/1972	-150/41228 sulu batı bşyk
12	25/12/1972	42036/43311 acılık bşyk
13	24/01/1973	-150/41228 sulu batı bşyk
14	23/02/1973	-260/-150 42319 acılık ayak
15	24/02/1973	42036/42319 acılık bşy
16	15/03/1973	-360/51105 çay bşy
17	03/04/1973	-260/-160 acılık bşy
18	30/06/1973	-260/-150 42319 acılık bşy
19	06/04/1974	-360/51100 batı taban
20	13/04/1974	-360/51050 büyük doğu bşy
21	14/04/1974	-360/42417 acılık doğu bşy
22	28/02/1975	-360/42417 acılık batı taban
23	06/03/1975	-360/42417 acılık batı bşyk
24	31/10/1977	-150/41230 sulu doğu bşy
25	18/08/1977	-260/42319 sulu doğu bşy
26	25/12/1978	-460/42505 çay bşy
27	19/11/1980	-360/51107 büyük bşy
28	28/02/1982	-460/51510 lağım
29	31/01/1983	-460/51510 lağım
30	17/07/1984	-360/42418 acılık doğu bşy
31	17/09/1984	-360/42418 acılık doğu bşy
32	27/10/1984	-360/424170 sulu bşy
33	21/12/1985	-460/42506 güney lğ
34	27/01/1988	-460/51507 kuzey lğ
35	09/05/1988	-460/42506 unudulmuş bşy
36	02/07/1988	-460/51507 tv. Akdağ pasajı
37	24/03/1991	-460/-360 çay doğu ayak önü bşy
38	07/07/1991	-460 batı ayak hazırlık bşy
39	22/12/1993	-360/260 domuzcu piçi a.ö. bşy
40	14/02/2000	-460/42506 çay doğu bşy

Çizelge 9.2. Karadon İşletmesi'nde meydana gelen degaj olayları (devam)

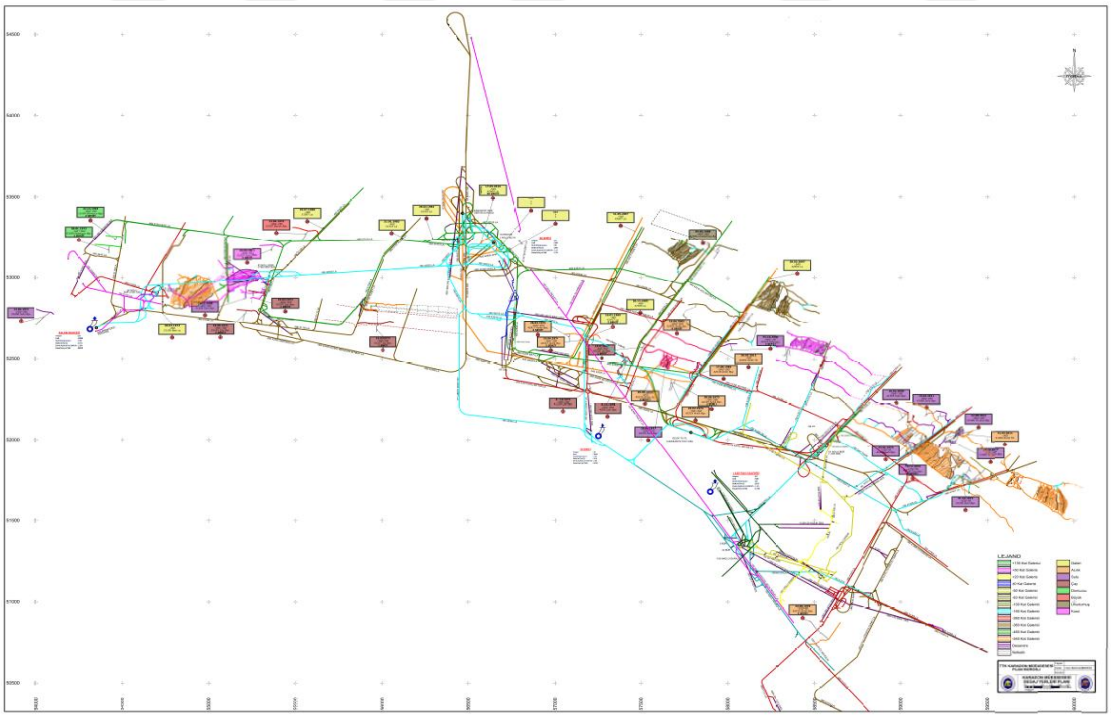
OLAY NO	TARİH	OLAY YERİ
41	4/5/2001	-360/-460 kurul batı bşk
42	16/06/2005	-460/42505 acılık bşy
43	26/02/2006	-560 messoğlu bşy
44	30/03/2007	-540/42604 lağım
45	31/05/2007	-540/42607 lağım
46	29/02/2008	-460/51506 sulu ayak önü bşy
47	10/12/2008	-260/41305 sulu doğu bşy
48	2/10/2009	-360/41419 sulu doğu ana bşy
49	17/05/2010	-540/51506 yeni kuyu hz lağım
50	31/03/2011	-360/41406 acılık batı taban
51	15/04/2011	-360 sulu ayak önü bşy
52	11/4/2012	-460/42504 acılık batı taban

Kozlu bölgesinde degaj sonrasında oluşan görüntü Şekil 9.1'de verilmiştir. Kozlu ve Karadon İşletmeleri'nde meydana gelmiş olan degaj olaylarının yerlerini gösteren planlar Şekil 9.2 ve Şekil 9.3'de verilmiştir. Ayrıca, bu olaylara ait üretim derinliği, gaz içeriği, nem içeriği, damar kalınlığı, damar eğimi ve faya uzaklık bilgileri Çizelge 9.3'de verilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan tüm veriler TTK'dan elde edilmiştir.

Şekil 9.1. Kozlu -425/22929 Çay rekup lağımında degaj sonrası arının görünüşü



Şekil 9.2. Kozlu işletmesi degaj yerlerini gösteren plan



Şekil 9.3. Karadon işletmesi degaj yerlerini gösteren plan

Çizelge 9.3. Degaj olaylarına ait veriler

Olay No	Olay Yeri	Üretim Derinliği (m)	Gaz İçeriği (m^3/t) (ar)	Nem İçeriği (%) (ar)	Damar Kalınlığı (m)	Damar Eğimi (°)	Faya Uzaklık (m)
1	-360/42400 Lağım	364	7	0.69	2	0	50
2	-360/42417 Lağım	360	7	0.69	2	0	150
3	-260/-160 Başyukarı	241	3.6	0.69	2	47	0
4	-150/41217 Başyukarı	110	5.44	0.71	2.5	46	150
5	-260/-160 Başyukarı	244	2.6	0.79	1.8	50	50
6	-360/51105 Başyukarı	320	3.6	0.69	2	52	0
7	-360/51105 Başyukarı	320	3.6	0.69	2	52	0
8	-260/42314 Başyukarı	234	3.6	0.69	2	50	80
9	-260/42319 Taban	232	4	0.67	1.5	35	50
10	-260/51059 Başyukarı	233	4	0.81	1.6	60	0
11	-150/41228 Başyukarı	140	2.6	0.79	2.8	55	0
12	42036/43311 Başyukarı	250	5.44	0.71	1.2	40	0
13	-150/41228 Başyukarı	110	2.6	0.79	2.8	55	0
14	-260/-150 42319 Ayak	250	5.44	0.71	1.5	35	50
15	42036/42319 Başyukarı	253	5.44	0.71	1.2	40	0
16	-360/51105 Başyukarı	342	3.6	0.69	1.5	57	0
17	-260/-160 Başyukarı	244	5.44	0.71	2.5	44	125
18	-260/-150 42319 Başyukarı	250	5.44	0.71	1.5	35	0
19	-360/51100 Taban	356	7	0.67	2	35	40
20	-360/51050 Başyukarı	343	11.93	1.45	2	35	40
21	-360/42417 Başyukarı	343	5.44	0.71	2	38	40
22	-360/42417 Taban	356	4	0.67	2	35	0
23	-360/42417 Başyukarı	356	5.44	0.71	2.2	24	0
24	-150/41230 Başyukarı	130	2.6	0.79	2	24	50
25	-260/42319 Başyukarı	248	2.6	0.79	2	24	50
26	-460/42505 Başyukarı	303	3.6	0.69	2	50	0
27	-360/51107 Başyukarı	311	11.93	1.45	1.3	20	0
28	-460/51510 Lağım	460	7	0.71	1.5	0	50
29	-460/51510 Lağım	460	7	0.71	1.5	0	50
30	-360/42418 Başyukarı	328	5.44	0.71	3.5	42	0
31	-360/42418 Başyukarı	315	5.44	0.71	3.5	42	0
32	-360/424170 Başyukarı	360	2.6	0.79	3.5	50	50
33	-460/42506 Lağım	460	7	0.71	3	0	0
34	-460/51507 Lağım	460	7	1.76	3	0	0
35	-460/42506 Başyukarı	445	4.48	3.45	2	32	0
36	-460/51507 Taban	460	5.33	1.76	3.5	45	0
37	-460/-360 Başyukarı	450	7.8	2.63	2.5	60	0

Çizelge 9.3. Degaj olaylarına ait veriler (devam)

Olay No	Olay Yeri	Üretim Derinliği (m)	Gaz İçeriği (m^3/t) (ar)	Nem İçeriği (%) (ar)	Damar Kalınlığı (m)	Damar Eğimi (°)	Faya Uzaklık (m)
38	-460 Başyukarı	460	7.8	2.63	2	35	40
39	-360/260 Başyukarı	331	7	3.25	2	70	75
40	-460/42506 Başyukarı	440	7.8	2.63	2	35	0
41	-360/-460 Başyukarı	380	4.8	4.62	2	35	0
42	-460/42505 Başyukarı	403	7.14	3.19	3	45	45
43	-560 Başyukarı	560	7	1.69	2.5	40	45
44	-540/42604 Lağım	540	7	1.69	2	0	0
45	-540/42607 Lağım	540	7	1.69	2	0	0
46	-460/51506 Başyukarı	444	6.63	3.2	2	50	0
47	-260/41305 Başyukarı	228	8.97	3.2	2	25	45
48	-360/41419 Başyukarı	328	8.97	1.25	2	25	45
49	-540/51506 Lağım	540	7	0.38	2	50	75
50	-360/41406 Taban	360	7.14	0.38	3	35	75
51	-360 Başyukarı	360	8.97	1.25	2	50	0
52	-460/42504 Taban	460	7.14	0.38	3	35	0
53	-425/22924 Başyukarı	387	5	1.1	1.5	60	25
54	-425/22924 Başyukarı	402	5	1.1	2	60	15
55	-425/22924 Başyukarı	400	5	1.1	1.8	45	10
56	-360/22823 Taban	360	3.47	1.1	3	0	0
57	-360/-300/22823 Başyukarı	345	3.47	1.1	2.6	50	0
58	-360/-300/22823 Başyukarı	325	3.47	1.1	2.8	45	25
59	-425/-369 22944 Başyukarı	405	7	1.4	1.6	67	0
60	-360/22825 Lağım	360	3.47	1.1	0.6	0	0
61	-414/-358 22945 Başyukarı	401	3.47	1.1	5	60	0
62	-425/-360/22923 Başyukarı	398	5.76	2.82	0.8	70	0
63	-425/22926 Başyukarı	402	7	1.4	2	32	0
64	-425/22925 Lağım	420	7	1.4	1	30	0
65	-416/22926 Başyukarı	401	7	1.4	2.6	32	0
66	-425/22926 Lağım	417	7	1.4	2.6	0	0
67	-422/21946 Başyukarı	414	3.47	1.1	5	40	0
68	-417/22926 Başyukarı	402	7	1.4	2	32	0
69	-417/22923 Başyukarı	396	11.72	1.17	2	63	0
70	-425/22929 Lağım	425	3.47	1.1	2.5	50	0

Çizelge 9.3. Degaj olaylarına ait veriler (devam)

Olay No	Olay Yeri	Üretim Derinliği (m)	Gaz İçeriği (m^3/t) (ar)	Nem İçeriği (%) (ar)	Damar Kalınlığı (m)	Damar Eğimi (°)	Faya Uzaklık (m)
71	-425/22945 Başyukarı	401	5.76	2.82	0.9	60	20
72	-485/211004 Başyukarı	471	3.47	1.1	0.5	60	25
73	-425/22926 Lağım	418	7	1.4	0.5	60	75
74	-485/21100 Başyukarı	441	3.47	1.1	2.5	50	15
75	-485/221036 Lağım	485	11.41	1.15	2	40	10
76	-485/221036 Lağım	485	11.7	2.02	2	40	0
77	-485/221009 Lağım	485	11.41	1.15	0.5	60	20
78	-485/221036 Başyukarı	459	11.41	1.15	2	40	10
79	-560/211127 Lağım	560	11.72	1.17	2.6	57	15
80	-560/211127 Lağım	560	11.72	1.17	1	60	15
81	-485/211004 Lağım	485	5.76	2.82	1.5	60	15
82	-560/-485 Başyukarı	560	7.6	1.89	1.5	60	15
83	-560/112056355 Lağım	560	8.88	2.6	1.5	0	15
84	-560/21127 Başyukarı	510	11.72	1.17	1.2	40	15
85	-560/112056355 Başyukarı	548	16.9	1.74	1.5	40	0
86	-560/355 Lağım	560	16.9	1.74	2.5	40	0
87	-560/112056355 Başyukarı	539	16.9	1.74	2.5	40	0
88	-630/111063405 Lağım	630	8.88	2.6	2.5	40	0
89	-630/111063405 Lağım	630	8.88	2.6	2.5	40	0
90	-630/111063405 Lağım	630	8.88	2.6	2.5	40	0

ar: orijinal kömür

YEM analizlerini gerçekleştirmek amacıyla AMOS Graphics 24 programı kullanılmıştır. YEM'in birinci varsayımı olan çok değişkenli normal dağılıma uygunluk testi bu yazılımla gerçekleştirilmiştir. AMOS programında normal dağılıma aykırılık ve aykırı değerlerin tespiti ile ilgili açıklayıcı istatistiklere ulaşılabilir. Bu açıklayıcı istatistikler, minimum ve maksimum değerleri ile basıklık (kurtosis) ve çarpıklık (skewness) değerlerini, kritik oranları ile birlikte sunarlar (Varol, 2014). 90 adet degaj olayına ait AMOS programında yapılan çok değişkenli normallik testi sonucu Çizelge 9.4'de verilmiştir.

Çizelge 9.4. Çok değişkenli normallik testi sonucu

Değişken	min	max	skew	c.r.	kurtosis	c.r.
Faya Uzaklık	.000	150.000	2.075	8.036	4.754	9.207
Damar Eğimi	.000	70.000	-.810	-3.138	.008	.016
Damar Kalınlığı	.500	5.000	.868	3.362	2.472	4.788
Nem İçeriği	.380	4.620	1.378	5.338	1.494	2.892
Üretim Derinliği	110.000	630.000	-.220	-.850	-.106	-.206
Gaz İçeriği	2.600	16.900	1.194	4.623	1.561	3.024
Multivariate					6.897	3.339

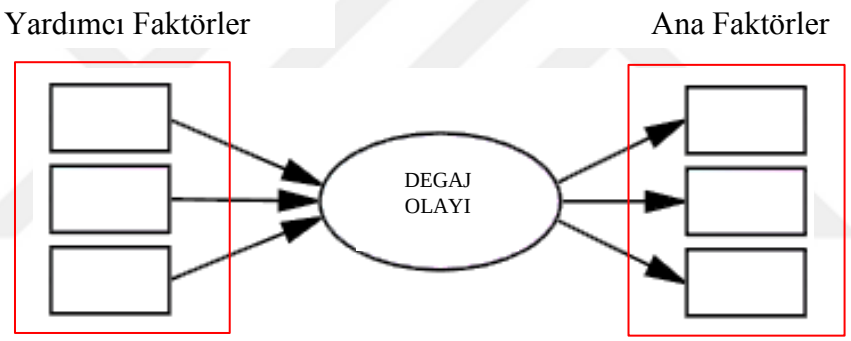
Analiz sonucuna göre verilere ait çok değişkenli basıklık değeri 3.339'dur. Bu değer Bölüm 7.5.1' de belirtilen 8 değerinden küçük olduğu için veriler çok değişkenli normal dağılıma uymaktadır.

YEM'in bir diğer varsayımı olan örneklem büyüklüğü varsayımı için ise Bölüm 7.5.2'de belirtilen koşullar değerlendirilmiştir. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda 90 adet degaj olayı meydana gelmiştir ve dolaysıyla çalışmanın örneklem büyüklüğü 90'dır. Yapısal eşitlik modelinde kullanılacak değişken sayısı 6'dır. Örneklem büyüklüğü, değişken sayısından en az 8 kat fazla olma şartını sağlamaktadır. Ölçülen değişkenlerin her birinin en az 15 birime sahip olması koşulu da sağlanmaktadır. p gözlenen değişken sayısı olmak üzere p(p+1)/2 gözleme ihtiyaç duyulmaktadır. Modelde p değeri 6'dır. 6(6+1)/2=21 adet örneklem gerekmekte ve 90 adet veri bulunması sebebiyle bu kriter de sağlanmaktadır.

9.2. Model Belirleme

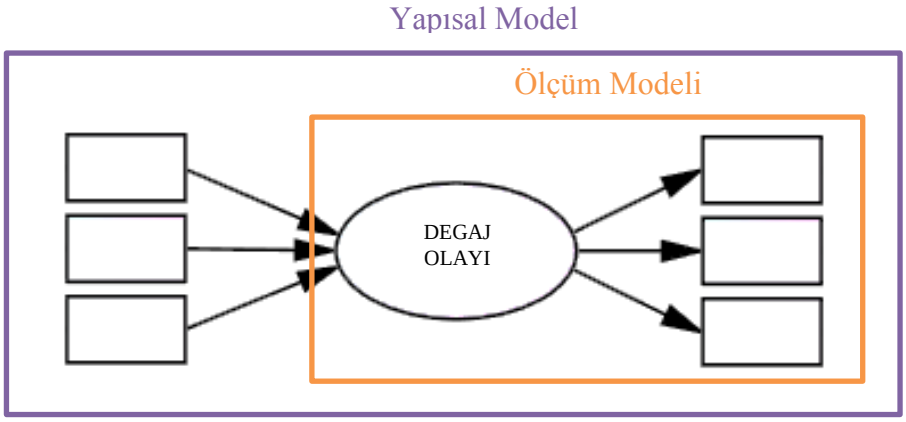
Çalışmada kullanılan faktörler "ana faktörler" ve "yardımcı faktörler" olarak iki gruba ayrılmıştır. Ana faktörler degaj olayının oluşmasında doğrudan etkili faktörler, yardımcı faktörler ise olayın meydana gelmesinde dolaylı olarak etki eden faktörler olarak belirlenmiştir. *Gİ* ve *ÜD* değişkenleri, literatürde (Çizelge 2.1) en fazla öne çıkan iki faktör olması sebebiyle "ana faktörler" kategorisinde değerlendirilmişlerdir. Kömür bünyesindeki

nem içeriği oldukça önemlidir. Kömürün içerdiği nem miktarı ve özellikle de bu nemin kömüre ne şekilde bağlı olduğu, kömürün tüm mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilemektedir (Wang vd., 2018 b). Ayrıca yüksek dereceli kömürler diğer kömürlere göre daha az su içermektedir. Yapılan araştırmalarda nem içeriği yüksek kömürlerin daha az gaz adsorbe ettiği belirlenmiştir. Sonuç olarak kömürleşme derecesi arttıkça kömürdeki higroskopik nem içeriği azalmakta ve böylece kömür daha çok gazı adsorbe edebilmektedir (Esen, 2013). Bu sebeple *Nİ* faktörünün incelenmesi degaj olaylarının araştırılmasında önem teşkil etmektedir ve bu faktör "ana faktörler" kategorisine dahil edilmiştir. *DK, DE, FU,* faktörleri degaj olayının şiddetlenmesinde rol oynaması nedeniyle (Beamish ve Crosdale, 1998; Lama ve Bodziony, 1998; Zhang vd., 2017) bu faktörler "yardımcı faktörler" kategorisinde incelenmişlerdir. Çalışmanın teorik yapısal eşitlik modeli Şekil 9.4'de verilmiştir.



Şekil 9.4. Yapısal eşitlik modelinin teorik gösterimi

Genel yapısal eşitlik modellerinin ölçüm modeli ve yapısal model olmak üzere iki parçadan oluştuğu Bölüm 7.3'te açıklanmıştır. Çalışmanın ölçüm modeli ve yapısal modeli Şekil 9.5'de verilmiştir.



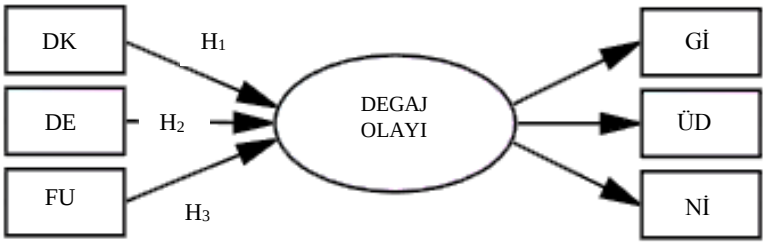
Şekil 9.5. Ölçüm modeli ve yapısal model

Ölçüm modelinin oluşturulmasıyla, gözlenen değişkenlerin gizil değişkenleri ne oranda temsil ettiği elde edilmiştir. Ölçüm modelinde gizil ve gözlenen olmak üzere iki tip değişken bulanmaktadır. "Degaj Olayı" gizil (gözlenemeyen) değişken olarak tanımlanmıştır. Degaj üç ana değişkenle ölçülmüştür. Degaj olayının oluşumunda doğrudan etkili olan *Gİ, ÜD* ve *Nİ* ana faktörleri gözlenen değişkenlerdir ve gizil değişkenle direkt olarak ilişkilendirilmişlerdir.

Genel bir modeli test etmedeki temel amaç, aslında faktörler ya da gizil değişkenler arasındaki nedensel ilişkilerin test edilmesidir. Yapısal model ile yardımcı faktörlerin degaj olayına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. YEM'de bir başka değişken tarafından tahmin edilen değişkenler için içsel (endogenous), modelde başka hiçbir değişken tarafından tahmin edilmeyen değişkenler için dışsal (exogenous) değişken tanımlamalarının kullanıldığı Bölüm 7.4.1'de açıklanmıştır. Oluşturulan yapısal modelde *DK*, *DE* ve *FU* faktörleri gözlenen dışsal (exogenous) değişkenlerdir. *Gİ, ÜD ve Nİ* değişkenleri ise gözlenen içsel (endogenous) değişkenlerdir.

AMOS'ta model belirleme esnasında tüm gizil değişkenler için, gizil değişkenlerden gözlenen değişkenlere uzanan yollardan herhangi birinin regresyon katsayısı 1 olarak girilir. Ek olarak, hatalardan gözlenen değişkenlere uzanan yollardan hepsinin regresyon katsayısı da 1'e eşitlenir. Katsayıların bu şekilde 1'e sabitlenmesi modelin tanımlı hale gelmesini sağlayarak parametre değerlerinin üretilmesine izin verir (Schumacker ve Lomax, 2004).

Yapısal modelde gözlenen dışsal değişkenlerle gizil değişken arasındaki ilişkilerin test edilebilmesi amacıyla üç adet hipotez kurulmuştur. Gözlenen dışsal değişkenlerden gizil değişkene çizilen her ok bir hipotezi temsil eder (Şekil 9.6).



Şekil 9.6. Yapısal model hipotezleri

Çalışmanın hipotezleri aşağıda açıklanmıştır:

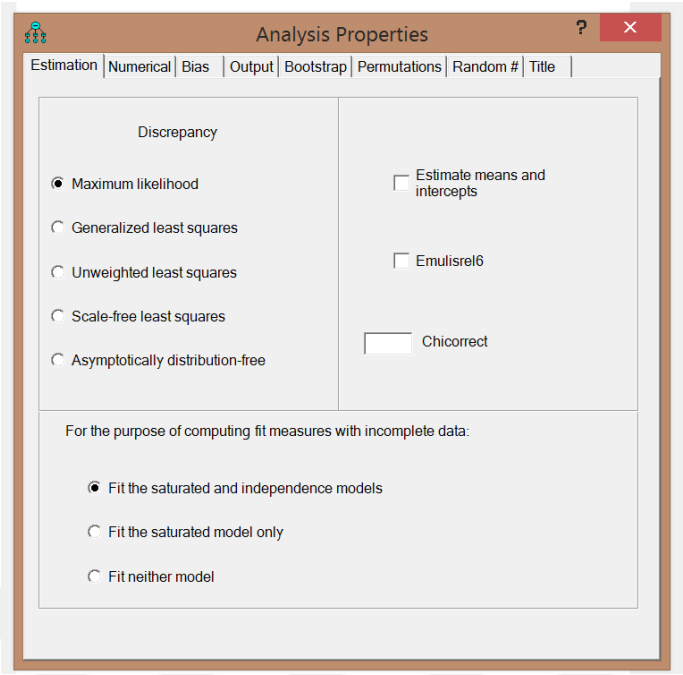
H_1: *Damar kalınlığı* ile *Degaj olayı* arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif ilişki vardır.

H_2: *Damar eğimi* ile *Degaj olayı* arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif ilişki vardır.

H_3: *Faya uzaklık* ile *Degaj olayı* arasında istatistiksel olarak anlamlı negatif ilişki vardır.

9.3. Model Tahmini

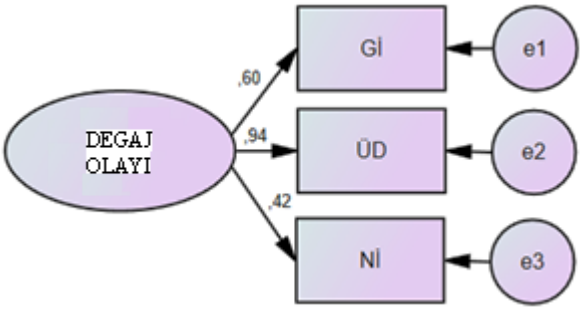
Bölüm 9.1'de yapılan çok değişkenli normallik testi sonucu değişkenlerin çok değişkenli normal dağılımı sağladığı belirlenmişti. Bu nedenle model tahmin yöntemi olarak AMOS programında *Analysis Properties* penceresinden çok değişkenli normal dağılım varsayımına dayanan *en çok olabilirlik* (*Maximum Likelihood-ML*) yöntemi seçilmiştir (Şekil 9.7).



Şekil 9.7. Model tahmini penceresi

9.4. Model Uyumunun Değerlendirilmesi

YEM'in en önemli konularından birisi, kurulan bir yapısal eşitlik modelinin örneklem setine hangi ölçüde uyum sağladığı ya da uygun şekilde temsil edilip edilmediğidir. Oluşturulan modelin farklı yönlerden modelin uygunluğunu değerlendirebilen birçok ölçüte dayanması ideal olan durumdur. Bunlar özellikle; bir bütün şeklinde kurulan modelin ve parametre tahminlerinin geçerliliğine odaklanmaktadırlar. İki aşamalı analiz yaklaşımında öncelikle ölçüm modeli oluşturulur. Ölçüm modelinin AMOS programında yürütülmesiyle elde edilen sonuç Şekil 9.8'de verilmiştir.



Şekil 9.8. Ölçüm modeli sonucu

YEM'de sonuçlar yorumlanırken p değerleri ve standardize regresyon katsayıları (β) kullanılmaktadır. "p" değerleri, değişkenler arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlılığı konusunda yorum yapılmasına olanak sağlamaktadır. 0.05 değerinden küçük değerler anlamlı olarak kabul edilmektedir. AMOS sonuç tablosunun p sütununda bulunan "***" sembolü, p olasılık değerinin 0.001'den daha küçük olduğunu ifade etmektedir (Meydan ve Şeşen, 2015). İncelenen modellere ilişkin kurulan hipotezlerin değerlendirilebilmeleri için anlamlılık seviyelerinin belirlenmesi gerekir. Anlamlılık seviyesi belirlenirken örnek büyüklüğü belirleyici rol oynamaktadır. Bazı araştırmacılara göre büyük örneklem büyüklüklerinde daha küçük anlamlılık seviyelerinin, küçük örnek hacimli modellemelerde ise daha büyük anlamlılık seviyelerinin kullanılması gerekmektedir. Büyük örnekler (n>30) için tercih edilen önem düzeyleri 0.01 ve 0.05 olmaktadır. Daha küçük örneklemlerde (n<30), önem düzeyi %10 hatta %20 olarak belirlenmek zorundadır (Tekin, 2009).

Gizil değişkenden gözlenen değişkenlere giden tek yönlü oklar üzerinde yer alan değerler standardize regresyon katsayılarını vermektedir. β katsayıları bağımsız değişkenlerdeki 1 standart sapma birimlik değişimin bağımlı değişken üzerinde yaratacağı 1 standart sapma birimlik değişim miktarını verir. β katsayılarının +/– olması değişkenler arasındaki ilişkinin pozitif yönlü veya negatif yönlü olduğunu gösterir. Bu katsayılar aynı zamanda ilgili değişkenler arasındaki etki oranını ifade etmektedir. (Schumacker ve Lomax, 2010). e1, e2, e3 sembolleri, gözlenen değişkenlere ait hata faktörleridir. Sonuçlara ilişkin bilgiler Çizelge 9.5'de verilmiştir.

Çizelge 9.5. Ölçüm modeli sonuçları

İlişkiler	Standardize Regresyon Katsayısı (β)	p
Degaj ⟶ Gİ	0.601	
Degaj ⟶ ÜD	0.940	0.004
Degaj ⟶ Nİ	0.418	***

Çalışmadaki tüm analizlerde p değerleri 0.05 anlamlılık düzeyinde test edilmiştir. Buna göre Çizelge 9.5'de değişkenler arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak anlamlıdır. β katsayıları incelendiğinde, tümünün pozitif olduğu görülmektedir. Bu durumda, üç

değişkenin de degaj olayı üzerine pozitif yönde katkı sağladığı söylenebilir. Örneğin üretim derinliğinde 1 birimlik artış, degaj olayında 0.940 birimlik artışa neden olmaktadır. Degaj olayının oluşumuna etki eden en önemli faktör 0.940 regresyon katsayısına sahip olan *ÜD* değişkenidir. Degaja etki eden ikinci önemli faktör *Gİ*'dir (β:0.601). *Nİ* ise üçüncü önemli faktördür (β:0.418). Ölçüm modelinin serbestlik derecesi 0'dır. Bu durum ölçüm modelinin veriye mükemmel uyum sağladığını göstermektedir. Ölçüm modelinde bir sorun olmadığı anlaşıldıktan sonra ikinci aşama olan yapısal modelin kurulumu gerçekleştirilmiştir. Şekil 9.9'da yapısal model sonuçları verilmiştir. Yapısal modelde degaj olayı gizil değişkeni içsel değişken olacağı için e4 hata faktörü ilave edilmiştir.

Şekil 9.9. Yapısal model sonucu

Yardımcı faktörler (dışsal değişkenler) arasındaki iki yönlü oklar kovaryansları göstermektedir. Okların yanındaki sayılar ise değişkenler arasındaki korelasyonları ifade etmektedir. Sonuçlara ilişkin bilgiler Çizelge 9.6'da verilmiştir.

Çizelge 9.6. Yapısal model sonuçları

İlişkiler	Standardize Regresyon Katsayısı (β)	p
DK ⟶ Degaj	-0.054	0.607
DE ⟶ Degaj	-0.105	0.331
FU ⟶ Degaj	-0.311	0.023
Degaj ⟶ Gİ	0.576	
Degaj ⟶ ÜD	0.979	***
Degaj ⟶ Nİ	0.402	***

Elde edilen değerler incelendiğinde, *DK* ve *DE* değişkenlerine ait p değerlerinin 0.05'ten yüksek olduğu görülmektedir. Bu bulguya istinaden çalışmanın Bölüm 9.2'de kurulan H_1 ve H_2 hipotezleri reddedilmiştir. *DK* ve *DE* değişkenlerinin degaj üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi yoktur. *FU* değişkenin p değeri 0.05'ten düşüktür. Bu sebeple H_3 hipotezi kabul edilmiştir. Bu değişkenin degaj üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi vardır. Yardımcı faktörler arasındaki korelasyon sonuçları Çizelge 9.7'de verilmiştir.

Çizelge 9.7. Korelasyon sonuçları

İlişkiler	Standardize Regresyon Katsayısı (β)	p
DK ⟷ DE	-0.053	0.621
DK ⟷ FU	-0.069	0.513
DE ⟷ FU	-0.066	0.535

Korelasyon çizelgesindeki p değerleri 0.05'ten büyük olduğu için değişkenler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki yoktur. Yapısal model yedi adet uyum indeksine göre değerlendirilmiştir. Modele ait uyum değerleri Çizelge 9.8'de verilmiştir.

Çizelge 9.8. Yapısal eşitlik modeli uyum değerleri

Uyum Ölçüsü	**İyi Uyum**	**Kabul Edilebilir Uyum**	**Model**
χ^2/sd	≤3	≤ 4-5	1.030
CFI	≥0.97	≥0.95	0.996
GFI	≥0.90	0.89-0.85	0.978
RMSEA	≤0.05	0.06-0.08	0.018
NFI	≥0.95	0.94-0.90	0.906
IFI	≥0.95	0.94-0.90	0.997
AGFI	≥0.90	0.89-0.85	0.922

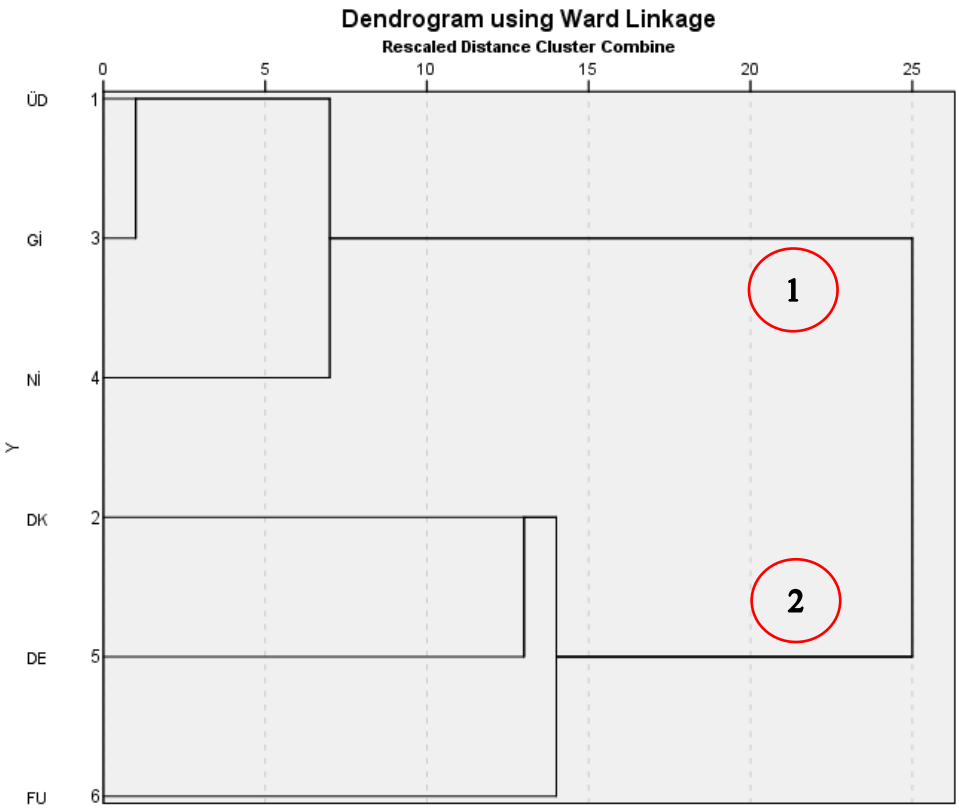
Modelin uyum değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu ve modelin yapısal olarak uygun olduğuna ilişkin yeterli kanıtların sağlandığı gözlenmiştir. Bu sebeple modelde modifikasyon yapılmasına gerek bulunmamaktadır. Geliştirilen yapısal modelin, modele ait verilere uyum gösterdiği sonucu ortaya çıkmıştır (Kursunoglu ve Onder, 2019).

10. KÜMELEME ANALİZİ YÖNTEMİ İLE RİSK ANALİZİ

Kümeleme Analizi yöntemi ile risk analizini gerçekleştirebilmek için Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda meydana gelen 90 adet degaj olayına ait verilerin analizi ve incelenmesi SPSS 24 paket programında gerçekleştirilmiştir. Verilerin analizinde başlangıçtaki küme sayısı bilinmediği için öncelikle hiyerarşik kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Hiyerarşik kümeleme yöntemlerinden Ward's yöntemi uygulanmıştır. Ward's yöntemi daha anlamlı küme yapıları ortaya çıkardığı için bu yöntem tercih edilmiştir. Birimler arasındaki uzaklıkların hesaplanmasında karesel öklid uzaklığı seçilmiştir. Değişkenlere ait ölçü birimleri sonucu doğrudan etkilediği için ham verilerin standardize edilmiş bir forma getirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle değişkenlere z-dönüştürmesi uygulanmıştır. Degaj olaylarının hangi sınıflara kümelendiği dendogram yardımıyla gösterilmiştir. Dendogram yardımıyla küme sayıları belirlenmiştir.

10.1. Hiyerarşik Kümeleme Yöntemi ile Küme Sayısının Belirlenmesi

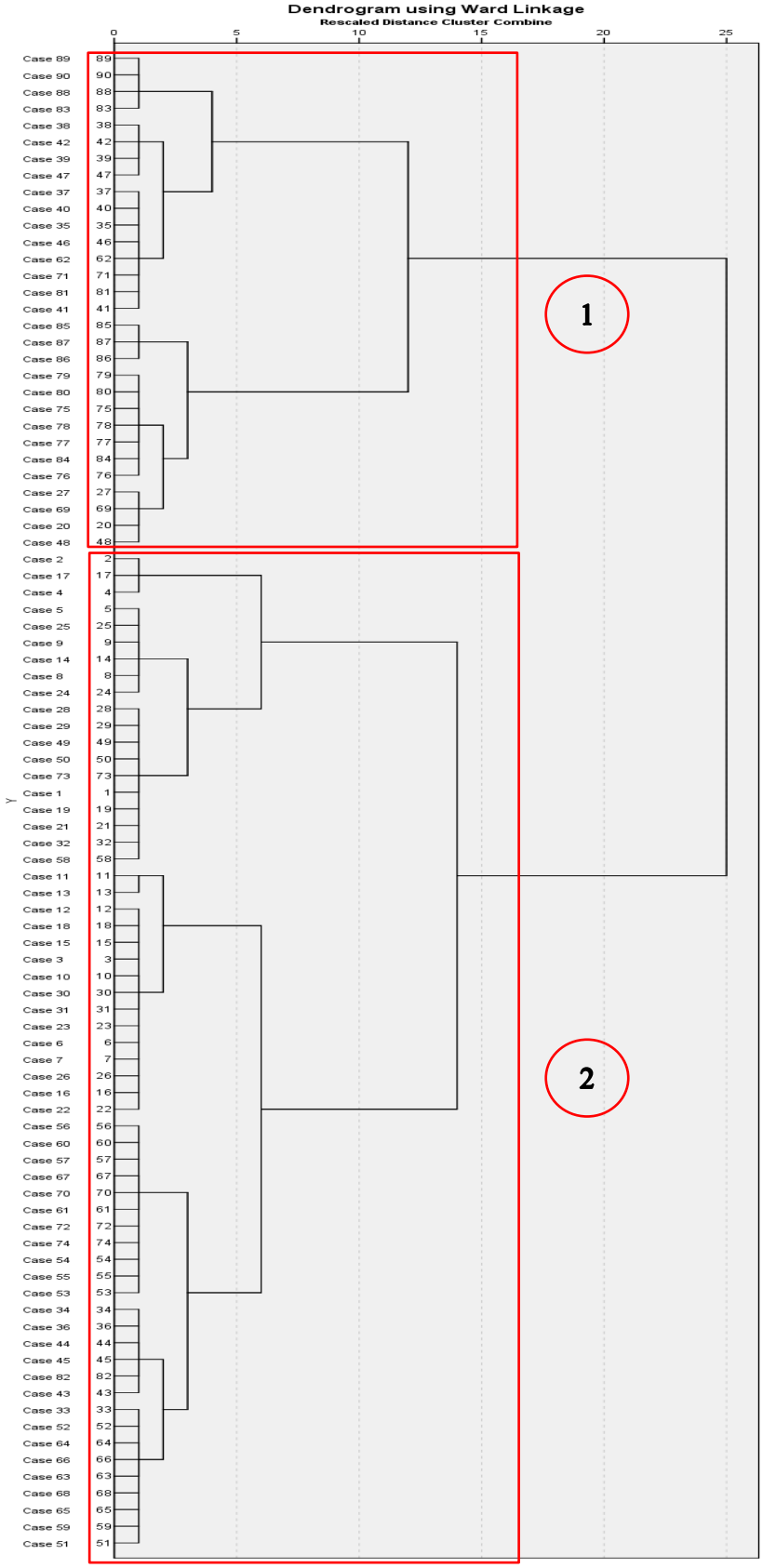
Öncelikle altı değişkenin tamamı için Kümeleme Analizi uygulanmış ve Şekil 10.1'deki dendogram elde edilmiştir.



Şekil 10.1. Tüm değişkenlere ait kümeleme analizi

Şekil 10.1 incelendiğinde, değişkenlerin iki ana kümede toplandığı gözlenmektedir. Oluşan kümelerin YEM'de oluşturulan ana ve yardımcı faktör grupları ile aynı olduğu tespit edilmiştir. Kümeleme Analizi ile *ÜD, Gİ, Nİ* bir küme oluşturmakta ve bu küme YEM analizi ile oluşturulan ana faktörler grubu ile aynıdır. Kümeleme Analizi ile oluşan ikinci kümede ise *DK, DE, FU* değişkenleri bulunmaktadır. Bu küme, YEM analizi ile oluşturulan yardımcı faktörler grubu ile aynıdır.

YEM ile değerlendirilen altı değişkenden dört tanesi degaj olaylarında etkili (*ÜD, Gİ, Nİ, FU*), iki tanesi (*DK, DE*) etkisiz olarak belirlenmiştir. Bu sebeple Kümeleme Analizi uygulaması dört etkili faktöre göre gerçekleştirilmiştir. Hiyerarşik kümeleme yöntemlerinden Ward's yöntemi ile yapılan Kümeleme Analizinin dendogram grafiği Şekil 10.2'de verilmiştir.



Şekil 10.2. Degaj olaylarına ait dendogram grafiği

Şekil 10.2 incelendiğinde, yatay eksen boyunca sağa doğru gidildikçe birbirine uzaklıkları daha az olan ve çok sayıda olayı içine alan yeni küme oluşumlarının ortaya çıktığı görülmektedir. Küme içerisindeki homojen yapıyı ve kümeler arasındaki heterojen yapıyı bozmamak suretiyle küme sayısı belirlenmiştir. Hiyerarşik kümeleme yöntemine göre degaj olayları 2 kümede toplanmıştır. Elde edilen küme üyelikleri Çizelge 10.1'de verilmiştir.

Çizelge 10.1. Yığışım tablosu (Agglomeration Schedule)

Aşama	Birleştirilmiş Küme		Katsayılar	Kümenin İlk Görüldüğü Aşama		Sonraki Aşama
	Küme 1	Küme 2		Küme 1	Küme 2	
1	89	90	0	0	0	2
2	88	89	0	0	1	48
3	79	80	0	0	0	54
4	63	68	0	0	0	10
5	56	60	0	0	0	19
6	44	45	0	0	0	41
7	28	29	0	0	0	58
8	12	18	0	0	0	12
9	6	7	0	0	0	22
10	63	65	0	4	0	14
11	64	66	0	0	0	27
12	12	15	0.001	8	0	44
13	5	25	0.001	0	0	50
14	59	63	0.002	0	10	27
15	85	87	0.005	0	0	21
16	37	40	0.009	0	0	63
17	67	70	0.013	0	0	24
18	30	31	0.02	0	0	31
19	56	57	0.031	5	0	47
20	54	55	0.043	0	0	35
21	85	86	0.057	15	0	82
22	6	26	0.071	9	0	36
23	16	22	0.086	0	0	36
24	61	67	0.104	0	17	47
25	3	10	0.124	0	0	44
26	75	78	0.149	0	0	34
27	59	64	0.174	14	11	52
28	11	13	0.208	0	0	77
29	77	84	0.248	0	0	34
30	1	19	0.299	0	0	39
31	23	30	0.358	0	18	53
32	33	52	0.434	0	0	71
33	72	74	0.516	0	0	55
34	75	77	0.621	26	29	54
35	53	54	0.731	0	20	55
38	34	36	1.094	0	0	59
39	1	21	1.283	30	0	68
40	62	71	1.475	0	0	46

Çizelge 10.1. Yığışım tablosu (Devam)

Aşama	Birleştirilmiş Küme		Katsayılar	Kümenin İlk Görüldüğü Aşama		Sonraki Aşama
	Küme 1	Küme 2		Küme 1	Küme 2	
41	44	82	1.699	6	0	59
42	35	46	1.968	0	0	56
43	27	69	2.294	0	0	72
44	3	12	2.629	25	12	70
45	38	42	3	0	0	74
46	62	81	3.381	40	0	56
47	56	61	3.763	19	24	67
48	83	88	4.2	0	2	84
49	32	58	4.648	0	0	68
50	5	9	5.102	13	37	57
51	20	48	5.578	0	0	72
52	51	59	6.075	0	27	71
53	6	23	6.647	36	31	70
54	75	79	7.221	34	3	65
55	53	72	7.828	35	33	67
56	35	62	8.435	42	46	63
57	5	8	9.134	50	0	61
58	28	49	9.953	7	0	66
59	34	44	10.781	38	41	69
60	50	73	11.625	0	0	66
61	5	24	12.524	57	0	83
62	2	17	13.446	0	0	73
63	35	37	14.455	56	16	75
64	39	47	15.474	0	0	74
65	75	76	16.554	54	0	79
66	28	50	17.869	58	60	76
67	53	56	19.205	55	47	81
68	1	32	20.754	39	49	76
69	34	43	22.316	59	0	78
70	3	6	24.027	44	53	77
73	2	4	29.849	62	0	85
74	38	39	32.034	45	64	80
75	35	41	35.987	63	0	80
76	1	28	40.089	68	66	83
77	3	11	44.58	70	28	86
78	33	34	49.524	71	69	81
79	20	75	54.769	72	65	82
80	35	38	62.205	75	74	84
81	33	53	70.932	78	67	86

Çizelge 10.1. Yığışım tablosu (Devam)

Aşama	Birleştirilmiş Küme		Katsayılar	Kümenin İlk Görüldüğü Aşama		Sonraki Aşama
	Küme 1	Küme 2		Küme 1	Küme 2	
82	20	85	80.82	79	21	87
83	1	5	91.945	76	61	85
84	35	83	104.851	80	48	87
85	1	2	125.455	83	73	88
86	3	33	149.764	77	81	88
87	20	35	196.989	82	84	89
88	1	3	253.078	85	86	89
89	1	20	356	88	87	0

Çizelge 10.1'deki ilk sütun, degaj olaylarının kaç aşamadan sonra tek bir küme altında toplanabildiğini göstermektedir. "Birleştirilmiş Küme" sütununda verilerin birbirine yakınlık durumları Küme 1 ve Küme 2 sütunları dikkate alınarak belirlenebilmektedir. Örneğin ilk aşamada Küme 1' deki Olay No 89 ile Küme 2' deki Olay No 90 birbirine en yakın gözlemlerdir. "Katsayılar" sütunu veriler arasındaki mesafeyi göstermektedir. "Kümenin İlk Görüldüğü Aşama" sütunu her bir satırdaki kümenin hangi aşamada oluştuğunu göstermektedir. "Sonraki Aşama" sütununda ise kaçıncı aşamada iki veriye yeni bir veri eklendiği belirlenmektedir. Şekil 10.2'de elde edilen dendogram grafiğinde oluşan küme grupları Çizelge 10.2'de özetlenmiştir. Hangi olayın hangi kümeye ait olduğu bu çizelgeyle görülebilmektedir.

Çizelge 10.2. Hiyerarşik kümeleme yöntemi sonucunda oluşan küme yapısı

KÜME 1	KÜME 2	
Olay No 1	Olay No 33	Olay No 20
Olay No 2	Olay No 34	Olay No 27
Olay No 3	Olay No 36	Olay No 35
Olay No 4	Olay No 43	Olay No 37
Olay No 5	Olay No 44	Olay No 38
Olay No 6	Olay No 45	Olay No 39
Olay No 7	Olay No 49	Olay No 40
Olay No 8	Olay No 50	Olay No 41
Olay No 9	Olay No 51	Olay No 42
Olay No 10	Olay No 52	Olay No 46
Olay No 11	Olay No 53	Olay No 47
Olay No 12	Olay No 54	Olay No 48
Olay No 13	Olay No 55	Olay No 62
Olay No 14	Olay No 56	Olay No 69
Olay No 15	Olay No 57	Olay No 71
Olay No 16	Olay No 58	Olay No 75
Olay No 17	Olay No 59	Olay No 76
Olay No 18	Olay No 60	Olay No 77
Olay No 19	Olay No 61	Olay No 78
Olay No 21	Olay No 63	Olay No 79
Olay No 22	Olay No 64	Olay No 80
Olay No 23	Olay No 65	Olay No 81
Olay No 24	Olay No 66	Olay No 83
Olay No 25	Olay No 67	Olay No 84
Olay No 26	Olay No 68	Olay No 85
Olay No 28	Olay No 70	Olay No 86
Olay No 29	Olay No 72	Olay No 87
Olay No 30	Olay No 73	Olay No 88
Olay No 31	Olay No 74	Olay No 89
Olay No 32	Olay No 82	Olay No 90

10.2. Küme Yapılarının Test Edilmesi

Kümeleme Analizi sonucunda ortaya çıkan küme yapılarının doğruluğunu test etmek amacıyla çok değişkenli varyans analizi (MANOVA) yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 10.3'de verilmiştir. Hipotezler ise aşağıdaki şekilde kurulmuştur.

H_0 : Kümeler bakımından grup ortalama vektörleri birbirine eşittir.

H_1 : Kümeler bakımından en az bir grup ortalama vektörü diğerlerinden farklıdır.

Çizelge 10.3. Oluşturulan kümelere ait MANOVA analizi

Testler	Değer	F	s.d. (Hip)	s.d. (Hata)	Anlamlılık değeri (p)
Pillai's Trace	0.770	71.151	4.000	85.000	0.000
Wilks' Lambda	0.230	71.151	4.000	85.000	0.000
Hotelling's Trace	3.348	71.151	4.000	85.000	0.000
Roy's Largest Root	3.348	71.151	4.000	85.000	0.000

Kümeler bakımından dört farklı çok değişkenli istatistik sonucu 0.05 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Buna dayanarak iki küme arasında değişkenler açısından anlamlı bir fark bulunmaktadır ($p<0.05$). Gruplar arası fark yoktur (grup ortalama vektörleri birbirine eşittir) anlamını taşıyan H_0 hipotezi reddedilir. Böylece gruplar arası farkın anlamlı olduğuna ve oluşan küme yapılarının uygunluğuna karar verilir.

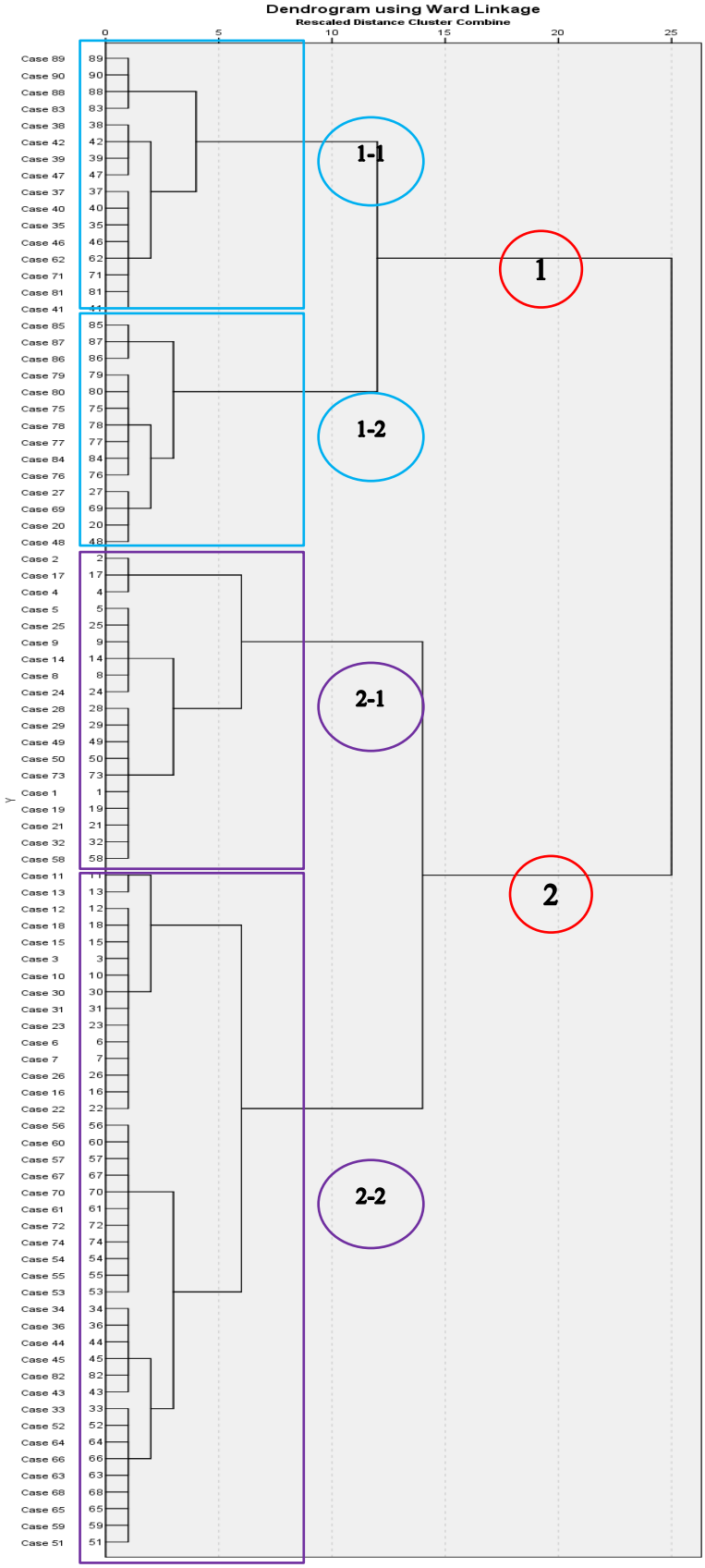
10.3. Küme Yapılarının Değerlendirilmesi

Bölüm 9’da YEM yöntemiyle degaj olaylarının değerlendirilmesi sonucunda, Zonguldak Taşkömürü Havzası için; üretim derinliğinin, gaz içeriğinin, nem içeriğinin artış göstermesi ve faya uzaklığın azalması durumunda degaj olasılığının artacağı sonucu elde edilmişti. Kümeleme Analizi sonucu elde edilen küme yapılarının risk dereceleri bu sonuca göre belirlenmiştir. Değişkenlerin kümelerdeki ortalamaları Çizelge 10.4’de verilmiştir.

Çizelge 10.4. Değişkenler bazında risk dereceleri

		KÜME 1	KÜME 2	
DEĞİŞKEN	RİSK DERECESİ	Olay No 20	Olay No 1	Olay No 33
		Olay No 27	Olay No 2	Olay No 34
		Olay No 35	Olay No 3	Olay No 36
		Olay No 37	Olay No 4	Olay No 43
		Olay No 38	Olay No 5	Olay No 44
		Olay No 39	Olay No 6	Olay No 45
		Olay No 40	Olay No 7	Olay No 49
		Olay No 41	Olay No 8	Olay No 50
		Olay No 42	Olay No 9	Olay No 51
		Olay No 46	Olay No 10	Olay No 52
		Olay No 47	Olay No 11	Olay No 53
		Olay No 48	Olay No 12	Olay No 54
		Olay No 62	Olay No 13	Olay No 55
		Olay No 69	Olay No 14	Olay No 56
		Olay No 71	Olay No 15	Olay No 57
		Olay No 75	Olay No 16	Olay No 58
		Olay No 76	Olay No 17	Olay No 59
		Olay No 77	Olay No 18	Olay No 60
		Olay No 78	Olay No 19	Olay No 61
		Olay No 79	Olay No 21	Olay No 63
		Olay No 80	Olay No 22	Olay No 64
		Olay No 81	Olay No 23	Olay No 65
		Olay No 83	Olay No 24	Olay No 66
		Olay No 84	Olay No 25	Olay No 67
		Olay No 85	Olay No 26	Olay No 68
		Olay No 86	Olay No 28	Olay No 70
		Olay No 87	Olay No 29	Olay No 72
		Olay No 88	Olay No 30	Olay No 73
		Olay No 89	Olay No 31	Olay No 74
		Olay No 90	Olay No 32	Olay No 82
ÜD	Risk Derecesi	1	2	
Gİ	Risk Derecesi	1	2	
Nİ	Risk Derecesi	1	2	
FU	Risk Derecesi	1	2	
DEĞİŞKEN ORTALAMALARI		ÜD: 462.80 m, Gİ: 9.72 m^3/t, Nİ: % 2.24, FU: 14.17 m	ÜD: 356.80 m, Gİ: 5.20 m^3/t, Nİ: % 0.97, FU: 23.92 m	

Değişkenler bazında küme ortalamaları incelendiğinde, Küme 1'i oluşturan kömür damarlarının *ÜD, Gİ* ve *Nİ* ortalamalarının Küme 2'ye göre yüksek, *FU* ortalamasının ise Küme 2'den düşük olduğu görülmektedir. Buna göre tüm değişkenler açısından Küme 1 birinci derecede riskli, Küme 2 ise ikinci derecede risklidir. Şekil 10.2'deki dendogram detaylı incelendiğinde, Küme 1 ve Küme 2'nin alt kümelere ayrıldığı görülmektedir. Şekil 10.3'de oluşan alt kümeler belirtilmiştir.



Şekil 10.3. Küme 1 ve Küme 2 alt küme grupları

Şekil 10.3'de Küme 1'e ait alt kümeler Küme 1-1 ve Küme 1-2 olarak adlandırılmıştır. Bu iki kümeye ait detaylar Çizelge 10.5'de verilmiştir.

Çizelge 10.5. Küme 1-1 ve Küme 1-2 değişken ortalamaları

		KÜME 1	
		KÜME 1-1	KÜME 1-2
		Olay No 35 Olay No 37 Olay No 38 Olay No 39 Olay No 40 Olay No 41 Olay No 42 Olay No 46 Olay No 47 Olay No 62 Olay No 71 Olay No 81 Olay No 83 Olay No 88 Olay No 89 Olay No 90	Olay No 20 Olay No 27 Olay No 48 Olay No 69 Olay No 75 Olay No 76 Olay No 77 Olay No 78 Olay No 79 Olay No 80 Olay No 84 Olay No 85 Olay No 86 Olay No 87
ÜD	Risk Derecesi	2	1
Gİ	Risk Derecesi	2	1
Nİ	Risk Derecesi	1	2
FU	Risk Derecesi	2	1
DEĞİŞKEN ORTALAMALARI		ÜD: 457 m Gİ: 7.20 m^3/t Nİ: % 2.90 FU: 15 m	ÜD: 469 m Gİ: 12 m^3/t Nİ: % 1.39 FU: 12 m

Yüksek *ÜD, Gİ, Nİ* ve düşük *FU* koşullarında degaj riskinin artması göz önünde bulundurulduğunda, Küme 1-2 *Nİ* değişkeni dışında diğer tüm değişkenler bakımından Küme 1-1'e göre risklidir. Küme 1-1 sadece *Nİ* değişkeni açısından Küme 1-2'ye göre risklidir. *ÜD, Gİ* ve *FU* değişken ortalamaları göz önünde bulundurularak genel bir değerlendirme yapıldığında, Küme 1-2'de bulunan kömür damarları Küme 1-1'e göre risklidir.

Şekil 10.3'de Küme 2'ye ait alt kümeler Küme 2-1 ve Küme 2-2 olarak adlandırılmıştır. Bu iki kümeye ait detaylar Çizelge 10.6'da verilmiştir.

Çizelge 10.6. Küme 2-1 ve Küme 2-2 değişken ortalamaları

		KÜME 2	
		KÜME 2-1	KÜME 2-2
		Olay No 1 Olay No 2 Olay No 4 Olay No 5 Olay No 8 Olay No 9 Olay No 14 Olay No 17 Olay No 19 Olay No 21 Olay No 24 Olay No 25 Olay No 28 Olay No 29 Olay No 32 Olay No 49 Olay No 50 Olay No 58 Olay No 73	Olay No 3 Olay No 51 Olay No 6 Olay No 52 Olay No 7 Olay No 53 Olay No 10 Olay No 54 Olay No 11 Olay No 55 Olay No 12 Olay No 56 Olay No 13 Olay No 57 Olay No 15 Olay No 59 Olay No 16 Olay No 60 Olay No 18 Olay No 61 Olay No 22 Olay No 63 Olay No 23 Olay No 64 Olay No 26 Olay No 65 Olay No 30 Olay No 66 Olay No 31 Olay No 67 Olay No 33 Olay No 68 Olay No 34 Olay No 70 Olay No 36 Olay No 72 Olay No 43 Olay No 74 Olay No 44 Olay No 82 Olay No 45
ÜD	Risk Derecesi	2	1
Gİ	Risk Derecesi	1	2
Nİ	Risk Derecesi	2	1
FU	Risk Derecesi	2	1
DEĞİŞKEN ORTALAMALARI		ÜD: 317.78 m Gİ: 5.23 m^3/t Nİ: % 0.74 FU: 67.63 m	ÜD: 374.87 m Gİ: 5.18 m^3/t Nİ: % 1.07 FU: 3.65 m

Küme 2-1 ve 2-2 ye ait küme ortalamalarına göre değerlendirme yapıldığında; Küme 2-1 *Gİ* değişkeni açısından, Küme 2-2 ise *ÜD, Nİ* ve *FU* değişkenleri açısından risklidir. Genel bir değerlendirme yapıldığında; her iki kümenin *ÜD, Gİ* ve *Nİ* ortalamaları birbirine yakın olmakla birlikte *FU* ortalamaları açısından birbirine göre farklılık göze çarpmaktadır. Küme 2-1'in *FU* ortalaması Küme 2-2 ye göre daha yüksektir. *FU*

azaldıkça degaj olasılığının arttığı göz önünde bulundurulduğunda Küme 2-2, Küme 2-1'e göre daha riskli kömür damarlarına sahip olduğu şeklinde genel bir risk analizi yapılabilir.

11. BULGULAR VE TARTIŞMA

11.1. YEM Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Degaj olaylarının mekanizması 1800'lü yıllardan beri araştırılmakta ancak günümüzde halen kömür madenciliği açısından tehlike oluşturmaya devam etmektedir. (Guan vd., 2009). YEM analizi sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

11.1.1. Ana faktörlerin etkisi

YEM analizi sonucunda elde edilen ana faktörlere ait sonuçlar Çizelge 11.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 11.1. YEM yöntemine göre ana faktörlerin sonuçları

Önem Sıralaması	Faktör	Standardize Regresyon Katsayısı	p
1	Üretim Derinliği	0.979	***
2	Gaz İçeriği	0.576	
3	Nem İçeriği	0.402	***

Üretim derinliğinin artması, degaj riskini arttırmaktadır. Çünkü yüzeye yakın kömür damarlarındaki metan, doğal kırık ve çatlaklardan sızarak atmosfere ulaşabilmektedir. Bu da damarın rahatlamasına yol açmakta ve degaj riskini azaltmaktadır. Fakat derinlik artışıyla birlikte damar içerisinde gaz birikecek ve yeryüzüne sızamayacaktır. Madencilik faaliyetleri nedeniyle oluşan kırık ve çatlaklar yoluyla gazın sızma isteği artacak, uygun şartların oluşması durumunda degajlar meydana gelebilecektir (Lama ve Bondziony, 1998). *ÜD* faktörünün degaj ile istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$) ve pozitif (β: 0.979) yönlü bir ilişkisi olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu sonuç literatürle (Haifeng vd., 2013; Wang vd. 2014; Zhai vd. 2016) uyumludur. Artan üretim derinliklerinde degaj olasılığı bulunmaktadır. Bunun sebebi, derinliğin artması sonucu kömürün üstüne binen basıncın artmasıdır. Basıncın artması kömürün fiziksel yapısını bozarak ufalar ve gözenekli hale getirir. Ufalanan kömür, gaz basıncına daha az dayanır ve

degajın kolaylaşmasına sebep olur (Bodziony ve Lama, 1996). Degaj tehlikesinin oluştuğu minimum derinlik, farklı metamorfizm derecesindeki kömürler için ayrıdır. Örneğin Ukrayna Donetsk taş kömür havzasında ilk degaj olayı 150 m derinlikte yaşanmıştır.

Gİ, degajların oluşmasına etki eden önemli bir faktördür. Yüksek gaz içeriğine sahip damarlar degaj eğilimindedirler (Cao vd., 2001). Kömür damarlarında bir patlamanın meydana gelmesi için belirli bir minimum gaz içeriği tespit edilmiştir. Bu kritik değer, kömürün dayanım özelliklerine, geçirgenliğine ve jeolojik koşullarına bağlıdır. Genellikle, 8 m^3/t'dan daha büyük bir gaz içeriği, diğer koşullar elverişli ise, degajı başlatmak için yeterli kabul edilir (Lama ve Bodziony, 1998). Avustralya ve Almanya'daki ampirik deneyimlerine bağlı olarak metan için eşik değeri 9 m^3/t olarak belirlenmiştir (Beamish ve Crosdale, 1998). Fakat belirtilen bu rakamın aksine Zhou vd. (2017), kömür dayanımı, gaz basıncı ve damardaki etkin gerilmeler gibi faktörleri, degaj olayları için gerekli minimum gaz içeriğinin daha da düşmesine ya da artmasına sebep olabileceğini belirtmişlerdir. *Gİ* faktörü degaj ile pozitif (β: 0.576) yönlü ilişkiye sahiptir Bu sonuç literatürle (Cao vd., 2001; Haifeng vd., 2013) uyumludur.

Kömürler, doğal durumlarında değişik miktarlarda su içermektedirler. Kömürdeki su, esas olara, ya gözeneklerin iç yüzeyine bağlı ve mikro çatlaklarda yoğuşmuş durumda (bağlı nem) ya da serbest durumda (kaba nem) bulunur. Kömürdeki nem içeriği, kömürleşme derecesi arttıkça azalmaktadır. Serbest nemin, metan gazının soğurulacağı yüzey alanını ne şekilde etkilediği ile ilgili kesin bir şey söylemek mümkün değildir. Fakat yoğuşmuş durumda bulunan nem miktarındaki artışın kömür gaz soğurma kapasitesini azalttığı bilinmektedir (Çakır, 1994). Nem içeriğinin degaj olayları üzerinde önemli bir etkisi vardır. Nem, kömür üretimi sırasında gaz yayılım enerjisini düşürür. Degaja sebep olabilecek bu enerjinin azalması neticesinde olayın meydana gelme olasılığı da azalır (Yin vd., 2016). Bu açıklamalar doğrultusunda, *Nİ* ile degaj arasında negatif yönlü bir ilişki olması beklenmektedir. *Nİ* faktörünün degaj ile istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$) ve pozitif (β: 0.402) yönlü bir ilişkisi olduğu sonucu elde edilmiştir. Bulunan sonuç literatürle uyumlu değildir. Bunun muhtemel sebebinin, kayaçların ısıl iletkenliklerinde ve ısı kapasitelerindeki farklılıklar nedeniyle olabileceği Yin vd. (2016) tarafından açıklanmıştır. *Nİ*, kömürleşme nedeniyle belirli bir değere düşer fakat kömür yatağının sedimantasyon ve

postsedimantasyon dönemlerinde maruz kaldığı koşullar sebebiyle daha sonar tekrar artabilir (Sivek vd., 2010).

11.1.2. Yardımcı faktörlerin etkisi

YEM analizi sonucunda elde edilen ana faktörlere ait sonuçlar Çizelge 11.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 11.2. YEM yöntemine göre yardımcı faktörlerin sonuçları

Önem Sıralaması	Faktör	Standardize Regresyon Katsayısı	p
1	Faya Uzaklık	-0.311	0.023
2	Damar Eğimi	-0.105	0.311
3	Damar Kalınlığı	-0.054	0.607

Fay tipleri arasında normal faylar, degaj olasılıklarını arttırırken oluşum mekanizmaları da gaz akışını veya gaz bulundurma potansiyellerini etkiler. Benzer şekilde, senklinal kıvrım içeren damar ya da yan kayaçlar degajlara antiklinal kıvrımlara nazaran daha eğilimlidirler. Tektonik aktiviteye bağlı olarak üretilen basınçlar nedeniyle faylar itme ve geri çekilme hareketi yaparlar. Kömür damarlarında sık sık fayların görülmesi, civarda bulunan katmanlarda da kırılgan bir yapının bulunduğuna işaret eder. Bu nedenle; birbirine komşu, genellikle ezilmiş ve pulverize olmuş kömür damarlarının bünyelerinde bulunan gazların depolanmasında ve göç karakteristiklerinde, lokal olarak belirgin değişikler meydana gelir. Kuzeybatı Anadolu Taşkömürü Havzası da Hersiniyen ve Alpin gibi birbirinden farklı dönemlerde meydana gelen orojenezlerden etkilendiği için kömür damarları ve yan kayaçlar yoğun olarak faylı ve kırıklıdır. Büyük ölçekli faylar, degajlar için iletim hattı gibi davranırlar. Dolayısıyla bu faylar, birbirine yakın konumda bulunan kömür damarlarından kaynaklanan gaz emisyonlarının ocaktaki çalışma ortamına kolayca iletilmesi için kanal görevi görürler. TTK Kozlu İşletmesi ocaklarında tanımlanan ve "degaj zonu" olarak isimlendirilen fayı bu duruma örnek gösterebiliriz (Baltaş ve Öney, 2012). Bu sebeple, degajlar fay zonu ve yakınlarında yoğun olarak meydana gelmekte, *FU* azaldıkça degaj riski artmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, *FU* değişkeni ile degaj

arasında istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$) ve negatif (β: -0.105) yönlü bir ilişki vardır. Bu sebeple çalışmanın H_3 hipotezi kabul edilmiştir. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda degaj olaylarının oluşumunda *FU* faktörünün etkisi vardır. Bu sonuç literatürle (Haifeng vd., 2013; Wang vd., 2014; Chen vd., 2018;) uyumludur.

DE artıkça kömürün taban taşı ve ara kesmelerin oluşturduğu süreksizlik düzlemleri üzerinde kazı boşluğuna doğru kayma olasılığı da artmaktadır (Esen, 2013). Bu faktör, kolay kırılabilen kömür damarları için önemli olup, fazla meyillerde olayın meydana gelişi hızlanabilmektedir. Özellikle dik damarlarda sürülen baş yukarılarda yerçekimi kuvveti degajların lehine çalışmaktadır Dik veya dike yakın eğimli damarlarda, düşük gaz içeriklerinde bile degaj olasılığı düz damarlara göre daha yüksektir (Lama ve Bondziony, 1998). Elde edilen sonuçlara göre, *DE* ile degaj arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamsızdır ($p>0.05$). Bu sebeple çalışmanın H_2 hipotezi reddedilmiştir. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda degaj olaylarının oluşumunda, *DE* faktörünün etkisi yoktur. Ujihira ve Higuchi (1986) yaptıkları çalışmada, degaj olayı ile *DE* arasında zayıf ilişki tespit etmişlerdir (korelasyon katsayısı:0.346). Donetsk kömür madeninde meydana gelen 1191 adet degajdan sadece 3 tanesinin dik damarda meydana geldiği belirlenmiştir. Ayrıca, eşit ayak uzunlundaki üç farklı dik damarda oluşan degajlar incelenmiş ve oluşum yüzdeleri sırasıyla %55, %25 ve %20 olarak belirlenmiştir. Olayların aynı eğimlerdeki damarlarda farklı yüzdelerde meydana gelmesi sebebiyle eğim faktörüyle degaj arasında bir ilişki olmadığını açıklamıştır (Bodziony ve Lama, 1996).

Depolamaya daha elverişli olan geniş çaplı zonlar içermeleri nedeniyle kalın kömür damarları, ince kömür damarlarına nazaran degaj olaylarına daha yatkındırlar. Degajı tetikleyen enerji miktarı, ince damarlara göre daha yüksektir (Lama ve Bodziony, 1998). Elde edilen sonuçlara göre, *DK* ile degaj arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamsızdır ($p>0.05$). Bu sebeple çalışmanın H_1 hipotezi reddedilmiştir. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda degaj olaylarının oluşumunda *DK* faktörünün etkisi yoktur. Benzer bir sonuç Swift (1964) tarafından elde edilmiştir. Swift (1964), South Wales kömür madeninde 0.6-4.6 m arasında kalınlıklara sahip damarları incelemiş ve degaj ile *DK* arasında ilişki tespit edememiştir (Bodziony ve Lama, 1996). Balkan kömür havzasında yapılan incelemelerde olayların 0.4 m ile 2 m arasında değişen damarlarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Yapılan araştırmada kömür damarları son derece düşük mukavemet dayanımına sahip,

yumuşak ve faylı kuşaklar içermektedir (TTK, 2012). Çizelge 11.3'de dünyada ince kömür damarlarında yaşanan degajlara ait özellikler verilmiştir (TTK, 2013). Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda degaj olaylarının meydana geldiği yerlerde damarın inceldiği, yani kömürün sıktığı tespit edilmiştir. Sıkma olan yerde kömür üzerine gelen basınç nedeniyle geçirgenlik azalmakta ve içerisinde bulunan çatlakların aralıkları kapanmaktadır. Damarın tekrar kalınlaştığı yerde ise kömür gevşemekte ve karşı gaz basıncını karşılayamayacak derecede zayıflamaktadır. Böyle zayıflamış bir bölgenin arkasında degaj olayına meyilli bir kısım bulunuyorsa, bu şekilde bir damar geçişi esnasında degaj olayı meydana gelebilmektedir (Baltaş ve Öney, 2012).

Çizelge 11.3. Dünyada kömür ocaklarında yaşanan degaj olaylarının özellikleri

Degaj Yeri (Ocak, damar, galeri)	Damar Kalınlığı (m)	Damar Eğimi (º)	Degaj Yerindeki Jeolojik Özellikler
N.İzotov, Tonkiy, havalandırma enine kesit	0.80	60	Tüm damar kalınlığı boyunca yumuşak kömürün yoğun şekilde ezilmesi
Karl Marks, Anatolievsk, ana enine kesit	0.80	66	İkincil monoklinal kıvrım, damar kalınlığının 0.3 m kadar incelmesi, ezilmiş kömür tabakasının mevcudiyeti
Krasnıy Profintern, Anatolievsk, giriş	0.60	67	0.25 m kalınlığında ezilmiş kömür tabakasının ve deformeli ara tabakaların mevcudiyeti
Kondratievka, Tolstıy, ana enine kesit	1.20	55	Ezilmiş damar kalınlığının 1.95 m kadar artmasıyla jeolojik bozunum
Glubokaya, Praskovievsk, eğimli enine kesit	0.68	27	Damar kalınlığı ve eğim açısısnın değişimiyle jeolojik bozunum
Artema, Mazurka, güney enine kesit	1.10	60	0.35 m kalınlığında deforme, ezilmiş kömür tabakasının mevcudiyeti
K.E.Voroşilov, Tolstıy, enine kesit	1.20	58	Damar kalınlığının 1.6m kadar artması, Kömür mukavemetinin değişmesi ve ezilmesi
N.İzotov, Tonkiy, enine kesit	1.00	60	Tüm damar kalınlığı boyunca yumuşak kömürün yoğun şekilde ezilmesi
Sotsiolistiçeskiy, Praskovievsk, nakliye enine kesit	0.75	9	Kömür mukavemetinin azalması, damarın tüm kalınlığı boyunca ezilme
F.E. Dzerjinskogo, Derezovka, şarj hücresi	0.62	55	Damarın tüm kalınlığı boyunca deforme ve ezilmiş kömür
Krasnıy Profintern, Anatolievsk, su biriktirici	0.65	62	Damarın tüm kalınlığı boyunca deforme ve ezilmiş kömür
Rumyantsev, Rudnıy, bağlantı	0.57	55	Kömür kalınlığı ve mukavemetinin azalması
F.E. Dzerjinskogo, Derezovka, yük nakliye hattı	0.80	56	Kömür mukavemetinin azalması, damarın tüm kalınlığı boyunca ezilme
Glubokaya, Mandrıkinsk, havalandırma enine kesit	0.70	8	Tüm damar kalınlığı boyunca deforme ve ezilmiş kömür
Komsomolets, Pugaçevka, güney enine kesit	0.48	51	Damar kalınlığı ve eğim açısısnın değişmesi, kömür tabakaları ve kaya ara tabakalarının deformasyonu
Karl Marks, Mazurka, doğu enine kesit	1.50	63	Kömür mukavemetinin azalması, damarın tüm kalınlığı boyunca ezilme

11.2. Kümeleme Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda meydana gelen degaj olayları iki ana kümeye ayrılmıştır (Küme 1 ve Küme 2). İki küme üretim derinliği açısından karşılaştırıldığında; Küme 1 ortalama 462.80 m, Küme 2 ise 356.80 m üretim derinliğine sahiptir. Artan üretim derinliklerinde degaj olasılığı da artmaktadır. Bunun sebebi, derinliğin artması sonucu kömürün üstüne binen basıncın artmasıdır. Basıncın artması kömürün fiziksel yapısını bozarak ufalar ve gözenekli hale getirir. Ufalanan kömür gaz basıncına daha az dayanır ve degajların kolaylaşmasına sebep olur (Bodziony ve Lama, 1996; Wang vd., 2014; Zhai vd. 2016). Degaj tehlikesinin oluştuğu minimum derinlik, farklı metamorfizm derecesine sahip kömürler için değişkenlik göstermektedir.

Gaz içerikleri açısından kıyaslandığında ise Küme 1'de ortalama 9.72 m^3/t gaz içeriğine sahip damarlar, Küme 2'de ise bu değerin altındaki damarlar bir araya gelmiştir. Ukrayna Donetsk kömür havzası taş kömür yataklarında 5 m^3/t gaz içeriğinde degaj olayları yaşanmıştır. Bu havzadaki kömür damarlarında düşük gaz içeriğinde yaşanmasının sebebi, kömür yatağının karmaşık tektonik yapılı ve kömürlü tortuları yüksek derecede bozunumlu olması olarak belirtilmiştir (TTK, 2013). Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda yaşanan degaj olaylarından önce genellikle kömür arını çok sert bir yapı göstermekte, hatta kazıyı zorlaştıracak kadar mukavemet göstermektedir. Bu nedenle, böyle bir arın gerisinde, basınç altında bulunan gazın çıkması zorlaşmakta, hatta imkansız hale gelmektedir. Olaylar meydana gelmeden önce gaz tespiti için yapılan ölçümlerde genel olarak düşük metan içerikleri bulunmuştur. Olayları takiben yapılan ölçümlerde ise %6-10'un çok üzerinde metan tespit edilmiştir. Bu şekilde olan bir kazı arınında ilerleme devam ettikçe, kömür içinde bulunan gaz basıncını karşılayan kısmın kalınlığı azalmakta ve belirli bir kalınlıkta kömür gaz basıncına mukavemet edemeyerek parçalanmaktadır (Saltoğlu, 1975).

Küme 1'deki kömür damarlarının *Nİ* ortalaması, Küme 2'ye göre daha yüksektir. *Nİ* ortalamaları birinci derecede riskli damarlarda daha yüksek çıkmıştır. Kömürdeki nem oranındaki belirli bir artış, ısı iletkenlik katsayısının ve ısı kapasitesinin önemli ölçüde artmasına neden olur. Bu durum, koklaşma için gereken sürenin yanı sıra kömür yüzeyindeki sorpsiyon süreçlerinin hızını ve özgül ağırlığı da etkiler. Bitümlü kömürlerde, *Nİ*, kömürün türüne bağlı olarak (örneğin hava etkisiyle meydana gelen bozunma, ayrışma

sebebiyle) kademeli olarak artabilir. Alt bitümlü kömürlerde, ortam koşullarına bağlı olarak nemde önemli bir artış olurken, nem içeriğinde en düşük artış bitümlü kömür ve kok kömüründe meydana gelmektedir. *Nİ* ortam koşullarına, özellikle ortam sıcaklığına ve su buhar basıncına bağlıdır. Nem içeriğindeki artışın sebeplerini kesin olarak açıklamak zor olmakla birlikte, çeşitli jeolojik faktörlerin etkileşimi, kömür bileşimi ve yapısı, sedimanter çevre, çevreleyen kayaçların gözenekliliği ve tektonik yapıların yakınlığı gibi sebeplere bağlıdır (Sivek vd., 2010).

Degaj ile jeolojik olarak bozulan bölgeler arasında ilişki bulunmaktadır. Tektonik örselenmelerin karakteristik bir özelliği, genel olarak bölgesel veya yerel fayların varlığı ve bazen buna porfir (pegmatit, granit, siyanit, diyorit, gabro, peridotit vb. magmatik kayaçlar) veya kil ve kumtaşı etrüzyonlarıdır. Etrüzyonlar damarda düzensiz stres dağılımlarına neden olmaktadır (TTK, 2012). Bu bölgelerde makaslama, kömür mikro yapısını aşırı ince tanecik boyutuna getirerek yumuşak ve zayıf hale getirmiştir. Tektonik deformasyona uğramış bölgelerde kömür, tabakalı yapısını kaybetmiştir ve kataklastik kömür, granül yapılı kömür, milonitik kömür olarak kategorize edilen mikro yapısal olarak değişmiş formlara dönüşmüştür. Degajlar, genellikle fayı çevreleyen bu tektonik olarak değiştirilmiş kömür bölgesinde meydana gelmiştir. Bu değişmiş kömür düşük dayanım, ince tanecikler ve yüksek yüzey alanı sergiler; bunlar yüksek gaz emme kapasitesi ve desorpsiyon hızı üretir (Cao vd., 2001). Küme 1 ve Küme 2 *FU* bakımından kıyaslandığında; Küme 1'in *FU* ortalaması (14.17 m), Küme 2'ye göre düşüktür (23.92 m). Küme 1'deki kömür damarlarının faylı bölgelere yakın olması sebebiyle birinci derece riskli küme grubudur.

Küme 1 ve Küme 2'ye ait alt küme grupları, dendogram grafiğinde oluşan Küme 1-1, Küme 1-2, Küme 2-1 ve Küme 2-2 olarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Kümeleme Analizi ile degaj olaylarının değerlendirilmesi sonucunda oluşan küme yapıları değişken ortalamalarına göre gruplandırılmıştır. Kümeleme Analizi sonucunda oluşan kümelere ait değişken ortalamaları Çizelge 11.4'de verilmiştir.

Çizelge 11.4. Kümeler bazında değişken ortalamaları

	KÜME 1		KÜME 2		
	KÜME 1-1	KÜME 1-2	KÜME 2-1	KÜME 2-2	
KÜMELER	Olay No 35	Olay No 20	Olay No 1	Olay No 3	Olay No 51
	Olay No 37	Olay No 27	Olay No 2	Olay No 6	Olay No 52
	Olay No 38	Olay No 48	Olay No 4	Olay No 7	Olay No 53
	Olay No 39	Olay No 69	Olay No 5	Olay No 10	Olay No 54
	Olay No 40	Olay No 75	Olay No 8	Olay No 11	Olay No 55
	Olay No 41	Olay No 76	Olay No 9	Olay No 12	Olay No 56
	Olay No 42	Olay No 77	Olay No 14	Olay No 13	Olay No 57
	Olay No 46	Olay No 78	Olay No 17	Olay No 15	Olay No 59
	Olay No 47	Olay No 79	Olay No 19	Olay No 16	Olay No 60
	Olay No 62	Olay No 80	Olay No 21	Olay No 18	Olay No 61
	Olay No 71	Olay No 84	Olay No 24	Olay No 22	Olay No 63
	Olay No 81	Olay No 85	Olay No 25	Olay No 23	Olay No 64
	Olay No 83	Olay No 86	Olay No 28	Olay No 26	Olay No 65
	Olay No 88	Olay No 87	Olay No 29	Olay No 30	Olay No 66
	Olay No 89		Olay No 32	Olay No 31	Olay No 67
	Olay No 90		Olay No 49	Olay No 33	Olay No 68
			Olay No 50	Olay No 34	Olay No 70
			Olay No 58	Olay No 36	Olay No 72
			Olay No 73	Olay No 43	Olay No 74
				Olay No 44	Olay No 82
				Olay No 45	
DEĞİŞKEN ORTALAMASI	ÜD: 462.80 m Gİ: 9.72 m^3/t Nİ: % 2.24 FU: 14.17 m		ÜD: 356.80 m Gİ: 5.20 m^3/t Nİ: % 0.97 FU: 23.92 m		

Çizelge 11.4 incelendiğinde, Küme 1'in *ÜD*, *Gİ* ve *Nİ* değişkenlerinin ortalama değerleri yüksek, *FU* ortalamaları ise düşük olduğundan Küme 2'den riskli olduğu söylenebilir. Tüm kümeler için belirlenen risk dereceleri göz önünde bulundurularak Çizelge 11.5'de verilen risk indekslemesi yapılmıştır.

Çizelge 11.5. Risk indeksi

	KÜME 1		KÜME 2	
	KÜME 1-2	KÜME 1-1	KÜME 2-2	KÜME 2-1
RİSK İNDEKSİ	1	2	3	4
DEĞİŞKEN ORTALAMALARI	ÜD: 469 m Gİ: 12 m^3/t Nİ: % 1.39 FU: 12 m	ÜD: 457 m Gİ: 7.2 m^3/t Nİ: % 2.9 FU: 15 m	ÜD: 374.87 m Gİ: 5.18 m3/t Nİ: % 1.07 FU: 3.65 m	ÜD: 317.78 m Gİ: 5.23 m^3/t Nİ: % 0.74 FU: 67.63 m

Bölüm 10.3'de yapılan açıklamalar doğrultusunda Küme 1'e ait olan Küme 1-2'nin risk indeksi 1, Küme 1-1'in risk indeksi ise 2 olarak belirlenmiştir. Küme 1'e göre daha düşük riskli damarların bulunduğu Küme 2'yi oluşturan Küme 2-2'nin risk indeksi 3, Küme 2-1'in risk indeksi ise 4 olarak belirlenmiştir. Küme 1'e ait damarların *ÜD* 300-630 m, *Gİ* 5.76-16.9 m^3/t, *Nİ* % 1.15-4.62, *FU* 0-45 m aralığındadır. Diğer bir ifadeyle, 1 numaralı risk indeksinin özelliklerini taşıyan koşullarda degaj olayının meydana gelme olasılığı oldukça yüksektir. Bunu sırasıyla; diğer risk indeks değerine sahip olan koşulların izlediği söylenebilir. Bulunan risk indeksi sıralaması Zonguldak Taşkömürü Havzası için geliştirilmiş olup, literatürde verilmiş olan degaj olayları ile kıyaslandığında olayın meydana gelme koşullarının benzerlik taşıdığı görülebilmektedir.

12. SONUÇ VE ÖNERİLER

Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda meydana gelen degaj olaylarına etki eden faktörler YEM ve Kümeleme Analizi yöntemleri ile detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda açıklanmıştır.

- Degaj olaylarının incelenmesi amacıyla YEM yöntemi kullanılmıştır. Literatür araştırması sonucunda belirlenen altı adet değişken ile yapısal model oluşturulmuştur. Degaj olaylarına etki eden faktörler; *üretim derinliği, damar kalınlığı, damar eğimi, kömür damarı nem içeriği, gaz içeriği, faya uzaklık* olarak belirlenmiştir.

- Detaylı literatür araştırması sonucunda YEM ve Kümeleme Analizi yöntemleri ile degaj olaylarının analizine rastlanmamıştır. Bu çalışmada birden fazla değişkenin degaja etkileri tek bir model ile değerlendirilebilmiştir.

- Yapılan literatür araştırmasına göre, tez çalışmasında kullanılan değişkenler "ana faktörler" ve "yardımcı faktörler" olarak iki gruba ayrılmıştır. Ana faktörler degaj olayının oluşmasında doğrudan etkili faktörler, yardımcı faktörler ise olayın meydana gelmesinde dolaylı olarak etki eden faktörler olarak belirlenmiştir. *Gaz içeriği, üretim derinliği* ve *nem içeriği* değişkenleri "ana faktörler" kategorisinde değerlendirilmişlerdir. *Faya uzaklık, damar kalınlığı, damar eğimi* değişkenleri ise "yardımcı faktörler" kategorisinde incelenmişlerdir.

- İki aşamalı analiz yaklaşımı ile verilerin analizi gerçekleştirilmiştir. Ölçüm modeli ve yapısal model oluşturulmuştur. "Degaj olayı" gizil (gözlenemeyen) değişken olarak tanımlanmıştır. Degaj üç ana değişkenle ölçülmüştür. Degaj olayının oluşumunda doğrudan etkili olan *gaz içeriği, üretim derinliği* ve *nem içeriği* ana faktörleri gözlenen değişkenlerdir ve gizil değişkenle direkt olarak ilişkilendirilmişlerdir. Yapısal model ile yardımcı faktörlerin degaj olayına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

- Oluşturulan yapısal modelde *damar kalınlığı*, *damar eğimi* ve *faya uzaklık* faktörleri gözlenen dışsal (exogenous) değişkenlerdir. *Gaz içeriği, üretim derinliği ve nem içeriği* değişkenleri gözlenen (endogenous) değişkenlerdir.

- Model uyum değerlendirme aşamasında önce ölçüm modeli analiz edilmiştir. Ölçüm modelinin AMOS programında yürütülmesi neticesinde ölçüm modelinin serbestlik derecesi 0 olarak elde edilmiştir. Bu durum ölçüm modelinin veriye mükemmel uyum sağladığını göstermektedir. Ölçüm modelinde bir sorun olmadığı anlaşıldıktan sonra ikinci aşama olan yapısal modelin kurulumu gerçekleştirilmiştir.

- Çalışmadaki tüm analizlerde p değerleri 0.05 anlamlılık düzeyinde test edilmiştir. Ölçüm modelindeki değişkenler arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak anlamlıdır.

- Ölçüm modelinin β katsayıları incelendiğinde, tümünün pozitif olduğu görülmektedir. Bu nedenle üç değişken de degaj olayı üzerine pozitif yönde etki etmektedir. Degaj olayının oluşumuna etki eden en önemli faktör 0.940 regresyon katsayısına sahip olan *üretim derinliği* değişkenidir. *Gaz içeriği* değişkeni degaja etki eden ikinci önemli faktördür (β:0.601). *Nem içeriği* ise üçüncü önemli değişkendir (β:0.418).

- Yapısal model yürütüldüğünde uyum iyiliği değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu tespit edilmiştir. Modelin uyum değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu ve modelin yapısal olarak uygun olduğuna ilişkin yeterli kanıtların sağlandığı gözlenmiştir. Bu sebeple modelde modifikasyon yapılmasına gerek duyulmamıştır. Geliştirilen yapısal eşitlik modelinin modele ait verilere uyum gösterdiği ve istatistiksel olarak modelin kabul edilebilir olduğu sonucu elde edilmiştir.

- YEM analizi ile ana faktörlerin etkisi değerlendirilmiştir. Artan üretim derinliği ile birlikte degaj olasılığı artmaktadır. YEM sonucunda, *üretim derinliği* değişkeninin degaj ile istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$) ve pozitif (β: 0.979) yönlü bir ilişkisi olduğu elde edilmiştir. Bulunan sonuç literatürle uyumludur. Yüksek gaz içeriğine sahip damarlar degaj eğilimindedirler. *Gaz içeriği* değişkeni degaj ile pozitif (β: 0.576) yönlü ilişkiye sahiptir. Bu sonuç literatürle uyumludur. Literatürde nem

içeriği ile degaj arasında negatif yönlü bir ilişki olduğu açıklanmıştır. *Nem içeriği* faktörünün degaj ile istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$) ve pozitif (β: 0.402) yönlü bir ilişkisi olduğu sonucu elde edilmiştir. Bulunan sonuç literatürle uyumlu değildir. Bunun muhtemel sebebinin, kayaçların ısıl iletkenliklerinde ve ısı kapasitelerindeki farklılıklar nedeniyle olabileceği şeklinde açıklanmıştır.

- YEM analizi ile yardımcı faktörlerin etkisi değerlendirilmiştir. Eğim artıkça degaj olasılığı artmaktadır. Özellikle, dik damarlarda sürülen baş yukarılarda yerçekimi kuvveti degaj lehine çalışmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, *damar eğimi* ile degaj arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamsızdır ($p>0.05$). Bu sebeple çalışmanın H_2 hipotezi reddedilmiştir. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda degaj olaylarının oluşumunda *damar eğimi* faktörünün etkisi yoktur. Literatürde de eğimin etkisinin olmadığını gösterir çalışmalar mevcuttur. Damar kalınlığı arttıkça degaj olasılığı artmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, *damar kalınlığı* ile degaj arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamsızdır ($p>0.05$). Bu sebeple çalışmanın H_1 hipotezi reddedilmiştir. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda degaj olaylarının oluşumunda *damar kalınlığı* değişkeninin etkisi yoktur. Literatürde de damar kalınlığının etkisinin olmadığını gösterir çalışmalar mevcuttur. Degaj olayları fay zonu ve yakınlarında yoğun olarak meydana gelmekte, faya uzaklık azaldıkça degaj riski artmaktadır. *Faya uzaklık* değişkeni ile degaj arasında istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$) ve negatif (β: -0.105) yönlü bir ilişki elde edilmiştir. Bu sonuç literatürle uyumludur. Bu sebeple çalışmanın H_3 hipotezi kabul edilmiştir. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda degaj olaylarının oluşumunda *faya uzaklık* değişkeninin etkisi vardır.

- YEM yöntemi ile yardımcı faktörler arasındaki korelasyonlar incelenmiştir. p değerleri 0.05'ten büyük olduğu için yardımcı faktörler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki olmadığı sonucu elde edilmiştir.

- Tez kapsamında degaja etki eden faktörler YEM ile tahmin edilmiş ve belirlenen altı değişkenden dört tanesinin (*üretim derinliği, gaz içeriği, nem içeriği ve faya uzaklık)* degaj üzerinde etkili olduğu, diğer iki değişkenin (*damar kalınlığı* ve *damar eğimi)* ise etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

- YEM ile değerlendirilmek üzere literatür araştırmasına göre ana faktörler ve yardımcı faktörler olarak iki kategoriye ayrılan altı değişken Kümeleme Analizi ile gruplandırılmış ve YEM yöntemiyle yapılan kategorilendirme ile aynı sonuç bulunmuştur.

- Kümeleme Analizi ile verilerin analizinde başlangıçtaki küme sayısı bilinmediği için öncelikle hiyerarşik kümeleme yöntemi tercih edilmiştir. Hiyerarşik kümeleme yöntemlerinden Ward's yöntemi uygulanmıştır. Birimler arasındaki uzaklıkların hesaplanmasında karesel öklid uzaklığı seçilmiştir. Değişkenlere ait ölçü birimleri farklı olduğu için ham verilerin standardize edilmiş bir forma getirilmiştir. Bu nedenle değişkenlere z-dönüştürmesi uygulanmıştır. Degaj olaylarının hangi sınıflara kümelendiği dendogram yardımıyla gösterilmiştir. Dendogram yardımıyla küme sayıları belirlenmiştir.

- YEM ile değerlendirilen altı değişkenden dört tanesi (*üretim derinliği*, *gaz içeriği*, *nem içeriği*, *faya uzaklık*) degaj olaylarında etkili olarak belirlenmiştir. Bu sebeple Kümeleme Analizi uygulamasında dört etkili faktör değerlendirilmiştir.

- Kümeleme Analizi ile risk indekslemesinin yapılması amaçlanmıştır. Oluşan kümelerin yorumlanması, YEM sonuçlarından elde edilen değerlendirmelere göre yapılmıştır.

- Hiyerarşik kümeleme yöntemine göre degaj olayları 2 kümede toplanmıştır (Küme 1 ve Küme 2). Kümeleme Analizi sonucunda ortaya çıkan kümeleme yapılarının doğruluğunu test etmek amacıyla çok değişkenli varyans analizi (MANOVA) uygulanmıştır. Kümeler bakımından dört farklı çok değişkenli istatistik sonucu 0.05 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Böylece gruplar arası farkın anlamlı olduğuna ve oluşan kümeleme yapılarının uygun olduğuna karar verilmiştir.

- Kümelerin yorumlanmasında YEM sonucunda elde edilen yüksek üretim derinliği, gaz içeriği, nem içeriği ve düşük faya uzaklık koşulu göz önünde bulundurulmuştur. Bu koşula göre Küme 1 ve Küme 2 değişken ortalamaları bakımından incelendiğinde; Küme 1'i oluşturan kömür damarlarının tüm değişkenler açısından birinci derecede riskli olduğu, Küme 2'nin ise ikinci derecede riskli olduğu belirlenmiştir.

- Kümeleme Analizi sonucu elde edilen dendogram grafiğine göre Küme 1 iki alt kümeye ayrılmıştır (Küme 1-1 ve Küme 1-2). Bu iki küme değişken ortalamalarına göre incelendiğinde, Küme 1-1 sadece *nem içeriği* değişkeni bakımından Küme 1-2'ye göre risklidir. Genel bir değerlendirme yapıldığında ise Küme 1-2'nin birinci derecede riskli olduğu elde edilmiştir.

- Kümeleme Analizi sonucu elde edilen dendogram grafiğine göre Küme 2 iki alt kümeye ayrılmıştır (Küme 2-1 ve Küme 2-2). Genel bir değerlendirme yapıldığında, iki kümenin de *üretim derinliği*, *gaz içeriği* ve *nem içeriği* ortalamaları birbirine yakın olmakla birlikte *faya uzaklık* ortalamaları yönünden oldukça farklıdırlar. Küme 2-1'deki kömür damarlarının faya uzaklık ortalamaları Küme 2-2'ye göre daha yüksektir. Bu sebeple Küme 2-2 birinci derecede risklidir.

- YEM ile Kümeleme Analizi yöntemlerinin sonuçları birlikte değerlendirildiğinde; YEM ile değerlendirme sonucunda degaja meyilli damarların *üretim derinliği*, *gaz içeriği*, *nem içeriği* değişkenlerinin artan, *faya uzaklık* değerlerinin ise azalan yönde olduğu tespit edilmiştir. Kümeleme Analizi sonucunda elde edilen riskli damarların da *üretim derinliği*, *gaz içeriği*, *nem içeriği* değişkenlerinin yüksek, *faya uzaklık* değerlerinin ise düşük olduğu belirlenmiştir. Her iki yöntemde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

- Degaj olaylarının önlenmesi amacıyla gaz basıncının etkisinin küçültülmesi ya da arını tutmaya çalışan ve parçalanmasına engel olan kuvveti artırmak gerekmektedir. Bu amaçla yapılacak koruyucu damar kazısı ile gaz basıncı hafifletilebilir. Degaj tehlikesi olan kömür damarının taban veya tavan tarafında bulunan bir damar kazılarak gaz yükü azaltılabilir. Ayrıca, baca veya lağım gibi dar bir kazı arını ile ilerleme yapılması durumunda kontrol sondajı uygulaması yapılarak gaz yükü hafifletilmelidir.

- Kazı arınından daha ileride bulunan bir yüksek basınç bölgesine hızlı yaklaşılması durumunda degaj olasılığı artırmaktadır. Bu sebeple kazı hızının azaltılması ile degaja engel olabilecek bir koruyucu mesafe sağlanmış olur. Kömür arını içerisine su enjekte edilmesiyle damara gelen ilave basınç geriye itilebilir.

- Yapılan tez çalışmasında kullanılan yöntemler, belirli bir olayın oluşumunda etkili olduğu düşünülen parametreler arasındaki ilişkileri araştırmak ve parametrelerin önem düzeylerini belirlemek amacıyla farklı konular üzerine kurgulanabilir. Böylece madencilik sektöründeki çeşitli problemlerin araştırılmasına ve çözümüne farklı yaklaşımlar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Aguado, M.B.D., Nicieza, C.G., 2007, Control and prevention of gas outbursts in coal mines, Riosa–Olloniego coalfield, Spain. International Journal of Coal Geology, 69, 253–266.

Baltaş, A., Öney, Ö., 2012, Yeraltı kömür ocaklarında jeolojik özelliklerle gaz degajlarının ilişkisi, 18. Zonguldak Kömür Kongresi, s.299-311.

Bayram, N., 2010, Yapısal Eşitlik Modellemesine Giriş ve AMOS Uygulamaları, Ezgi Kitapevi, s.1-39.

Beamish, B.B., Crosdale, P.J., 1998, Instantaneous outbursts in underground coal mines: An overview and association with coal type, International Journal of Coal Geology, 35, 27-55.

Bodziony, J., Lama, R.D., 1996, Sudden outbursts of gas and coal in underground coal mines, Australian Coal Association Research Program, Final Report, Project No: C4034, pp. 153-154.

Brown, T.A., 2006, Confirmatory factor analysis for applied research, The Guilford Press, p.29-35.

Cao, Y., He, D., Glick, D.C., 2001, Coal and gas outbursts in footwalls of reverse faults, International Journal of Coal Geology, 48, 47- 63.

Chao, W., Enyuan, W., Jiankun, X., Xiaofei, L., Li, L., 2010, Bayesian discriminant analysis for prediction of coal and gas outbursts and application, Mining Science and Technology, 20, 0520–0523.

Chaojun, F., Sheng, L., Mingkun, L., Wenzhang, D., Zhenhua, Y., 2017, Coal and gas outburst dynamic system, International Journal of Mining Science and Technology, 27, 49-55.

Chen, L., Wang, E., Ou, J., Fu, J., 2018, Coal and gas outburst hazards and factors of the No.B-1 Coalbed, Henan, China. Geosciences Journal, 22, 171-182.

Coşkun, M., 1999, Zonguldak havzası kömürlerinin mekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, s.20-29.

Çakır, A., 1994, TTK Karadon İşletmesi -303/-360 Büyük Damarının gaz içeriğinin ve gaz yayma karakteristiklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, s.3-15.

Çelik, H.E., Yılmaz, V., 2016, LISREL 9.1 İle Yapısal Eşitlik Modellemesi, Anı Yayıncılık, s.5-70.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Çokluk, Ö., Şekercioğlu, G., Büyüköztürk, Ş., 2010, Sosyal Bilimler İçin Çok Değişkenli İstatistik SPSS ve LISREL Uygulamaları, Pegem Akademi, s.8-354.

Esen, O., 2013, Türkiye Taşkömürü Kurumu ocaklarındaki ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının değerlendirilmesi ve olayları etkileyen faktörlerin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, s.9-63.

Esen, O., Özer, S. C., Fişne, A., 2016, Zonguldak havzası kömür damarlarının ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarına eğilimleri açısından incelenmesi, 20. Zonguldak Kömür Kongresi, s.299-312.

Esen, O., Ökten, G., Fişne, A., 2017, Türkiye'de meydana gelen ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının değerlendirilmesi ve olaylarla mücadelede alınacak önlemler, Madencilik Dergisi, 56, 99-108.

Garver, M.S., Mentzer, J.T., 1999, Logistics research methods: Employing structural equation modeling to test for construct validity. Journal of Business Logistics, 20(1), 33-57.

Gerbing, D.W., Anderson, J.C., 1992, Monte carlo evaluations of goodness of fit indices for structural equation models, Sociological Methods and Research, 21(2), 132-160.

Guan, P., Wang, H., Zhang, Y, 2009, Mechanism of instantaneous coal outbursts, Geology, 37, 915-918.

Gürdal, G., 1998, Zonguldak havzası kömürlerinde gaz depolanmasını kontrol eden parametreler, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, s.21-41.

Haifeng, W., Liang, W., Yuanping, C., Hongxing, Z., 2013, Characteristics and dominant controlling factors of gas outburst in Huaibei coalfield and its countermeasures, International Journal of Mining Science and Technology, 23, 591-596.

Hair, J.F., Babin, B. J., Anderson, R.E., Black, W., 2010, Multivariate Data Analysis, New York: Prentice Hall, 7th ed., New York, p.600-637.

Iacobucci, D., 2010, Structural equations modeling: Fit indices, sample size, and advanced topics, Journal of Consumer Psychology, 20, 90-98.

Jiabo, G., Jiang, X., Wen, N., Shoujian, P., Chaolin, Z., Xiaohang, L., 2017, Regression analysis of major parameters affecting the intensity of coal and gas outbursts in laboratory, International Journal of Mining Science and Technology, 27, 327-332.

Jianchun, O., Mingju, L., Chunru, Z., Yanwei, L., Jianping, W., 2012, Determination of indices and critical values of gas parameters of the first gas outburst in a coal seam of the Xieqiao Mine, International Journal of Mining Science and Technology 22, 89-93.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kalaycı, Ş., 2009, SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Asil Yayıncılık, s.350-369.

Karakurt İ., Aydın G., Aydıner K., 2009, Kömür kökenli metanın doğal gaz olarak kullanımı, 7. Enerji Sempozyumu, Ankara, s.67-76.

Kursunoglu, N., Onder, M., 2019, Application of structural equation modeling to evaluate coal and gas outbursts, Tunnelling and Underground Space Technology, 88, 63-72.

Lama, R.D., Bodziony, J., 1998, Management of outburst in underground coal mines, International Journal of Coal Geology, 35, 83-115.

Li, Z., Wang, E., Ou, J., Liu, Z., 2015, Hazard evaluation of coal and gas outbursts in a coal-mine roadway based on logistic regression model, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 80, 185-195.

McDonald, R.P., Moon-Ho, R.H., 2002, Principles And Practice In Reporting Structural Equation Analyses, Psychological Methods, 7(1), s.64-82.

Meydan, C. H., Şeşen, H., 2015, Yapısal Eşitlik Modellemesi AMOS Uygulamaları, Detay Yayıncılık, s.5-92.

Nie, W., Peng, S.J., Xu, J., Liu, L.R., Wang, G., Geng, J.B., 2014, Experimental analyses of the major parameters affecting the intensity of outbursts of coal and gas, The Scientific World Journal, 2014, 1-9.

Ocakoğlu, F., Şahin, N., Pulat, O., 2013. Zonguldak taşkömürü havzası arazi gezisi notları, http://jeoloji.ogu.edu.tr/Storage/Jeoloji/Uploads/Zonguldak-gezi-Dokuman%C4%B1-2013.pdf, erişim tarihi: 10.09.2018

Oskan, M., 2014, TTK Armutçuk Müessesesi Büyük Damar IV. bloğun gaz içeriğinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, s.3-20.

Özdamar, K., 2014. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi II**,** Kaan Kitabevi, s.2-10.

Ökten, G., 1983, Zonguldak Taşkömürü Havzası'ndaki ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının incelenmesi ve olaya eğilimli zonların belirlenebilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, s.11-79.

Öztürk, M., 2014, Taşkömürü havzası damar gaz içeriklerini tespit çalışmaları, Türkiye Taşkömürü Kurumu, İş Sağlığı, Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı Yayını, Yayın no: 71, s. 1-50.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Pektaş, A.O., 2013, SPSS İle Veri Madenciliği, Dikeyeksen Yayıncılık, s.185-205.

Raykov, T., Marcoulides, G.A., 2006, A First Course In Structural Equation Modeling. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, USA, p.2-80.

Ruilin, Z., Lowndes, I.S., 2010, The application of a coupled artificial neural network and fault tree analysis model to predict coal and gas outbursts. International Journal of Coal Geology, 84,141-152.

Saltoğlu, S., 1975, Ani degajman olaylarının açıklanması ve Zonguldak havzasında görülen son olayların değerlendirilmesi, http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/4609bdc08a07ace_ek.pdf, erişim tarihi: 10.05.2018.

Schumacker, R.E., Lomax, R.G., 2010, A Beginner's Guide to Structural Equation, Third Edition, Routledge Publishing, New York, p.50-200.

Scott, A.R., 2002, Hydrogeologic factors affecting gas content distribution in coal beds, International Journal of Coal Geology, 50, 363-387.

Sivek, M., Jirásek, J., Sedláčková, L., Čáslavský, M., 2010, Variation of moisture content of the bituminous coals with depth: A case study from the Czech part of the Upper Silesian Coal Basin, International Journal of Coal Geology, 84, 16–24.

Swift, R.A., 1964, The occurrence of coal and gas outbursts in the United Kingdom - precautions adopted and research into the problem. In: UN-ECE Symp. on Coal & Gas Outbursts, Nimes, France, s.219–227.

Tabachnick, B.G., Fidell, L.S., 2015, Çok Değişkenli İstatistiklerin Kullanımı, (Çev. M. Baloğlu), Nobel Yayınevi, s. 17-760.

Tekin, V. N., 2009, SPSS Uygulamalı İstatistik Teknikleri. Seçkin Yayıncılık, s.18-19.

Tezcan, C., 2008, Yapısal eşitlik modelleri, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, s.21-39.

Tian-jun, Z., Shu-xin, R., Shu-gang, L., Tian-cai, Z., Hong-jie, X., 2009, Application of the catastrophe progression method in predicting coal and gas outburst, Mining Science and Technology, 19, 0430-0434.

TTK, 2012, Avrupa ekonomik komisyonu kömür ve gaz püskürmelerine ilişkin sempozyum notları, Türkiye Taşkömürü Kurumu, İş Sağlığı, Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı Yayını, s.2-20.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

TTK, 2013, Kömür ocaklarında kazaların araştırılması ve önlenmesi, Türkiye Taşkömürü Kurumu, İş Sağlığı, Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı Yayını, Yayın No:70, s.267-294.

TTK, 2017, Türkiye Taşkömürü Kurumu 2017 faaliyet raporu, s.5.

TTK, 2018, Türkiye Taşkömürü Kurumu İş Sağlığı, Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı Müessese bilgileri raporu.

Ujihira, M., Higuchi, K., 1986, Summary of Japanese coal and gas outburst experiences and measures taken against the problem. In: Symp. on Ground Movement & Control Related to Coal Mining, Wollongong, Australia, s. 288–297.

Varol, S., 2014, Hazır yazılımlarla Yapısal Eşitlik Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, s.12-22.

Wang, H., Cheng, Y., Yuan, L., 2013, Gas outburst disasters and the mining technology of key protective seam in coal seam group in the Huainan coalfield, Natural Hazards, 67, 763-782.

Wang, L., Cheng, Y., An, F., Zhou, H., Kong, S., Wang, W., 2014, Characteristics of gas disaster in the Huaibei coalfield and its control and development technologies, Nat Hazards, 71, 85-107.

Wang, C., Yang, S., Yang, D., Li, X., Jiang, C., 2018 a, Experimental analysis of the intensity and evolution of coal and gas outbursts, Fuel, 226, 252-262.

Wang, C., Yang, S., Li, J., Li, X., Jiang, C., 2018 b, Influence of coal moisture on initial gas desorption and gas-release energy characteristics, Fuel, 232, 351-361.

Xue, S., Wang, Y., Xie, J., Wang, G., 2011, A coupled approach to simulate initiation of outbursts of coal and gas - model development, International Journal of Coal Geology, 86, 222–230.

Xue, S., Yuan, L., Wang Y., Xie, J., 2014, Numerical analyses of the major parameters affecting the initiation of outbursts of coal and gas, Rock Mechanics and Rock Engineering, 47, 1505-1510.

Yalçın, E., 2012, Yeraltı Havalanırması, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın no: 336. s.275-286.

Yang, W., Lin, B., Zhai, C., Li, X., An S., 2012, How in situ stresses and the driving cycle footage affect the gas outburst risk of driving coal mine roadway, Tunnelling and Underground Space Technology, 31, 139-148.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yin, G., Jiang, C., Wang, J. G., Xu, J., Zhang, D., Huang, G., 2016, A new experimental apparatus for coal and gas outburst simulation, Rock Mechanics and Rock Engineering, 49, 2005-2013.

Zhai, C., Xiang, X., Xu, J., Wu, S., 2016, The characteristics and main influencing factors affecting coal and gas outbursts in Chinese Pingdingshan mining region, Natural Hazards, 82, 507–530.

Zhang, C., Canbulata, I., Hebblewhitea, B., Ward, C.R., 2017, Assessing coal burst phenomena in mining and insights into directions for future research, International Journal of Coal Geology, 179, 28-44.

Zhou, O., Herrera, J., Hidalgo, A., 2017, Development of a quantitative assessment approach for the coal and gas outbursts in coal mines using rock engineering systems, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 33, 21-41.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Kars'ta doğdu. İlk ve orta eğitimini Bursa'da, lise eğitimini Aydın'da tamamladı. 2006 yılında Lisans eğitimini Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği ve Endüstri Mühendisliği bölümlerinde tamamladı. 2007-2011 yılları arasında sanayide çeşitli sektörlerin üretim-kalite güvence kısımlarında çalıştı. 2011 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2013 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2014 yılı itibariyle Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde doktora eğitimine devam etmektedir. 2 adet uluslararası bilimsel yayını ve 3 adet uluslarası bildirisi bulunmaktadır. Evli ve 1 çocuk annesidir.