

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜRÜYEN TAHKİMATLARIN
BOYUTLANDIRILMASININ VE TAHKİMAT
SEÇİM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ
ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR

Mustafa Emre YETKİN

Ekim, 2016
İZMİR

**YÜRÜYEN TAHKİMATLARIN
BOYUTLANDIRILMASININ VE TAHKİMAT
SEÇİM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ
ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden İşletme Programı

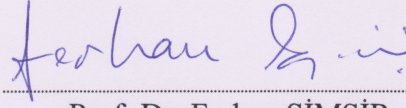
Mustafa Emre YETKİN

Ekim, 2016

İZMİR

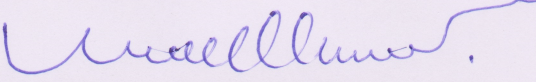
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

MUSTAFA EMRE YETKİN, tarafından PROF. DR. FERHAN ŞİMŞİR yönetiminde hazırlanan “YÜRÜYEN TAHKİMATLARIN BOYUTLANDIRILMASININ VE TAHKİMAT SEÇİM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



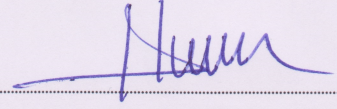
Prof. Dr. Ferhan ŞİMŞİR

Yönetici



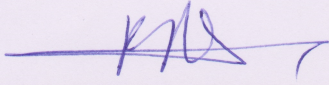
Prof. Dr. M. Yalçın KOCA

Tez İzleme Komitesi Üyesi



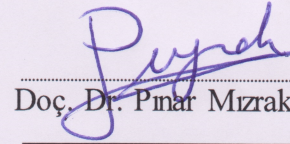
Doç. Dr. Hayati YENİCE

Tez İzleme Komitesi Üyesi



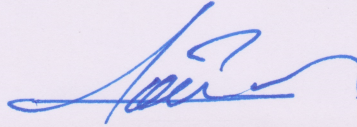
Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Pınar Mızrak ÖZFIRAT

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Emine İlknur CÖCEN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince bilgi ve tecrübesiyle bana yön veren, cesaretimin kırıldığı zamanlarda olumlu tavsiyeleriyle beni akademik hayata hazırlayan tez danışmanım hocam Prof. Dr. Ferhan ŞİMŞİR'e sonsuz teşekkür ederim.

Doktora çalışmamın tez izleme komitesinde yer alan, yapıcı yorumlarıyla tezimde bir çok safhada hızlı bir şekilde ilerlememi sağlayan hocalarım Prof. Dr. Yalçın KOCA ve Doç. Dr. Hayati YENİCE'ye çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamın arazi çalışması ve teorik çalışma aşamalarında her zaman yanımda hissettiğim ve pozitif düşünerek ilerlememi sağlayan hocam Doç. Dr. Kemal ÖZFIRAT'a çok teşekkür ederim.

Katı modelleme çalışmaları sırasında büyük yardımlarını gördüğüm Makine Mühendisliği Bölümünden Prof. Dr. Zeki KIRAL'a ve Metalurji-Malzeme Mühendisliği Bölümünden Yard. Doç. Dr. Bahadır UYULGAN'a çok teşekkür ederim.

Matematiksel modelleme çalışmalarım sırasında çok yardımını gördüğüm, bana büyük zaman ayıran Doç. Dr. Süleyman ŞAFAK hocama çok teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarım boyunca benimle çok yakından ilgilenen, aralarında hiçbir zaman kendimi yabancı gibi hissetmediğim T.K.İ. Garp Linyitleri ailesine sonsuz teşekkür ederim. Başta Müessese Müdür Yardımcısı Maden Mühendisi Akın ŞİRİN olmak üzere, Yeraltı İstihsal Şube Müdürü Maden Mühendisi Ercan İPEK'e, Yeraltı Baş Mühendisi Yılmaz YILDIRIM'a, Maden Mühendisi Bilal ALTUNÖZ'e, Maden Mühendisi Celil TÜRKER'e, Maden Mühendisi Serkan TUNCAY'a, Maden Mühendisi Serdar HASİPEK'e çok teşekkür ederim. Tez çalışmam ile ilgili teknik bilgilerin temin edilmesi aşamasında bana her türlü desteği veren ve karşılıklı fikir alışverişleriyle yardımcı olan T.K.İ. mühendisleri başta Maden Mühendisi Hakan DİKKAYA olmak üzere, Elektrik-Elektronik Mühendisi Orhan Kemal KÖRPE'ye,

Makine Mühendisi Atila ÖZTÜRK'e ve Makine Mühendisi Üzeyir BACAK'a yardım ve desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

İlkokuldan bu yana geçen yaklaşık 23 senelik eğitim hayatım boyunca desteklerini her zaman arkamda hissettiğim Aileme, Annem Ayşe Sıdika YETKİN ve Babam Serhat YETKİN'e sonsuz teşekkür ederim.

Mustafa Emre YETKİN



YÜRÜYEN TAHKİMATLARIN BOYUTLANDIRILMASININ VE TAHKİMAT SEÇİM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR

ÖZ

Tam mekanize uzun ayak madenciliğinde üretim sırasında kullanılan en önemli ekipmanlardan biri yürüyen tahkimatlardır. Yürüyen tahkimatların ayak içindeki işlevi, taşıma ve çalışma durumundaki fiziksel boyutları ve maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda uygun tahkimat seçiminin çok önemli bir aşama olduğu görülmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında yürüyen tahkimatların seçimine etki eden ölçütler ve tahkimatların modelleme programı kullanılarak boyutlandırılması olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla, ilk aşamada geniş bir literatür taraması ve arazi çalışmaları sonucunda tahkimat seçiminde etkili olan ölçütler belirlenmiş ve bunlar sınıflandırılmıştır. İkinci aşamada çalışma sahası verileri dikkate alınarak nümerik modelleme programında yirmi yedi adet farklı uzun ayak modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu uzun ayak modelleri çalıştırılarak tavan ve göçük bölgesinde meydana gelmesi beklenen gerilme değerleri tespit edilmiştir. Üçüncü aşamada, yürüyen tahkimata ait katı model oluşturulmuştur. Dördüncü aşamada, saha modellerinden elde edilen gerilme değerleri yürüyen tahkimat elemanları üzerine uygulanmış ve tahkimat elemanlarında meydana gelmesi beklenen minimum ve maksimum gerilme değerleri tespit edilmiştir. Tezin son aşamasında gerilme değerleri matematiksel eşitlikler kullanılarak modellenmiştir. Sonuç olarak farklı tavan ve göçük basınçlarında yürüyen tahkimat elemanlarında meydana gelmesi beklenen maksimum gerilme değerleri matematiksel eşitlikler yardımıyla tanımlanmıştır. Böylece, formasyon özellikleri göz önüne alınarak yapılan bir uzun ayak plânlamasında beklenen ayak içi gerilme değerlerinin önceden tahmin edilebilmesi durumunda, kullanılacak yürüyen tahkimatın seçimi mümkün olacak veya en azından daha dar bir aralıktaki farklı tahkimat tipleri arasından seçim yapılmasına olanak sağlanmış olacaktır.

Anahtar kelimeler: Uzun ayak, yürüyen tahkimat, gerilme analizi, matematiksel modelleme, tahkimat seçimi.



RESEARCH ON DIMENSIONING OF SELF-ADVANCING SUPPORTS AND DETERMINATION OF SUPPORT SELECTION CRITERIA

ABSTRACT

Powered roof supports are one of the most important equipment used at fully-mechanized longwall production. The selection process of the most suitable powered roof support is a very important stage when considering function, transporting-operating dimensions and cost of powered roof supports.

In this thesis, parameters that affect roof support selection and dimensioning possibilities of roof support using modelling software are studied. For this purpose, parameters that affect roof support selection are determined and classified in the end of a broad literature review and field works in the first stage. Considering field data, twenty seven distinct longwalls are modelled using numerical modelling software and stress that may occur in roof and gob areas is calculated using longwall models in the second stage. Solid model of powered roof support is designed in the third stage. Minimum and maximum stress values that may occur in powered roof support members are calculated using roof and gob stress obtained from longwall models in the fourth stage. In the final stage, stress values are modelled using mathematical equations. As a result, maximum stress values that may occur in powered roof support members are determined by the help of mathematical equations in different roof and gob stresses. By this way, in case of being able to predict in-face stresses foreseen in a longwall planned considering formation features, selection of the self-advancing support unit to be used will be possible or, at least, it will enable to select within a narrow interval of support types.

Keywords: Longwall, powered roof support, stress analysis, mathematical modelling, support selection.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	v
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xx

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

BÖLÜM İKİ - UZUN AYAK MADENCİLİĞİ..... 3

2.1 Giriş	3
2.2 Uzun Ayak Yöntemi ve Başlıca Özellikleri	3
2.3 Uzun Ayaklarda Karşılaşılan Sorunlar ve Mekanizasyon Gerekçeleri	5
2.4 Tam Mekanize Uzun Ayak Ekipmanları	6
2.5 Uzun Ayaklarda Tabaka Hareketleri	7
2.5.1 Örtü Tabakası Bölgeleri.....	7
2.5.2 Yalancı Tavan	8
2.5.3 Ana Tavan.....	9
2.5.4 Kemerleme Gerilmeleri	9
2.5.5 Ön ve Yan Kemerleme Gerilmeleri	10

BÖLÜM ÜÇ - YÜRÜYEN TAHKİMATLAR VE GELİŞİMİ..... 12

3.1 Giriş	12
3.2 Yürüyen Tahkimat Tipleri.....	13
3.2.1 Çerçeve Tipi Yürüyen Tahkimat	14
3.2.2 Domuz Damı Tipi Yürüyen Tahkimat.....	15
3.2.3 Kalkan Tipi Yürüyen Tahkimatlar.....	16
3.3 Yürüyen Tahkimatı Oluşturan Parçalar ve Yük Taşıma Birimleri.....	19

3.3.1 Tavan Sarması.....	21
3.3.2 Taban Şasisi	22
3.3.3 Göçük Sarması, Lemniskat Bağlantılar ve Bağlantı Pimleri	24
3.3.4 Hidrolik Direkler.....	25
3.3.4.1 Teleskopik Hidrolik Silindirlerin Alçalma ve Yükselme Prensipleri .	27
3.3.4.2 Hidrolik Sıvılar	28
3.4 Yürüyen Tahkimatlarda Tavan Yükünün Hesaplanması	29
3.5 Yürüyen Tahkimatlarda Sıkılama ve Esneme Yükü Hesabı	32
3.5.1 Sıkılama Yükü	32
3.5.2 Esneme Yükü.....	34
3.6 Yürüyen Tahkimatlarda Yük Periyodları	36
BÖLÜM DÖRT - İŞLETME BİLGİLERİ	38
4.1 Giriş	38
4.2 İşletmenin Konumu	39
4.3 Tunçbilek Sahasının Jeolojisi	40
BÖLÜM BEŞ - KAYA KÜTLE SINIFLAMA SİSTEMLERİ VE TAHKİMAT SEÇİMİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	42
5.1 Giriş	42
5.2 Madencilikte Kaya Kütle Sınıflamalarının Kullanımı	42
5.3 Kaya Kütle Sınıflama Sistemlerinin Yararları ve Özellikleri.....	43
5.4 “RMR” Jeomekanik Sınıflama Sistemi	44
5.5 “Q” Kaya Sınıflandırma Sistemi	46
5.6 “CMRR” Kömür Madeni Tavan Sınıflama Sistemi	48
5.6.1 CMRR Hesabı ve Kullanılan Parametreler.....	49
5.7 Yürüyen Tahkimat Seçimine Etki Eden Faktörler	50
5.8 Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi	53
5.8.1 Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle Yürüyen Tahkimat Seçimi Örnek Çalışması.....	55

BÖLÜM ALTI - NÜMERİK MODELLEME ÇALIŞMALARI..... 58

6.1 Giriş	58
6.2 Sahanın Modellenmesi	59
6.3 Kazı Alanının Modellenmesi.....	61
6.4 Model İçin Girdi Verilerinin Oluşturulması.....	64
6.4.1 Modelde Yer Alan Formasyonların Kaya Kütlesi Mekanik Verilerinin Elde Edilmesi	65
6.5 Göçük, Kırılma Zonu, Ferahlamış Zon ve Ayak Arkası Kömür Bölgelerinin Modellenmesi	67
6.6 Yürüyen Tahkimatın Modelde Temsil Edilmesi	70
6.7 Tabaka Yüklerinin Modellenmesi	71
6.8 Tahkimat Üzerine Gelen Yüklerin Hesaplanması.....	72
6.8.1 Sonuçların Değerlendirilmesi	74

BÖLÜM YEDİ - TAHKİMATIN KATI MODELİNİN OLUŞTURULMASI.. 87

7.1 Giriş	87
7.2 Tavan Sarmasının Modellenmesi	88
7.3 Taban Şasisinin Modellenmesi.....	90
7.4 Ana, Hareketli ve Uzatılabilir Göçük Sarmalarının Modellenmesi	92
7.5 Ön ve Arka Hidrolik Direklerin Modellenmesi.....	94
7.6 Ön ve Arka Lemniskat Bağlantıların Modellenmesi.....	95
7.7 Bağlantı Pimlerinin Modellenmesi.....	97
7.8 Tahkimat Elemanlarının Montajlanması	98
7.9 Malzeme Özelliklerinin Modele Girilmesi.....	98

BÖLÜM SEKİZ - TAHKİMAT ELEMANLARINDA MEYDANA GELEN GERİLMELERİN BELİRLENMESİ..... 100

8.1 Giriş	100
8.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi, Katı Model Oluşturma ve ANSYS Programı	101

8.3 Yürüyen Tahkimat Modelinin ANSYS Programına Aktarılması	103
8.4 Meshleme İşlemi	104
8.5 Tahkimatın Sabitlemesi	105
8.6 Tahkimat Elemanlarına Etki Eden Basınçların Tanımlanması	105
8.7 Gerilme Analizinden Elde Edilen Sonuçlar	106
8.8 Tahkimat Tabanında Oluşan Gerilmeler	111
8.9 Tahkimat Elemanlarında Meydana Gelen Gerilmelerin Yüzdesel Gösterimi	113
8.10 Sonuçların Değerlendirilmesi ve Öneriler.....	127

BÖLÜM DOKUZ - GERİLME SONUÇLARININ MATEMATİKSEL MODELLENMESİ 131

9.1 Giriş	131
9.2 Matematiksel Modelin Hazırlanması	132
9.3 Çalışmada Kullanılan Matematiksel Modeller	133
9.4 Yüzey Grafiklerinin Çizilmesinde Kullanılan Komutlar	134
9.5 Matematiksel Modellerden ve ANSYS Programından Elde Edilen Gerilmeler Arasındaki İlişki	147
9.5.1 1. Modelden Elde Edilen Gerilme Değerleriyle ANSYS Programından Elde Edilen Gerilme Değerleri Arasındaki İlişki	147
9.5.2 2. Modelden Elde Edilen Gerilme Değerleri ile ANSYS Programından Elde Edilen Gerilme Değerleri Arasındaki İlişki	167
9.6 Korelasyon Katsıyısı ve Sınıflaması	187
9.7 Matematiksel Modeller ve Tahkimat Elemanları Arasındaki Korelasyon Katsayıları	188

BÖLÜM ON - BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE SONUÇLAR.. 190

KAYNAKLAR 193

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Uzun ayak üretim yöntemi	4
Şekil 2.2 Tam mekanize çalışan bir uzun ayağın görünüşü	7
Şekil 2.3 Uzun ayak örtü tabakası bölgeleri.....	8
Şekil 2.4 Yalancı ve ana tavanların gösterimi	8
Şekil 2.5 Uzun ayak panosu tavanında meydana gelen gerilmeler	10
Şekil 2.6 Ön kemerleme gerilmesi	11
Şekil 3.1 Çerçeve tipi yürüyen tahkimat	14
Şekil 3.2 Domuz damı tipi yürüyen tahkimatın ilk modeli	15
Şekil 3.3 Domuz damı tipi yürüyen tahkimat.....	16
Şekil 3.4 Kalkan tipi (Lemniskat) yürüyen tahkimat	17
Şekil 3.5 2 ve 4 direkli kalkan tipi yürüyen tahkimatlar	18
Şekil 3.6 Lemniskat ve kaliper tip yürüyen tahkimatların tavan sarması hareket yönleri.....	18
Şekil 3.7 Yürüyen tahkimatın kısımları.....	20
Şekil 3.8 Yürüyen tahkimat üzerine yatay ve düşey yönde etki eden kuvvetler	20
Şekil 3.9 Kalkan tipi yürüyen tahkimat ve kısımları.....	21
Şekil 3.10 Tavan sarmasının bağlantı noktası yerine göre tavan yüklemeleri altında aldığı şekiller.....	22
Şekil 3.11 Taban şasisi tipleri.....	23
Şekil 3.12 Lemniskat bağlantılar	24
Şekil 3.13 Bağlantı pimi	25
Şekil 3.14 Hidrolik direkler	26
Şekil 3.15 Teleskopik hidrolik direğin yapısı	27
Şekil 3.16 Yalancı tavan yüksekliği	29
Şekil 3.17 Yürüyen tahkimat üzerindeki tavan bloğu	30
Şekil 3.18 Eğimli damarlarda tavan yükü	31
Şekil 3.19 Genelleştirilmiş tavan yükü hesabı	32
Şekil 3.20 Sıkılama yükü ve tavan alçalması arasındaki ilişki.....	35
Şekil 3.21 Yürüyen tahkimatlarda zaman ve tahkimat direnci ilişkisi.....	37
Şekil 4.1 Ömerler yeraltı ocağı mekanize ayak planı	39

Şekil 4.2	Ömerler yeraltı kömür ocağı yer bulduru haritası	39
Şekil 4.3	Kömür damarını çevreleyen tabakalar	41
Şekil 5.1	Kaya kütle sınıflamasında alınan temel öğeler ve bir örnek: RMR	46
Şekil 5.2	CMRR bileşenleri.....	48
Şekil 5.3	CMRR hesabı aşamaları.....	49
Şekil 5.4	Yürüyen tahkimat seçim aşamaları	52
Şekil 5.5	Yürüyen tahkimat seçimi için geliştirilen hiyerarşi dizayn şeması.....	56
Şekil 5.6	Karşılaştırma matrisi puanlama tablosu	56
Şekil 6.1	3,5 metre çalışma yüksekliği ve meyil yukarı 10° eğime sahip uzun ayak modelinin yer yüzüne olan mesafesi	59
Şekil 6.2	Ömerler mekanize yeraltı ocağı A5 panosu planı	59
Şekil 6.3	A5 panosu ayak kesiti	60
Şekil 6.4	Oluşturulan modelin görüntüsü.....	60
Şekil 6.5	Modelde oluşturulan bölgelerin yerleri	61
Şekil 6.6	Ayak içi yürüyen tahkimatın teknik gösterimi.....	61
Şekil 6.7	Model içinde oluşturulan kazı alanı	62
Şekil 6.8	2,5 metre çalışma yüksekliğinde ayak içinin ve tahkimat ünitelerinin görünümü	63
Şekil 6.9	3 metre çalışma yüksekliğinde ayak içinin ve tahkimat ünitelerinin görünümü	63
Şekil 6.10	3,5 metre çalışma yüksekliğinde ayak içinin ve tahkimat ünitelerinin görünümü	64
Şekil 6.11	Tavan taşı (marn) için kaya kütlesi jeomekanik özelliklerinin bulunması	67
Şekil 6.12	Göçük bölgeleri	68
Şekil 6.13	Göçüğün modellenmesi.....	69
Şekil 6.14	Ayak arkası kömür bölgesinin modeldeki görüntüsü.....	69
Şekil 6.15	Modelde oluşturulan göçme mesafesi ve kırılma açısı	70
Şekil 6.16	Tavan ve göçük bölgesinde yürüyen tahkimatın temsil edilmesi	70
Şekil 6.17	Tavan ve göçük bölgesinin 50 cm aralıklara bölünerek gerilmelerin ölçülmesi	72
Şekil 6.18	Ayak boşluğu etrafında meydana gelen gerilmeler.....	72

Şekil 6.19	2,5 metre çalışma yüksekliği ve 0° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	74
Şekil 6.20	2,5 metre çalışma yüksekliği ve -5° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	74
Şekil 6.21	2,5 metre çalışma yüksekliği ve -10° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	75
Şekil 6.22	2,5 metre çalışma yüksekliği ve -15° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	75
Şekil 6.23	2,5 metre çalışma yüksekliği ve -20° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	75
Şekil 6.24	2,5 metre çalışma yüksekliği ve 5° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	76
Şekil 6.25	2,5 metre çalışma yüksekliği ve 10° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	76
Şekil 6.26	2,5 metre çalışma yüksekliği ve 15° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	76
Şekil 6.27	2,5 metre çalışma yüksekliği ve 20° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	77
Şekil 6.28	3 metre çalışma yüksekliği ve 0° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	77
Şekil 6.29	3 metre çalışma yüksekliği ve -5° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	77
Şekil 6.30	3 metre çalışma yüksekliği ve -10° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	78
Şekil 6.31	3 metre çalışma yüksekliği ve -15° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	78
Şekil 6.32	3 metre çalışma yüksekliği ve -20° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	78
Şekil 6.33	3 metre çalışma yüksekliği ve 5° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	79
Şekil 6.34	3 metre çalışma yüksekliği ve 10° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	79

Şekil 6.35	3 metre çalışma yüksekliği ve 15° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	79
Şekil 6.36	3 metre çalışma yüksekliği ve 20° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	80
Şekil 6.37	3,5 metre çalışma yüksekliği ve 0° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	80
Şekil 6.38	3,5 metre çalışma yüksekliği ve -5° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	80
Şekil 6.39	3,5 metre çalışma yüksekliği ve -10° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	81
Şekil 6.40	3,5 metre çalışma yüksekliği ve -15° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	81
Şekil 6.41	3,5 metre çalışma yüksekliği ve -20° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	81
Şekil 6.42	3,5 metre çalışma yüksekliği ve 5° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	82
Şekil 6.43	3,5 metre çalışma yüksekliği ve 10° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	82
Şekil 6.44	3,5 metre çalışma yüksekliği ve 15° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	82
Şekil 6.45	3,5 metre çalışma yüksekliği ve 20° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler	83
Şekil 6.46	2,5 m çalışma yüksekliğinde meydana gelen gerilmeler.....	83
Şekil 6.47	3 m çalışma yüksekliğinde meydana gelen gerilmeler.....	84
Şekil 6.48	3,5 m çalışma yüksekliğinde meydana gelen gerilmeler.....	84
Şekil 6.49	Farklı çalışma yüksekliklerinde tavan sarması üstünde meydana gelen gerilmeler	85
Şekil 6.50	Farklı çalışma yüksekliklerinde göçük sarması üstünde meydana gelen gerilmeler	85
Şekil 7.1	Yürüyen tahkimatın katı modeli.....	88
Şekil 7.2	Tavan sarması katı modeli	88
Şekil 7.3	Tavan sarması uzunluğu.....	89

Şekil 7.4	Uzatılabilir sarma uzunluğu	89
Şekil 7.5	Yan kalkanların model üzerinde gösterimi	89
Şekil 7.6	Bağlantı bölgeleri ve pim çapları	90
Şekil 7.7	Taban şasisine ait katı modelin görüntüsü	91
Şekil 7.8	Ön ve arka lemniskat bağlantıların pim yuvalarının çapları	91
Şekil 7.9	Taban şasisi katı modeline ait ölçüler	92
Şekil 7.10	Ana, hareketli ve uzatılabilir göçük sarması katı modelinin görüntüsü..	92
Şekil 7.11	Göçük sarmaları üzerinde bulunan bağlantı pim yuvalarının çapları	93
Şekil 7.12	Uzatılabilir sarma uzunluğu	93
Şekil 7.13	Hidrolik direklerin katı modelinin görüntüsü	94
Şekil 7.14	Hidrolik direklerin çapları	94
Şekil 7.15	Hidrolik silindirlere ait ölçüler	95
Şekil 7.16	Ön ve arka lemniskat bağlantılara ait katı modelin görüntüsü	96
Şekil 7.17	Lemniskat bağlantıların ve bağlantı pimi yuvalarının ölçüleri	96
Şekil 7.18	Bağlantı pimlerinin model üzerindeki bölgeleri ve çapları	97
Şekil 7.19	Bağlantı pimlerinin model üzerinde görüntüsü	98
Şekil 8.1	Tahkimat modelinin ANSYS programındaki görüntüsü	100
Şekil 8.2	Tahkimat katı modelinin ANSYS programına aktarılması	103
Şekil 8.3	Meshleme işlemi sonrası yürüyen tahkimatın katı modelinin görüntüsü	104
Şekil 8.4	Meshleme işlemi detayları	104
Şekil 8.5	Tahkimatın taban şasisinden yere sabitlenmesi işlemi	105
Şekil 8.6	Standart yerçekiminin model üzerinde tanımlanması	106
Şekil 8.7	Tavan sarması ve taban şasisinde meydana gelen gerilmeler	106
Şekil 8.8	Ana göçük, hareketli göçük ve uzatılabilir göçük sarmalarında meydana gelen gerilmeler	107
Şekil 8.9	Ön ve arka direklerde meydana gelen gerilmeler	107
Şekil 8.10	Ön ve arka lemniskat bağlantılarda meydana gelen gerilmeler	108
Şekil 8.11	Tavan sarması ve göçük sarması bağlantı pimlerinde meydana gelen gerilmeler	108
Şekil 8.12	Ayna tutucu ve taban şasisi bağlantı pimlerinde meydana gelen gerilmeler	109

Şekil 8.13	Tahkimat tabanında oluşan reaksiyon kuvveti	111
Şekil 8.14	Farklı çalışma yüksekliklerinde ve eğimlerde tabanda meydana gelen gerilmeler	111
Şekil 8.15	Meyil aşağı-meyil yukarı çalışma koşullarında 0° ve 20° eğimlerde tabanda meydana gelen gerilmeler	113
Şekil 8.16	Yürüyen tahkimatlarda yük transfer yolları	129
Şekil 9.1	Matlab programı veri giriş ekranı.....	131
Şekil 9.2	1.model ($z = ax + by$) yüzey grafiği	136
Şekil 9.3	2. model ($z = ax^2 + by^2$) yüzey grafiği	136
Şekil 9.4	3. model ($z = ax^3 + by^3$) yüzey grafiği	137
Şekil 9.5	4. model ($z = ax^4 + by^4$) yüzey grafiği	137
Şekil 9.6	5. model ($z = e^{ax+by}$) yüzey grafiği	138
Şekil 9.7	6. model ($z = e^{ax+by+c}$) yüzey grafiği	138
Şekil 9.8	7. model ($z = ae^{bx+cy}$) yüzey grafiği	139
Şekil 9.9	8. model ($z = ae^{bx^2+cy^2}$) yüzey grafiği	139
Şekil 9.10	9. model ($z = ae^{bx^3+cy^3}$) yüzey grafiği	140
Şekil 9.11	10. model ($z = asinx + bcosy$) yüzey grafiği	140
Şekil 9.12	11. model ($z = asinx + bcosy + c$) yüzey grafiği	141
Şekil 9.13	12. model ($z = a(sinx^{-1}) + b(cosy^{-1})$) yüzey grafiği.....	141
Şekil 9.14	13. model ($zz = a(sinx^{-1}) + b(cosy^{-1}) + c$) yüzey grafiği	142
Şekil 9.15	14. model ($z = (ax + by + c)^{-2}$) yüzey grafiği	142
Şekil 9.16	15. model ($z = (ax + by + c)^{-3}$) yüzey grafiği	143
Şekil 9.17	16. model ($z = (ax + by + c)^{-4}$) yüzey grafiği	143
Şekil 9.18	17. model ($z = (ax + by + c)^{-5}$) yüzey grafiği	144
Şekil 9.19	18. model ($z = (ax + by + c)^{-10}$) yüzey grafiği	144
Şekil 9.20	19. model ($z = ax + by + c$) yüzey grafiği	145
Şekil 9.21	20. model ($z = ax^2 + by^2 + c$) yüzey grafiği	145
Şekil 9.22	21. model ($z = ax^3 + by^3 + c$) yüzey grafiği	146
Şekil 9.23	22. model ($z = (ax^2 + by^2 + c)^{-1}$) yüzey grafiği	146
Şekil 9.24	Tavan sarması için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki.....	161

Şekil 9.25	Taban şasisi için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki.....	161
Şekil 9.26	Ana göçük sarması için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	162
Şekil 9.27	Hareketli göçük sarması için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	162
Şekil 9.28	Uzatılabilir göçük sarması için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	163
Şekil 9.29	Ön direkler için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki.....	163
Şekil 9.30	Arka direkler için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki.....	164
Şekil 9.31	Ön lemniskatlar için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	164
Şekil 9.32	Arka lemniskatlar için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	165
Şekil 9.33	Tavan sarması bağlantı pimleri için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	165
Şekil 9.34	Göçük sarması bağlantı pimleri için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	166
Şekil 9.35	Taban şasisi bağlantı pimleri için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	166
Şekil 9.36	Ayna tutucu için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki.....	167
Şekil 9.37	Tavan sarması için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki.....	181
Şekil 9.38	Taban şasisi için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki.....	181
Şekil 9.39	Ana göçük sarması için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	182
Şekil 9.40	Hareketli göçük sarması için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	182

Şekil 9.41	Uzatılabilir göçük sarması için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	183
Şekil 9.42	Ön direkler için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki.....	183
Şekil 9.43	Arka direkler için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki.....	184
Şekil 9.44	Ön lemniskatlar için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	184
Şekil 9.45	Arka lemniskatlar için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	185
Şekil 9.46	Tavan sarması bağlantı pimleri için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	185
Şekil 9.47	Göçük sarması bağlantı pimleri için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	186
Şekil 9.48	Taban şasisi bağlantı pimleri için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki	186
Şekil 9.49	Ayna tutucu için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki.....	187

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1 JT4 sondajı jeoteknik etüd sonuçları	41
Tablo 5.1 Bulanık analitik hiyerarşide önem ölçeği	54
Tablo 5.2 Yürüyen tahkimat seçimine etki eden ana ve alt kriterler	55
Tablo 6.1 Tavan taşı için modelde kullanılan girdi verileri	66
Tablo 6.2 Formasyonlara göre modelde kullanılan veriler	66
Tablo 6.3 Göçüğe ait modelde kullanılan veriler	69
Tablo 6.4 Modelde oluşturulan bölgelere gelen yükler	71
Tablo 6.5 Farklı çalışma yükseklikleri ve eğimlerde meydana gelen gerilmeler	73
Tablo 6.6 Ayak içi ve geçiş tahkimatının sıkılama ve esneme yükleri altındaki dayanımları	86
Tablo 7.1 Tahkimat elemanlarında kullanılan çelik tipleri	99
Tablo 7.2 Modelde kullanılan çelik malzeme özellikleri	99
Tablo 8.1 Tahkimat elemanlarında meydana gelen minimum ve maksimum gerilmeler	110
Tablo 8.2 Tahkimat tabanında meydana gelen gerilmeler	112
Tablo 8.3 Tavan sarmasında meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri	114
Tablo 8.4 Taban şasisinde meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri	115
Tablo 8.5 Ana göçük sarmasında meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri	116
Tablo 8.6 Hareketli göçük sarmasında meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri	117
Tablo 8.7 Uzatılabilir göçük sarmasında meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri	118
Tablo 8.8 Ön direklerde meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri	119
Tablo 8.9 Arka direklerde meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri	120

Tablo 8.10 Ön lemniskatlarda meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri	121
Tablo 8.11 Arka lemniskatda meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri	122
Tablo 8.12 Tavan sarması bağlantı pimlerinde meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri	123
Tablo 8.13 Göçük sarması bağlantı pimlerinde meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri	124
Tablo 8.14 Taban şasisi bağlantı pimlerinde meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri	125
Tablo 8.15 Ayna tutucuda meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri	126
Tablo 9.1 Matematiksel modeller	133
Tablo 9.2 Yüzey grafiği çiziminde kullanılan komutlar	134
Tablo 9.3 Tavan sarması için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları ..	148
Tablo 9.4 Taban şasisi için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları	149
Tablo 9.5 Ana göçük sarması için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları.	150
Tablo 9.6 Hareketli göçük sarması için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları	151
Tablo 9.7 Uzatılabilir göçük sarması için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları	152
Tablo 9.8 Ön direkler için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları	153
Tablo 9.9 Arka direkler için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları	154
Tablo 9.10 Ön lemniskatlar için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları	155
Tablo 9.11 Arka lemniskat için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları.	156
Tablo 9.12 Tavan sarması bağlantı pimleri için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları	157
Tablo 9.13 Göçük sarması bağlantı pimleri için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları	158
Tablo 9.14 Taban şasisi bağlantı pimleri için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları	159

Tablo 9.15 Ayna tutucu için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları.....	160
Tablo 9.16 Tavan sarması için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları	168
Tablo 9.17 Taban şasisi için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları..	169
Tablo 9.18 Ana göçük sarması için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları	170
Tablo 9.19 Hareketli göçük sarması için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları	171
Tablo 9.20 Uzatılabilir göçük sarması için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları	172
Tablo 9.21 Ön direkler için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları ...	173
Tablo 9.22 Arka direkler için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları	174
Tablo 9.23 Ön lemniskatlar için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları	175
Tablo 9.24 Arka lemniskat için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları	176
Tablo 9.25 Tavan sarması bağlantı pimleri için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları	177
Tablo 9.26 Göçük sarması bağlantı pimleri için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları	178
Tablo 9.27 Taban şasisi bağlantı pimleri için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları	179
Tablo 9.28 Ayna tutucu için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları..	180
Tablo 9.29 Korelasyon katsayılarının sınıflaması	187
Tablo 9.30 Tahkimat elemanları ile en yüksek korelasyon katsayısını veren matematiksel modeller	188
Tablo 9.31 Matematiksel modellerden elde edilen gerilmeler ile ANSYS gerilme analizinde tahkimat elemanlarında meydana gelen gerilme arasındaki korelasyon katsayıları.....	189

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Uzun ayaklarda hem ilerleme hızının yükseltilebilmesi, hem de daha emniyetli ve verimli çalışma ortamının sağlanabilmesi amacıyla ilk kez 1950'li yıllarda yürüyen tahkimat tasarımları geliştirilmeye başlanmış ve geçen bu süreç içerisinde de bu konuda oldukça büyük aşamalar kaydedilmiştir (Ahıska ve Esen, 1987).

Dünyada ve ülkemizde uzun ayaklarda uygulanan mekanize sistemlerin hızla gelişmesiyle birlikte, mekanize sistemin en önemli elemanlarından biri olan yürüyen tahkimatların kullanımında ve gelişiminde önemli mesafeler katedilmiştir. Yürüyen tahkimatların önemi, uzun ayak madenciliğinde tavanın tahkim hızının kazı hızına ulaşması nedeniyle giderek artmıştır.

Yürüyen tahkimatlar, ayak içinde tavanı etkin bir şekilde desteklemesi, mekanize sistem içinde bulunarak yüksek üretim kapasitesine olanak sağlaması, güvenli bir üretim ve çalışma ortamı sağlaması, yüksek verimde çalışması gibi, kullanıldığı işletmeler için birçok avantajı da beraberinde getirmektedir. Bunlara karşılık yürüyen tahkimatların maliyetinin yüksek olması ve ağır bir yapıya sahip olmaları, işletmeler için dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Günümüzde yaklaşık 200 m uzunluğundaki bir uzun ayağın makine-ekipman maliyeti 40-50 milyon USD civarındadır ve bu maliyetin yaklaşık % 50'sini yürüyen tahkimatlar oluşturmaktadır. Bu bağlamda, mekanize uzun ayaklarda kullanılan yürüyen tahkimatların çalışacağı koşullara göre doğru olarak boyutlandırılmaları hem ileride verimli çalışmalarını sağlayacak, hem de işletme ekonomisini olumlu yönde etkileyecektir. Ayrıca yürüyen tahkimatların boyutlandırılması ve seçimi aşamasında, yeraltında üretilen damarın jeolojik parametrelerinin de (kalınlık, eğim, dayanım vs.) bilinmesi, boyutlandırma açısından birinci derecede öneme sahiptir.

Farklı jeolojik şartlarda, tavan ve göçük bölgesinde oluşan gerilmelere göre yürüyen tahkimat elemanlarında meydana gelmesi beklenen gerilme dağılımının belirlenmesi, uzun ayağın modellenmesi ve bu gerilme değerlerine göre en uygun

tahkimat seçiminin yapılması bu tez çalışmasının amacını ve kapsamını oluşturmaktadır.

Bu amaçla, yürüyen tahkimat seçimine etki eden parametreler, nümerik modelleme, katı modelleme ve matematiksel modelleme yöntemleriyle beraber kullanılmıştır. 1. aşamada tahkimat seçimine etki eden parametreler belirlenmiştir. Tahkimatlar maliyetleri yüksek ekipmanlar olması nedeniyle seçim aşamasında sadece parametreler dikkate alınarak karar verilmesi doğru değildir. Bu nedenle, tez çalışmasının 2. aşamasında tahkimatın seçim aşamasında daha doğru karar verebilmek için nümerik modelleme yöntemleri kullanılmıştır. Bu kapsamda, Phase^{2D} modelleme yazılımıyla uzun ayak sahası modellenmiştir. 3. aşamada yürüyen tahkimatın çalışma sahasında ölçüleri alınmış ve SpaceClaim yazılımı kullanılarak tahkimata ait katı model çizilmiştir. 4. aşamada saha modellerinden elde edilen tavan ve göçük bölgesi gerilme değerleri, ANSYS gerilme analizi yazılımıyla tahkimat üzerine tavan ve göçük bölgesinden etki edecek şekilde uygulanmış ve tahkimat elemanlarında meydana gelen en düşük ve en yüksek gerilmeler hesaplanmıştır.

Tez çalışmasının son aşamasında, tahkimat elemanlarında ANSYS gerilme analizi yazılımı yardımıyla elde edilen gerilme değerleri matematiksel modelleme yöntemleri kullanılarak modellenmiştir. Bu modelleme işlemi sonucunda, yürüyen tahkimat seçiminde en önemli parametrelerden biri olan tahkimat taşıma kapasitesi ve dolayısıyla tahkimat elemanlarında meydana gelmesi beklenen maksimum gerilme değerleri matematiksel eşitlikler yardımıyla belirlenmiş ve tahkimat seçiminde karar verici konumunda olan mühendisler için önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM İKİ

UZUN AYAK MADENCİLİĞİ

2.1 Giriş

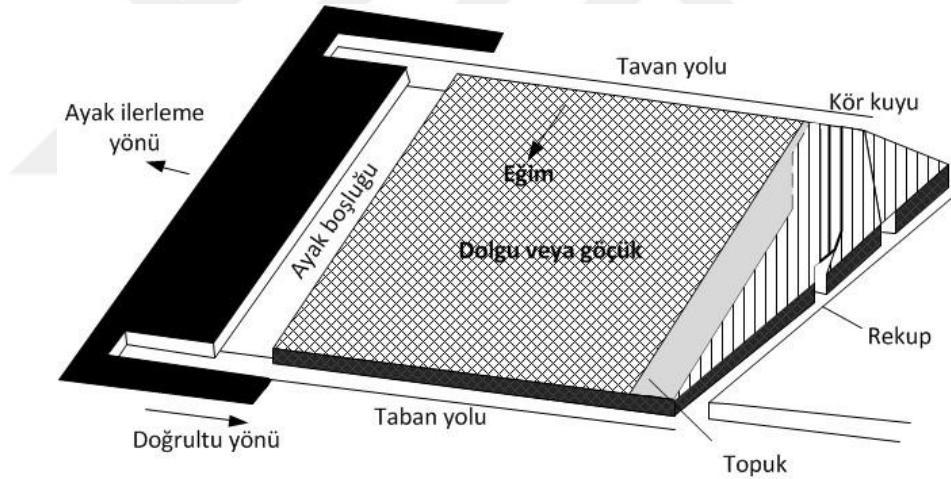
Uzun ayak madenciliği, jeolojik koşulların oluşturduğu sınırlamalardan dolayı özellikle Avrupa madenciliğinde gelişen ve mekanize sistemlerin uygulanmaya başlanmasıyla bütün dünyaya yayılan bir üretim yöntemidir. 18. yüzyılın başlarında ilk defa İngiltere'nin Shropshire bölgesinde uygulanmaya başlayan uzun ayak madenciliği, başlangıçta yapılan işlemlerin plan görünüşünden dolayı "circular" (dairese) ismini almıştı. Önceleri sadece ısınma amacıyla kullanılan kömür için var olan talep, endüstrileşmeye bağlı olarak artınca yöntem daha organize bir hale getirilmiş, tek vardiyalık çalışma üç vardiyaya çıkarılarak her vardiyada yapılacak işler ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Basınçlı hava ve elektrik gibi güç kaynaklarındaki gelişmeler kömür ocaklarındaki mekanizasyona önderlik etmiştir. İkinci Dünya Savaşı'ndan önce Almanya ve İngiltere'de bazı ayaklarda mekanizasyon uygulamaları yapılmış, savaşın sonuçlanmasından sonra ise asıl büyük gelişmeler yaşanmıştır. İngiltere'de ilk kesici-yükleyici makinenin, Almanya'da ise ilk kömür sabanının yapılması, İngiltere'de ilk yürüyen tahkimatların ve Almanya'da ise ilk zincirli oluğun imal edilmesi mekanize uzun ayak madenciliği açısından önemli gelişmelerdir. Günümüzde ise otomasyon uygulamaları ve bilgisayarların da devreye girmesiyle mekanize uzun ayak teknolojisinde büyük gelişmeler sağlanmıştır (Lucas, 1981).

2.2 Uzun Ayak Yöntemi ve Başlıca Özellikleri

Kömür veya diğer yumuşak ila orta sertlikteki minerallerin, iki damar içi galerisi arasında kalan, uzun ve doğrusal bir arın boyunca üretildiği yeraltı üretim yöntemine "uzun ayak yöntemi" denir (Şekil 2.1). Bu yöntem dünyada en fazla kömür madenciliğinde, sınırlı bir oranda da diğer yatay uzanımlı, orta sertlikteki damarlarda (potasyum, kaya tuzu vs.) uygulama alanı bulmaktadır. Genelde 60 ila 350 m arasında uzunluğa sahip olabilen uzun ayaklarda (ortalama uzunluk 100 - 250 m) zemin

kontrolü diğer yöntemlere göre daha kolaydır ve ton kömür başına düşen hazırlık giderleri daha düşüktür. Bir damarın uzun ayak yöntemiyle üretilmesi için;

- damarın yatay boyutlarının, düşey boyutunun üst katları oranında olması,
- damar eğiminin 0° - 60° arasında olması,
- damar kalınlığının 0,6 – 4,5 m arasında olması,
- su gelirinin olmaması veya çok az olması,
- taban taşının uzun ayakta kullanılan ekipmanın batmasına izin vermeyecek, tavanın ise göçertme işleminin kesintisiz olarak sürdürülmesine izin verecek gevreklikte, ancak tahkimatta sorun yaratmayacak dayanım ve üniformiteye sahip olması,
- damarın, ayak boyunu fazla sınırlayacak veya üretim sırasında problemlili geçişler yaratarak çalışmada kesintiye neden olacak aşırı tektonizmaya sahip olmaması gerekir.



Şekil 2.1 Uzun ayak üretim yöntemi (Şimşir, 2015)

Uzun ayaklar ilerletimli veya geri dönümlü uygulanabilirler. Tavan-taban yollarının ayak ilerlemesiyle birlikte sürüldüğü durumda ilerletimli üretimden, damar içi galerilerinin önceden tamamlanıp, ayağın bu yolların uç noktalarının arasında oluşturulup geriye doğru gelerek kazı yapılması durumunda da geri dönümlü kazıdan bahsedilir.

Ayak arkasının durumu açısından günümüzde en sık uygulanan yöntem, kazı sonrasında ayak arkasının göçertilmesidir. Bu hem daha ekonomik, hem de ikincil gerilmelerin birikiminin önlenmesi açısından uygun bir çalışma tarzıdır. Ancak işletme sahası üzerinde yerleşim bölgelerinin olduğu (dolayısıyla yeryüzünde üretim sonrası meydana gelebilecek çökmelerden etkilenecek yapıların), ana damar üzerinde üretilmesi ekonomik olmayan, ancak göçertildiğinde parçalanarak olası yangınlara neden olabilecek ince kömür damarlarının bulunduğu veya tavan tabakalarının göçertme sırasında sorun yaratan çok sert ve dayanıklı birimlerden oluştuğu durumlarda, ayak arkasındaki boşluk, ocak içinden sağlanan veya ocak dışından getirilen dolgu maddesiyle doldurulur.

Uzun ayak, damar eğimine bağlı olarak yatay, meyil yukarı veya meyil aşağı oluşturulabilir. Ancak kazı kolaylığı, kazılan kömürün konveyöre yüklenmesi ve ayak içi nakliyatı açısından en çok tercih edilen çalışma şekli, yatay uzun ayaktır.

2.3 Uzun Ayaklarda Karşılaşılan Sorunlar ve Mekanizasyon Gerekçeleri

Uzun ayak üretim yönteminde ikincil gerilmeler, özellikle ayağın üretime geçiş aşamasında ve/veya ayağın uzun süre çalışmadan beklediği durumlarda büyük değerlere ulaşabilmekte, dolayısıyla tahkimatta ve tavan tabakalarında plâstik değişmelere neden olabilmektedir. Yine üretilmekte olan panonun civarındaki eski üretim bölgeleri ayak üzerindeki gerilmelerin artmasına neden olabilmekte, bu da beraberinde tahkimat yoğunluğunun ve iş gücünün fazlalaşmasını getirmektedir. Bu durum özellikle ayak-damar içi galerisi geçiş bölgesinde kendisini çok daha yoğun hissettirmektedir.

Yukarıdaki paragrafta anılan nedenlerden ve ayağın verimli çalışması gereğinden dolayı, kazı hızının günde yaklaşık 1,5 m'nin altına düşmemesi gerekir. Ancak bu ilerlemeye, yeterli eleman olmaması veya sorunlu bölgelerin geçilmesi durumunda ulaşılamamakta ve ayak çalışması verimli olmamaktadır.

Ayakta çalışan işçilerin güvenlikleri tavandan düşebilen kavlaklar, göçen tabakalardan iri parçaların yuvarlanarak ayak içine dolması, kömür damarı patlamaları

(arından ani kömür püskürmesi), arından kopan iri parçalar vs. nedeniyle zaman zaman tehlikeye girebilmektedir.

Değinilen tüm bu sorunlar, tam mekanize ayak uygulamasıyla ortadan kaldırılabilmektedir. Zira böyle bir ayakta, ayak içinde çalışan işçilerin göçük bölgesiyle ilişkileri tamamen kesilmiştir ve işçiler emniyetli bir ayak boşluğunda çalışmaktadır. Ayrıca güçlü kazı makinalarıyla sorunlu yapıya sahip bölgelerin geçişi kolaylaşmakta ve yüksek bir kazı hızına ulaşılmaktadır. Tavanın ve kömür arınına en yakın bölgedeki tavanın tahkimatı, mekanize tahkimat ünitelerinin uzatma parçalarıyla büyük bir güvenlikle yapılabilmekte, kavlak ve iri blok düşmesi sorunu ortadan kaldırılmaktadır.

2.4 Tam Mekanize Uzun Ayak Ekipmanları

Tam mekanize bir uzun ayakta kullanılan ekipmanlar en genel haliyle aşağıda belirtilmiştir;

Kesici-Yükleyici Makine,
Ayak İçi Konveyör,
Ayak Tahkimatları,
Geçiş Tahkimatları,
Ayak Sonu Tahkimatları,
Toplayıcı Konveyör,
Bantlı Konveyör,
Toz Bastırma Pompası,
Güç Kesiciler,
Kulikar,
Hidrolik Pompa,
Monoray,
Trafo.

Mekanize uzun ayak madenciğinde başlıca yapılan işlemler en genel şekliyle; tavanın tahkim edilmesi, kömür kazısının yapılması ve kazılan kömürün nakliyesi olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte, bu üç ana işlemin sağlıklı ve başarılı bir şekilde

yürütülmesi, mekanize uzun ayaklardaki bütün ekipmanların birbirleriyle uyumlu bir çalışma temposu içerisinde bulunmasına bağlıdır.



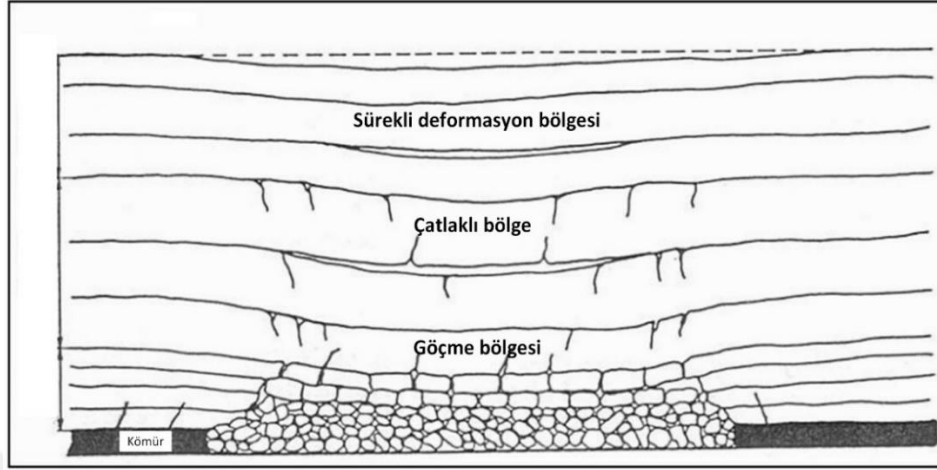
Şekil 2.2 Tam mekanize çalışan bir uzun ayağın görünüşü

2.5 Uzun Ayaklarda Tabaka Hareketleri

2.5.1 Örtü Tabakası Bölgeleri

Peng ve Chiang (1984) yaptıkları çalışmada bir kömür damarı üzerindeki örtüyü oluşturan tabakaları üç bölgeye ayırmışlardır (Şekil 2.3). İlk bölge, yalancı tavanın yer aldığı göçme bölgesidir. Bu bölgenin yüksekliği, üretim yüksekliğinin 2 ila 8 katı arasında değişmektedir. Göçme bölgesinde tavan tabakaları, altında kömürü alınmış olan boşluğa düşmektedir. Kayaçlar kırılmış olduğundan yığın katsayısı veya kabarma katsayısı (kırılmış kayaç hacminin kayacın yerindeki hacmine oranı) 1'den büyük olmaktadır. Göçme bölgesinin üzerinde çatlaklı bölge yer almaktadır. Bu bölgede tabakalar, yatak ayrımına göre dikey ve yatay kırıklar ile ayrılmış bloklar halindedir. Dik çatlaklar arasında temas olduğundan yatay kuvvetler tabaka boyunca iletilirler ve bloklar serbestçe hareket edememektedir. Bu bölgedeki tabaka yüksekliği, üretim yüksekliğinin 28 ila 42 katı arasında değişmekte ve göçme bölgesiyle birleşince, üretim seviyesinin 30 ila 50 katı yukarısında yer alabilmektedir. Çatlaklı bölge ile yeryüzü arasındaki bölge, sürekli deformasyon

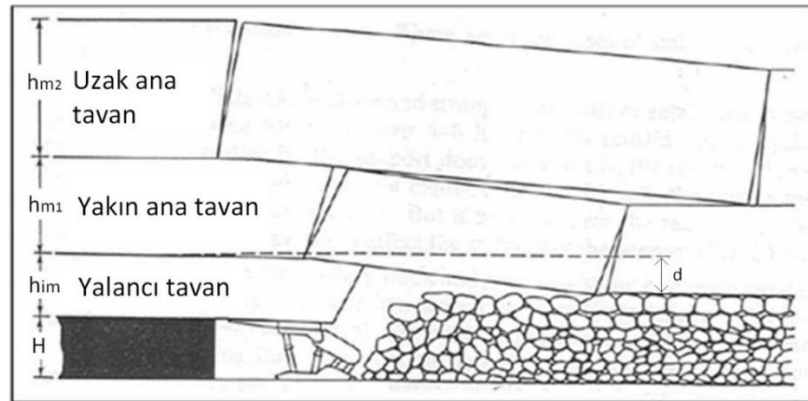
bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgede çatlaklı bölgedeki gibi büyük kırıklar görülmekte ve katmanlar sürekli ortam gibi davranmaktadır.



Şekil 2.3 Uzun ayak örtü tabakası bölgeleri (Peng,1986)

2.5.2 Yalancı Tavan

Yalancı tavan; uzun ayaklarda tabaka kontrolü açısından anahtar rol oynamaktadır. Kömür damarının hemen üzerinde yer alan bu tabaka, üretim döngüsünde yürüyen tahkimatların ilerletilmesiyle arkada kalır ve daha sonra göçer. Bu tavan kırılıp göçük bölgesinde kaldığı için panonun ilerleme yönü boyunca yatay kuvvetleri iletmemektedir. Bu yüzden yalancı tavanı oluşturan bu tabakanın ağırlığının tahkimat üniteleri tarafından taşınması gerekmektedir (Peng ve Chiang,1984).



Şekil 2.4 Yalancı ve ana tavanların gösterimi (Peng,1986)

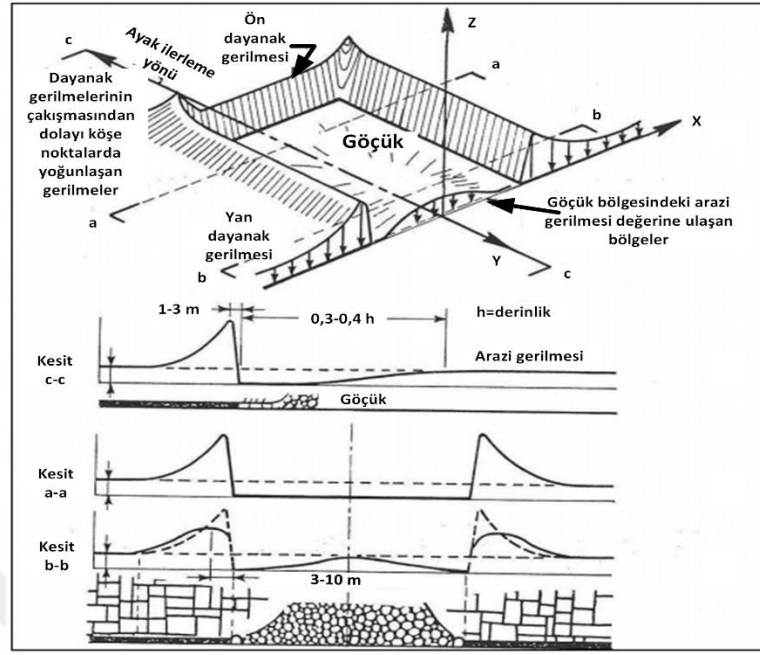
2.5.3 Ana Tavan

Yalancı tavanın üzerinde yer alan ve kırıklı bölgenin alt tarafında kalan kısım ana tavan olarak adlandırılmaktadır. Bu tavanın üzerinde yer alan katman, aynanın tavan duraylılığını etkilememektedir. Katmanda kırıklar bulunmasına rağmen, katmandaki büyük kütleler temas halindedir ve bu yüzden yatay kuvvetleri iletmektedir. Ancak bu büyük kütlelerin göçük üzerinde kalan kısmı, tahkimat ve yalancı tavan üzerinde kalan kısmından daha aşağıdadır ve belirli aralıklarda kırılıp birbirlerinden ayrılmaktadır. Kontrol altına alınması gereken en önemli unsur, bu katmanın kırılıp düşerken oluşturduğu darbenin etkisini sınırlı tutabilmektedir (Peng,1986).

2.5.4 Kemerleme Gerilmeleri

Kavramsal olarak, kazı yapılmadan önce, örtü tabakası ağırlığının yaratmış olduğu yükler altındaki kömür damarı, damardan daha sağlam tavan katmanları ve taban katmanları arasında bulunmaktadır. Bu koşullar altında gerilme düzenli şekilde dağılmaktadır. Ancak üretim başladığında bu gerilmeler yeniden düzenlenmekte ve yeni denge oluşmaktadır. Bunun nedeni, katmanların ağırlığının uzun ayak üretim yöntemiyle çalışılan madenlerin jeomekanik özelliklerinden dolayı aynanın ön, arka ve yan kısımlarına aktarılmasıdır. Bu durum; damarda, bir ayağı henüz kazılmamış kömürde, diğer ayağı ise göçük bölgesinde olan bir köprü oluşturmaktadır. Bu köprünün her iki ucunda sıkışma meydana gelmekte ve böylece ayaktaki tahkimatlar, ayağın üzerindeki katmanların 10 ila 15 m kalınlıktaki ağırlığı kadar yükü taşıyabilmektedir (Bienawski, 1989).

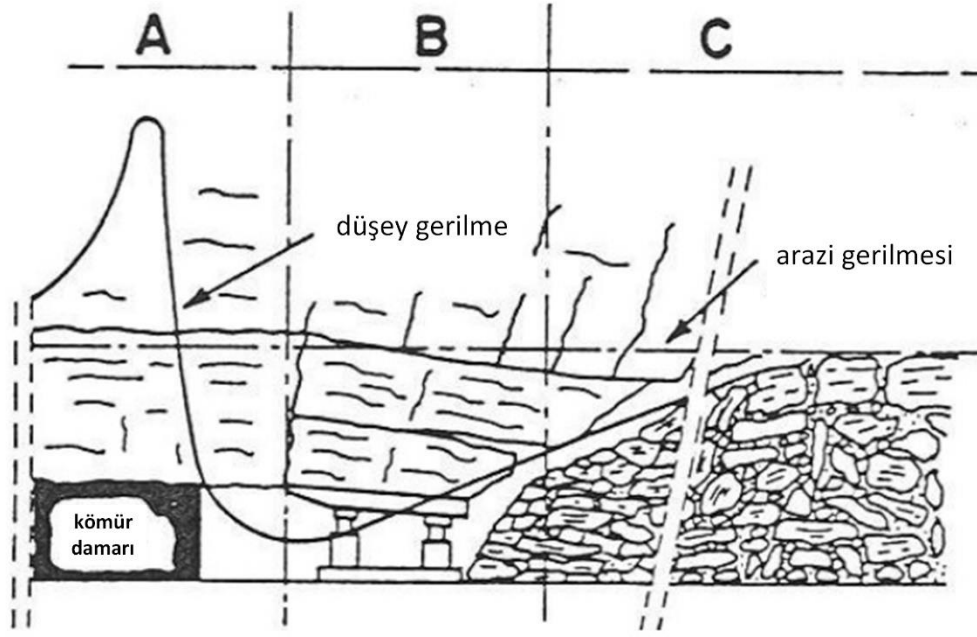
Üretim devam ettikçe, örtü tabakasının yarattığı gerilmeler köşe bölgelerde üst üste binerek büyük gerilmeler oluşturmaktadır. Bu köşeler kemerleme, bu bölgelerdeki gerilmeler ise kemerleme gerilmeleri olarak adlandırılmaktadır. Uzun ayak panosunun önündeki kemerleme gerilmesine “ayak önü kemerleme gerilmesi”, panonun tavan, taban yolları boyunca gözlemlenen ve göçükteki gerilmeler ise “yan kemerleme gerilmesi” olarak adlandırılmaktadır (Peng, 1986). Yan kemerleme gerilmeleri pano köşelerinden uzaklaştıkça üstel bir şekilde azalmakta ve örtü tabakasının yarattığı gerilme değerine ulaşmaktadır (Şekil 2.5) (Jeremic, 1985).



Şekil 2.5 Uzun ayak panosu tavanında meydana gelen gerilmeler (Whittaker, 1974)

2.5.5 Ön ve Yan Kemerleme Gerilmeleri

Ön kemerleme gerilmesi uzun ayağın içinde bulunduğu formasyonun jeolojik yapısına bağlı olarak çok küçük değerlerde olsa da ayağın örtü tabakası derinliği kadar ilerisinde gözlemlenmektedir ve ayağın yaklaşık 30 m ilerisinden başlayarak ayağa yaklaştıkça hızlı bir şekilde artmaktadır. Ancak bu noktadan itibaren, tahkimatların etkisiyle, ayak içinde arazi gerilme değerinin de altına düşmektedir. Daha sonra, göçük bölgesine doğru tekrar artış eğilimi göstermekte ve göçük içinde arazi gerilmesi değerine yaklaşmaktadır. Göçük bölgesinde gerilme, arazi gerilmesine ulaşıncaya kadar artmaktadır. (Şekil 2.6) (Bienawski, 1989).



Şekil 2.6 Ön kemerleme gerilmesi (Bienawski, 1989)

Ön kemerleme gerilmesi genişliği, üretim yapılan bölge boyunca düzenli bir dağılım göstermemektedir. Ayak başlarında, panonun bitişiğindeki üretimi bitmiş panoların etkisiyle daha büyük olan gerilme, ayak ortasına doğru azalmaktadır. Ön kemerleme gerilmesinin gözlemlendiği genişlik yalnızca ayağın bulunduğu derinliğe bağlı olmamakta, yalancı tavanın ve ana tavanın fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Peng, 1986). Ön kemerleme gerilmesinin en yüksek olduğu bölge, yalancı tavanın zayıf olduğu ve tahkimatların hemen arkasına göçtüğü durumlarda genellikle panonun köşelerinde gözlemlenmektedir (Jeremic, 1985).

BÖLÜM ÜÇ

YÜRÜYEN TAHKİMATLAR VE GELİŞİMİ

3.1 Giriş

Modern uzun ayak madenciliğinde ayak tavanının desteklenmesinde yürüyen tahkimat üniteleri kullanılmaktadır. Yürüyen tahkimat üniteleri, ayak ilerlemesinin herhangi bir anında tahkimat yapmak, ayaktaki açık alanları muhafaza etmek, ayakta çalışan insanları kaya ve kömür düşmelerinden korumak ve ayak içi nakliye sisteminin ilerletilmesinde gerekli olan kuvvetler için dayanma noktası sağlanması fonksiyonlarına sahiptir. Bu nedenlerden dolayı başarılı bir uzun ayak madenciliği için başarılı bir tahkimat seçimi ve başarılı bir tahkimat uygulaması gereklidir. Uzun ayak arınları için çok fazla sayıda tahkimat gerekli olduğundan, yürüyen tahkimat maliyetleri neredeyse uzun ayak maliyetinin yarısından fazlasını oluşturmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yürüyen tahkimatlar uzun ayaklardaki en önemli ekipmanlardan bir tanesidir.

Yürüyen tahkimatların ilk uygulamaları 1950'li yılların başlarına dayanır. O dönemden bugüne kadar dünyanın bir çok yerinde çok çeşitli modeller üretilmiştir. Maalesef günümüzde bile hâlâ yürüyen tahkimatların sınıflandırılması için değişmez bir sınıflandırma sistemi yoktur. Bununla birlikte, yürüyen tahkimatların ana bileşenleri sınıflama parametresi olarak kullanılmaktadır. Sınıflamada kullanılan iki ana bileşenden birincisi göçük kalkanının olup olmamasıdır. Şayet göçük kalkanı varsa tahkimata kalkan tipi yürüyen tahkimat denilmektedir. İkinci bileşen ise hidrolik direklerin sayısı ve bunların yerleştirilme düzenidir. Tahkimat kapasitesi genellikle hidrolik direk sayısı ile orantılı olduğundan, kullanılan hidrolik direk sayısı tahkimat için son derece önemlidir. Bu ana fikre göre yürüyen tahkimatlar üç ana grupta incelenmektedir. Bunlar çerçeve tipi, domuz damı tipi, kalkan tipi yürüyen tahkimatlardır (Yavuz, 2002).

Hızla gelişen maden makineleri sanayiinde, yürüyen tahkimatlarla ilgili iki önemli gelişme dönemi söz konusudur. İlk gelişme 1950'lerde modern yürüyen tahkimat

türlerinin kullanılmaya başlanması, ikincisi ise 1970'lerde lemniskat tip ve dam-kalkan (chock-shield) tipi tahkimatların kullanıma girmesidir. Genel amaçlı yürüyen tahkimat çeşitleri oldukça fazla olmasına karşın, genel olarak bunları dam, kaliper ve lemniskat olmak üzere üç bölümde sınıflandırmak mümkündür. Kaliper tahkimatlarda tavan kalkanı (canopy) göçük kalkanına pivot mafsallarla bağlıdır. Göçük kalkanı da taban plâkasına başka bir mafsalla bağlıdır. Bu nedenle, tavan kalkanı yükselirken dairesel bir hareket yapar. Ayaktaki konverjans ve tavan kalkanı ile tavan kömürü arasındaki sürtünmeden dolayı bu dairesel hareket, tahkimat bağlantılarında ve hidrolik silindirlerde kontrolsüz yük konsantrasyonlarına neden olur. Bunun yanı sıra hidrolik direkler göçük kalkanına bağlı olduğundan, kalkanda bükülme gerilmelerine yol açar.

Mekanize tahkimatların, çalışma verimliliğini ve iş güvenliğini artıran çok sayıda üstünlükleri vardır. Bunlar aşağıda özetlenmiştir;

- Mekanize tahkimat ünitesinin tüm hareketleri (tavana basma yani yükselme, alçalma vb.), 300-350 bar basınçtaki hidrolik sıvısıyla (% 3-5'lik bor yağı-su emülsiyonu) sağlanır. Aynı şekilde nakliyat ünitesinin arına doğru itilmesi ve tahkimat ünitesinin ileriye alınması da, hidrolik silindirler yardımıyla olur.
- Açılan serbest tavanın tahkim edilmeden tutulma süresi, uygun uzatma parçalar yardımıyla en aza indirilir. Böylece, tavandan ve arından blok düşme tehlikesi önlenmiş olur.
- Uygun silindir yerleşimi ile ayak ekibine rahat bir geçiş yolu ve yeterli bir havalandırma için uygun bir kesit sağlanır.

3.2 Yürüyen Tahkimat Tipleri

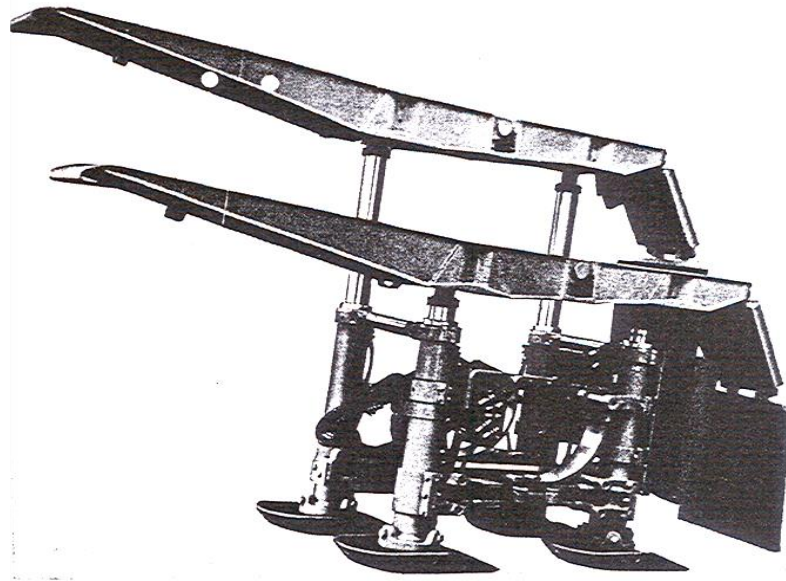
Yürüyen tahkimatlar üç ana grupta ele alınmaktadır. Bunlar, çerçeve tipi, domuz damı tipi ve kalkan tipi yürüyen tahkimatlardır.

3.2.1 Çerçeve Tipi Yürüyen Tahkimat

Yürüyen tahkimatların ilk şeklidir (Şekil 3.1). Hidrolik direkler tek veya iki sarmayı destekler. İki sarması olan tipleri mafsal ile birbirlerine bağlıdır. İki sarma arasında oluşan boşluktan kırılan tavan taşının ayak içine göçmesine engel olamadığından, zayıf tavan taşı koşulları için uygun değildir (Birön ve Arıoğlu, 1993).

Çerçeve tipi yürüyen tahkimat genellikle yeraltında kullanılan tek hidrolik direk sisteminin devamıdır. Genel olarak pencere tipi yürüyen tahkimatlar iki veya üç adet hidrolik direk setine sahiptir. Hareket durumlarında ilk olarak ikinci, daha sonra ise birinci direk seti hareket etmektedir. Çerçeve tipi yürüyen tahkimatlar oldukça basit, daha esnek, fakat daha az sabit yapıya sahiptirler. Tavan sarmaları arası tamamen kapalı olmadığından tavandan gelen malzemeler ayak içerisine akabilir. Çerçeve tipi yürüyen tahkimatların zayıf tavan koşullarında kullanılması uygun değildir. Uygulamada oldukça nadir kullanılırlar, çünkü daha az dengelidirler ve oldukça sık bakım görmeleri gereklidir (Yavuz, 2002).

Çerçeve tipi yürüyen tahkimatlarda, uzun ayakta toplam tavan alanının yaklaşık yarısı desteksiz kalmaktadır. Bu tür sakıncaları ortadan kaldırmak için domuz damı tipi yürüyen tahkimatlar geliştirilmiştir.

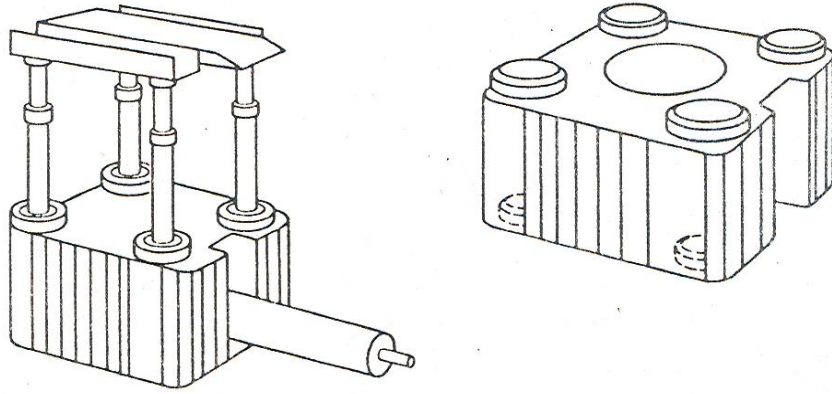


Şekil 3.1 Çerçeve tipi yürüyen tahkimat (Peng ve Chiang, 1984)

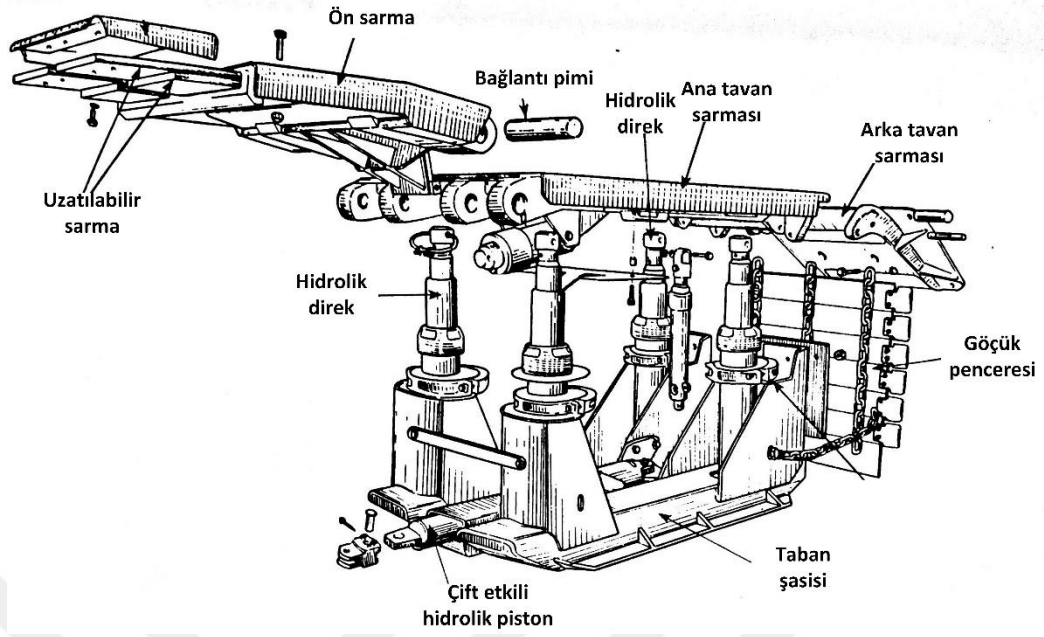
3.2.2 Domuz Damı Tipi Yürüyen Tahkimat

Tek veya iki parçadan oluşan sarmayı 4 veya 6 hidrolik direğin desteklediği tahkimat tipleridir.

Domuz damı tipi yürüyen tahkimatlarda tavan sarması yekpare bir parça halinde olup, taban ise bir veya iki parça halinde hidrolik direklerle birbirine bağlanmıştır. Bütün hidrolik direkler düşey olarak taban ve tavan sarması arasına monte edilmiştir. Kullanılan hidrolik direk sayısı 3 ile 6 arasında değişir, ancak en çok kullanılan tipleri 4 direkli olanlardır. 6 direkli olanları genellikle ince damarlar için tasarlanmıştır. Çoğu domuz damı tipi yürüyen tahkimatlar tavan sarmasının arka tarafında tasarlanan göçük penceresi ile donatılmıştır. Domuz damı tipi yürüyen tahkimatlar orta sertlikteki tavan koşullarında kullanım için uygundur. Tavan tabakalarının göçük üzerinde askıda kalması durumunda, göçük tarafına geçiş sağlaması açısından da kullanışlıdır.



Şekil 3.2 Domuz damı tipi yürüyen tahkimatın ilk modeli (Birön ve Arıoğlu, 1993)



Şekil 3.3 Domuz damı tipi yürüyen tahkimat (Peng ve Chiang, 1984)

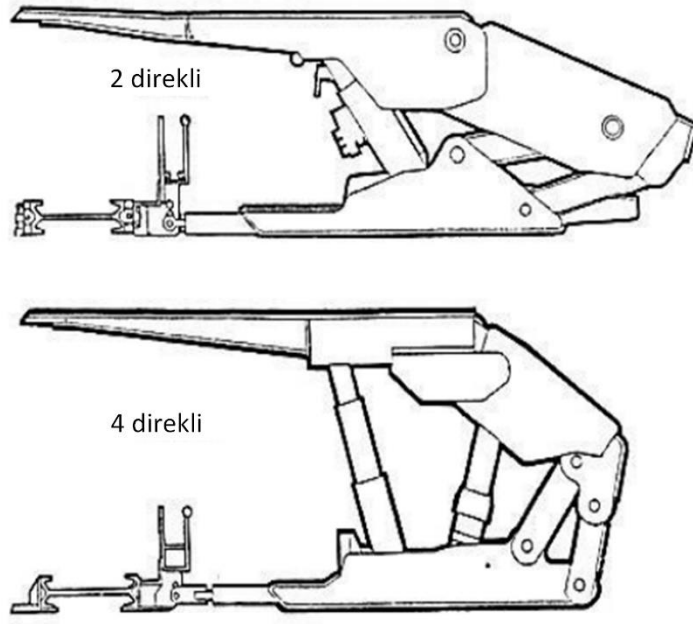
3.2.3 Kalkan Tipi Yürüyen Tahkimatlar

Kalkan türü yürüyen tahkimatların en önemli özelliği, yürüyen tahkimata kalkan formu verilerek göçük hattının yürüyen tahkimatın hemen arkasında oluşturulmasıdır. Yürüyen tahkimata göçük sarması ve lemniskat bağlantı sistemi eklenmiştir. Lemniskat bağlantı arkada göçük sarması ile taban şasisi arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Genellikle eğimli olan göçük sarması, tavan sarmasına menteşe ile bağlanmakta ve lemniskat bağlantı ile de tahkimatı kinematik olarak daha stabil hale getirmektedir. Ayrıca göçük tarafını kapatması nedeniyle yürüyen tahkimatın ayna tarafına tavan taşı pasasının dökülmesini önlemektedir. Bu yönüyle kalkan türü yürüyen tahkimat kullanılan uzun ayaklar daha temizdir. Kalkan türü yürüyen tahkimatlarda hidrolik direkler genelde eğimli yerleştirilirler ve böylece geniş bir çalışma yüksekliği aralığı ve daha çok açık alan sağlanır. Tavan sarması, göçük sarması ve taban şasisi ara bağlantılı olduğundan, yürüyen tahkimatlar yatay kuvvetlere daha dirençli olmaktadır.

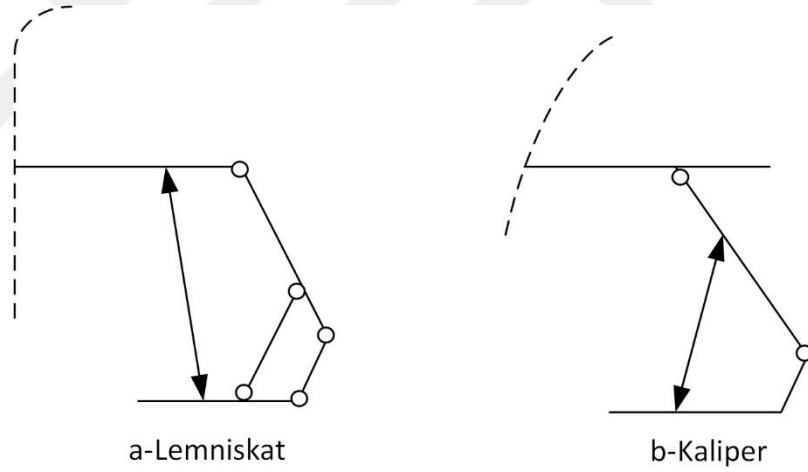


Şekil 3.4 Kalkan tipi (Lemniskat) yürüyen tahkimat

Kalkan türü yürüyen tahkimatların iki ayrı tipi vardır. Bunlar, iki direkli ve dört direkli kalkan türü tahkimatlardır. İki direkli yürüyen tahkimatlarda her iki direk tavan sarması ile taban şasisi arasına yerleşik iken, dört direkli yürüyen tahkimatlarda ön iki direk tavan sarması ile taban şasisi arasına; arka iki direk ise göçük sarması ile taban şasisi arasına yerleşiktirler (Şekil 3.5). Kalkan türü iki direkli yürüyen tahkimatların iki tipi vardır (Şekil 3.6). Birincisi kaliper tipidir. Bu yürüyen tahkimatların oldukça basit bir tasarımı olmasına karşılık tavan sarmasının arına göre konumu hidrolik direklerin uzama miktarına, açılma uzunluğuna bağlıdır. Bu yapısal sınırlama sistemin en önemli sakıncasıdır. Ayrıca, normal konverjans altında tavan sarmasının alçalması tavan seviyesinde önemli sürtünme kuvveti oluşturur. Yürüyen tahkimatlar, söz konusu kuvvetin etkisiyle göçüğe doğru hareket eder. Sürtünme kuvvetinin diğer bir etkisi de tahkimatın esneme kapasitesini hissedilir ölçüde azaltmasıdır. İkinci tip ise lemniskat tipidir. Bu tip ile yukarıda belirtilen sakıncalar ortadan kaldırılmıştır. Günümüzde en popüler olan yürüyen tahkimat lemniskat tipidir (Öğretmen, 2015).



Şekil 3.5 2 ve 4 direkli kalkan tipi yürüyen tahkimatlar (Peng, 2006)



Şekil 3.6 Lemniskat ve kaliper tip yürüyen tahkimatların tavan sarması hareket yönleri (Birön ve Arıoğlu, 1993)

Kalkan tipi yürüyen tahkimatların avantajları: Düşük tavan alçalması; hidrolik sistemler tavanı etkili olarak kontrol eder. Yüksek üretim miktarı; mekanizasyon sayesinde sistem günlük ilerleme miktarını günlük 5-6 m arasında arttırır, bu sayede günlük üretim 1500-2000 ton arasında artar. Güvenli üretim; etkili tavan kontrolü sayesinde oluşabilecek kazaları en aza indirger ve yüksek verimle çalışır.

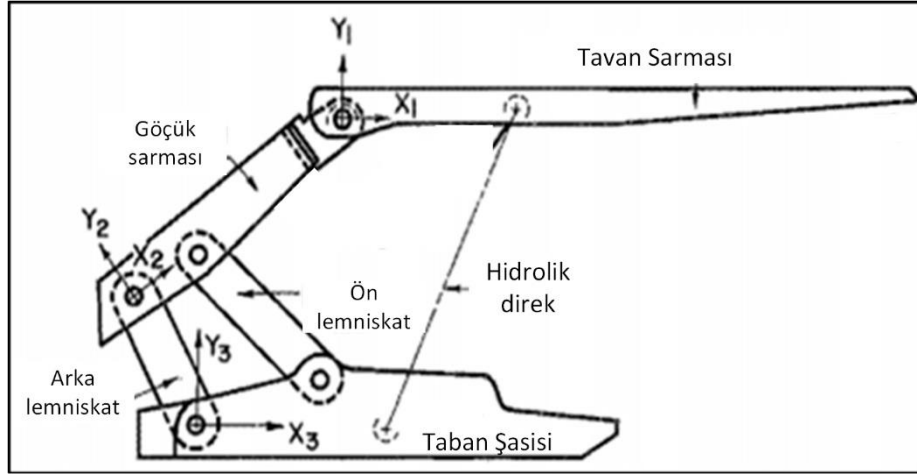
Kalkan tipi yürüyen tahkimatların dezavantajları: Yüksek sermaye maliyeti; yürüyen tahkimatların ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Yüksek bakım maliyeti; yürüyen tahkimatların bakım maliyetleri, klasik tahkimatların bakım maliyetlerine göre çok daha fazladır. Nitelikli iş gücü; yürüyen tahkimat sistemleri yüksek kalitede iş gücüne ihtiyaç duyar. Jeolojik özellikler; jeolojik özellikleri karşılayacak tahkimat sistemlerinin üretilmesi kolay değildir. Tahkimatın mekanik işletilebilirlik koşullarını sağlaması gerekir (Akande ve Saliu, 2011).

3.3 Yürüyen Tahkimatı Oluşturan Parçalar ve Yük Taşıma Birimleri

Modern yürüyen tahkimatlar beş ana bölümden oluşur.

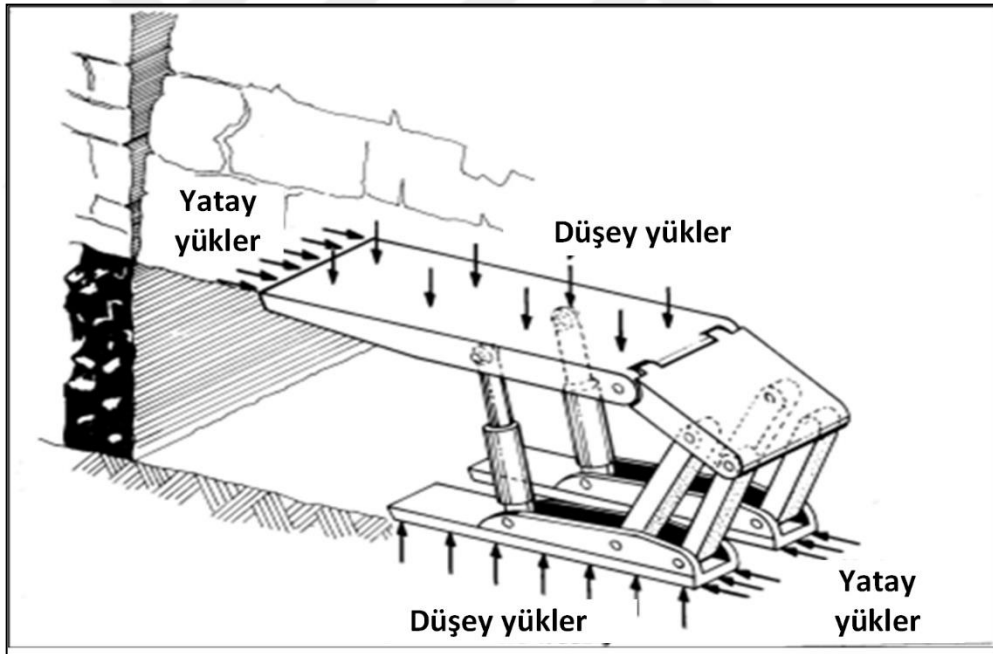
- 1-Yük taşıma birimleri: Bu birimler; tavan sarması, taban şasisi, göçük sarması, lemniskat bağlantılar ve bağlantı pimlerinden oluşur.
- 2-Hidrolik direkler: Bu birim zincirli konveyörü iten ve tahkimatın ilerlemesini sağlayan, süreni veya ayna tutucuyu çalıştıran, tavan sarmasının pozisyonunu ayarlayan veya kısıtlayan ve diğer yardımcı parçaların çalışmasını sağlayan (yanlarda bulunan kalkanlar vs.) hidrolik pistonlardan oluşur.
- 3-Kontrol ve çalışma birimleri: Bu birimler iç kontrol vanaları (hidrolik direklerdeki kontrol ve esneme vanaları gibi), birim kontrol vanaları ve yüksek basınç hidrolik boruları gibi kısımlardan oluşur.
- 4-Yardımcı parçalar: Bu birimler göçük penceresi, ayna tutucu, taban şasisini çeken piston ve aydınlatma lambalarından oluşur.
- 5-Hidrolik sıvı: Yürüyen tahkimatları hareket ettirmede kullanılan ve yüksek basınç altında bulunan bir emülsiyondur.

Bütün bu kısımlar, hidrolik direkler ve mafsallarla birbirlerine bağlıdır.



Şekil 3.7 Yürüyen tahkimatın kısımları (Barczak and Schwemmer , 1988)

Yürüyen tahkimatların bu kısımları, tavan aktiviteleri ve yük transfer mekanizması nedeniyle yatay ve düşey yönde yüklemelere maruz kalırlar.

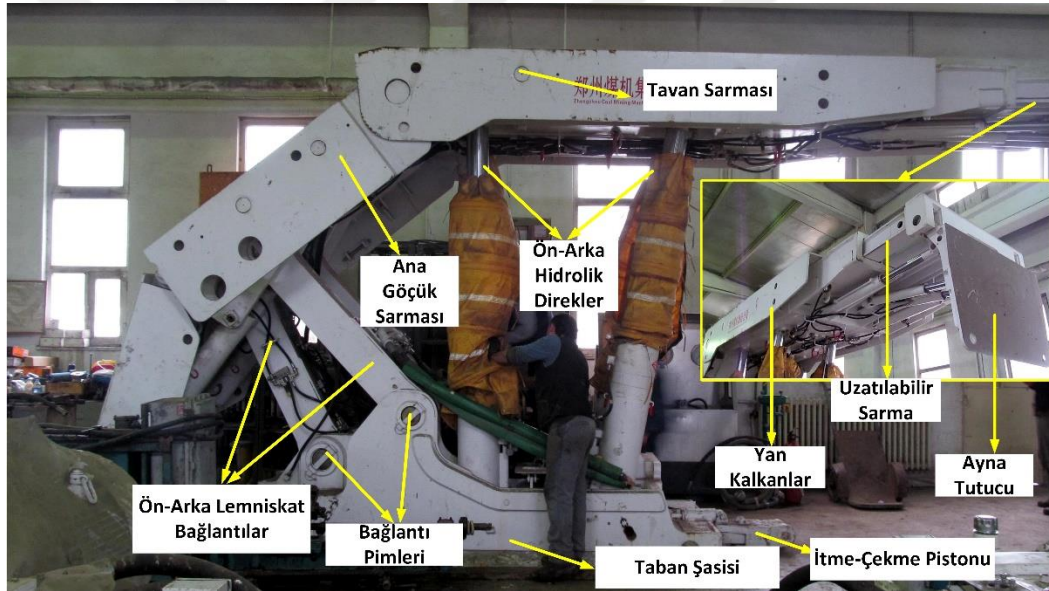


Şekil 3.8 Yürüyen tahkimat üzerine yatay ve düşey yönde etki eden kuvvetler (Barczak and Gearhart , 1992)

Tavan ve taban sarması, tavan ve zemin tabakaları arasında bir ara yüzey gibi görev yapar. Tavan sarmasına etki eden kuvvetler, hidrolik direkler ve/veya göçük sarması, lemniskat bağlantılar vasıtasıyla taban şasisine iletilir. Bu yüklerin, tahkimat elemanları vasıtasıyla nasıl iletilildiği tahkimat dizaynı açısından çok önemlidir.

Yük transferinde hidrolik direklerin işlevine bakıldığında, yatay ve düşey yönde etki eden yüklerin taşınmasında hidrolik direklerin eğiminin önemli rol oynadığı görülmektedir. Bu eğim tahkimatın çalışma yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca tavan sarmasına etki eden düşey yöndeki yüklerin tamamı hidrolik direkler vasıtasıyla taban sarmasına iletilmektedir (Peng ve Chiang, 1984).

Hidrolik direklerin, göçük sarmasının ve lemniskat bağlantıların yatay ve düşey yöndeki yükleri taşıma ve aktarmadaki işlevleri, bu elemanların birbirleri ile etkileşimine bağlıdır. Ayna tutucu tavan sarmasının üzerinde bulunan tahkimat elemanıdır. Aynadan gelebilecek olan ani kömür akmalarına karşı kazı alanının desteklenmesi için kullanılır.



Şekil 3.9 Kalkan tipi yürüyen tahkimat ve kısımları

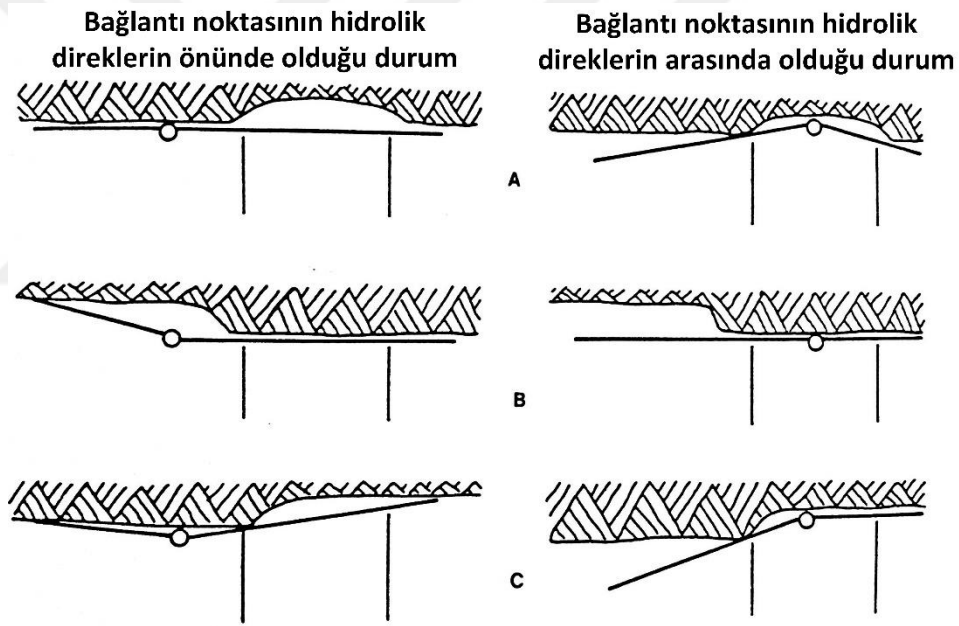
3.3.1 Tavan Sarması

Tavan sarması yürüyen tahkimatın tavan tabakası ile temas halinde olan parçasıdır. Tavandan gelen yükleri karşılayarak diğer taşıyıcı elemanlara aktarır. Tavan sarması, kaynakla birleştirilmiş çelik profil levhalardan oluşmaktadır. Tavan sarmasının uzunluğu tahkimat tasarımında önemli bir noktadır. İyi tasarlanmış bir tavan sarması uzunluğu sayesinde tahkimat üzerinde en uygun yük dağılımı elde edilebilmektedir.

Tavan sarmasının en uç kısmının yüzeyi, tahkimatın iletilemesi sırasında direnci azaltmak için öne doğru bükülmüştür. Tavan sarması tek bir parçadan oluştuğu için tavan ile direkt olarak temas eder. Tavanın etkili bir şekilde kontrol ve tahkim edilmesi için iki durum oluşmalıdır.

- 1- Tavandan gelen yükün iletilmesi/taşınması ve yüke direnilmesi için tavan sarması güçlü ve sert olmalıdır.
- 2- Tavan dalgalı yapıda olduğu için tavan sarması mümkün olduğunca tavan ile temas etmelidir. Bu nedenle tavan sarması esnek yapıda olmalıdır.

Tavan sarmasının yük altındaki şekilleri Şekil 3.10'de verilmiştir.

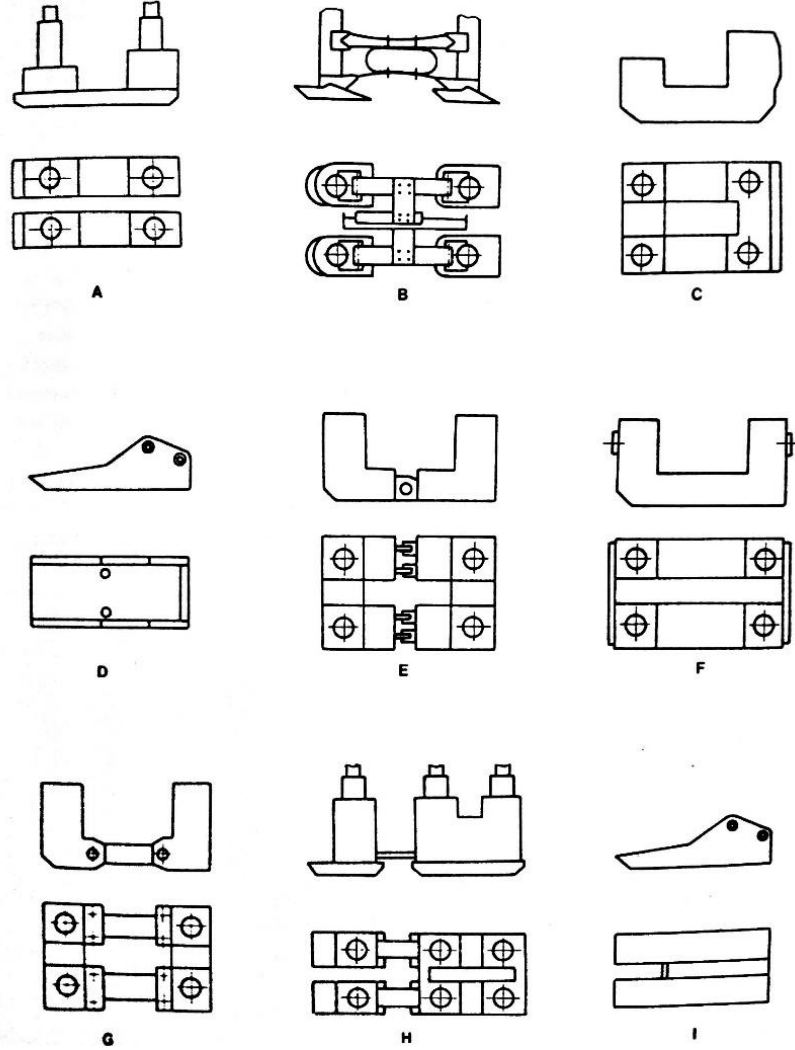


Şekil 3.10 Tavan sarmasının bağlantı noktası yerine göre tavan yüklemeleri altında aldığı şekiller (Peng ve Chiang, 1984)

3.3.2 Taban Şasisi

Taban şasisi, tavan basıncını tabana aktaran ve karşılayan birimdir. Taban şasisi yürüyen tahkimatın taban tabakası ile temas halinde olan parçasıdır. Tavandan gelen yükler hidrolik direkler ve lemniskat bağlantıları vasıtasıyla taban şasisine aktarılır. Tavan sarması gibi taban şasisi de, kabaran taban olması durumunda güçlü ve sağlam

olmalıdır. Taban şasisinin tabana batmaması için, taban şasinin ön kısmında küçük basınç/yük dağılımı olacak şekilde dizayn edilmelidir. Aynı zamanda hidrolik direkler, kontrol üniteleri, iletme pistonu ve yardımcı aletler için taban şasisinde yeterince alan bulunmalıdır (Peng ve Chiang, 1984).



Şekil 3.11 Taban şasisi tipleri (Peng ve Chiang, 1984)

Günümüzde kullanılan yürüyen tahkimatlarda taban şasisinin ön kısmı, tahkimatın ilerletilmesi sırasında tabana batmaması için yukarı doğru eğilmiştir (Şekil 3.11 D). Kalkan tipi yürüyen tahkimatlarda taban şasisi tek (Şekil 3.11 D) veya iki ayrı parçadan oluşabilir (Şekil 3.11 I). Ayrık taban şasisileri ayrı ayrı hareket edebilirler veya mafsallar, çelik plakalar ve köprü levhasıyla bağlı olabilirler.

3.3.3 Göçük Sarması, Lemniskat Bağlantılar ve Bağlantı Pimleri

Göçük sarması yürüyen tahkimatın göçük bölgesi ile temas halinde olan parçasıdır. Göçük sarması, ayak içine göçüklerin gelmesini engeller ve göçükten gelen yükü karşılayarak lemniskat bağlantılar ve pimler vasıtasıyla bu yükü taban şasisine aktarır. Hareketli göçük sarmasının temel görevi göçük sarması ile aynıdır. Dikey yönde hareket özelliği sayesinde tam olarak kırılmayan göçük bölgesi kömürünün kırılarak ayak arkasına daha kolay akmasını sağlar. Uzatılabilir göçük sarmasının temel görevi göçük sarması ile aynıdır. Açılıp kapanabilir özelliği sayesinde göçen kömürün ayak içine akmasını sağlar.

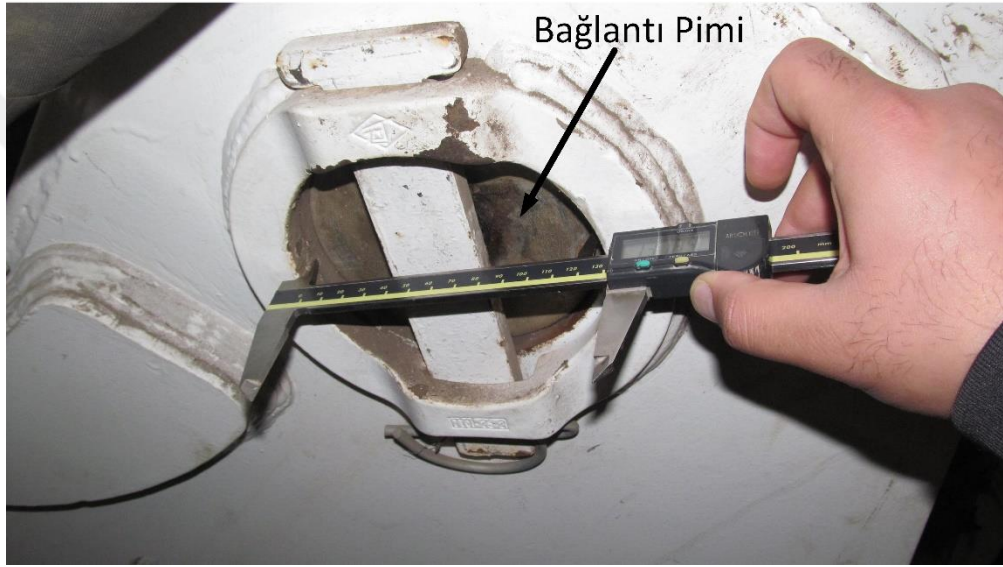
Lemniskat bağlantılar taban şasisi ve göçük sarmasının hareket özelliklerini kaybetmeden birbirlerine bağlanmasını sağlayan ve göçük bölgesinden gelen yükleri taban şasisine aktaran bağlantı elemanlarıdır. Lemniskat bağlantılar sağlam çelik plakalardan oluşur. Tahkimat tipine göre göçük kalkanının her iki yanında simetrik olarak yerleştirilmiş iki veya üç adet lemniskat bağlantı bulunur (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Lemniskat bağlantılar

Lemniskat bağlantılar göçük sarması ile beraber göçükten gelen yanal yüklere ve göçmüş tavan tabakalarından kaynaklanan dış yüklere maruz kalırlar.

Bağlantı pimleri (Şekil 3.13), tavan sarması ile göçük sarmasının, göçük sarması ile lemniskat bağlantıların, lemniskat bağlantılar ile taban şasisinin ve hidrolik direkler ile tavan sarması ve taban şasisinin birbirlerine bağlanmasında kullanılırlar. Taşıyıcı birimler arasındaki iletişimi sağlamasından dolayı bağlantı pimleri aşırı yüke maruz kalırlar.



Şekil 3.13 Bağlantı pimi

Bağlantı pimleri genellikle 7,60-10,16 cm arasında değişen çaplara sahiptir. Günümüzde tahkimat kapasitelerinin artması ile birlikte pimplere etki eden basınç miktarları da artmıştır. Bu yüzden tahkimatlarda kullanılan bağlantı pimlerinin çapları, tahkimatın taşıma kapasitesi ve kullanılacağı formasyon özelliklerine göre artış göstermektedir.

3.3.4 Hidrolik Direkler

Hidrolik üniteler akışkan gücünü mekanik güce dönüştüren ekipmanlardır. Sadece yüksek basınca direnç göstermezler, aynı zamanda eğilmeye karşı da direnç gösterirler. Yürüyen tahkimat ünitesindeki hidrolik üniteler, zincirli oluğun itilmesi ve

yürüyen tahkimat ünitelerinin ilerletilmesinde, ön sarma ve ayna kalkanının çalıştırılmasında, tavan sarması pozisyonlarının ayarlanmasında ve direk kurtarma aletleri, yan kalkanlar ile bütün hidrolik direkler gibi yardımcı ekipmanların çalıştırılmasında kullanılırlar. Hidrolik direk ve bilezikler paslanma ve aşınmaya karşı ince bir krom veya çinko tabakası ile kaplanır.

Hidrolik direklerin yüksek basınca karşı dayanıklılığını koruması/sürdürmesi için iyi bir sızdırmazlığa sahip olmaları gerekir. Tek ve çift etkili hidrolik silindirler ve tek ve çift etkili iç içe geçen/uzatılabilir teleskopik hidrolik silindirler vardır. Tek etkili hidrolik direklerin sadece tek yönde hareket kabiliyeti varken, çift etkili hidrolik direklerin iki yönde hareket yetenekleri vardır, dolayısıyla itme ve çekme işlemi yapabilirler. Taban şasisine bağlı olan ve konveyör oluşunu iterek arına yaklaştıran, sonrasında tahkimatı konveyöre doğru ileriye çeken hidrolik silindir, çift etkili hidrolik silindiridir.



Şekil 3.14 Hidrolik direkler

Tek etkili hidrolik direklerde piston hidrolik basınç sayesinde yükselir. Ancak alçalması kendi kütlesi ve tavan sarmasının ağırlığı ile gerçekleşir. Bu tip hidrolik direklerin, kendi ağırlığının etkisiyle geriye doğru çekilmeleri çok yavaş olduğu için

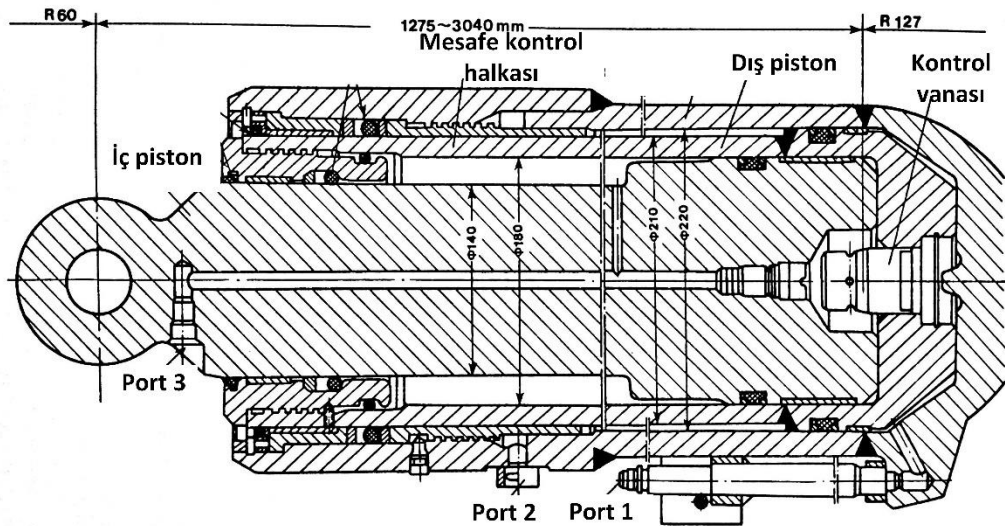
kullanımı azalmıştır. Öte yandan çift etkili hidrolik silindirlerde, piston hidrolik basınçla alçalır ve yükselir, bu şekilde daha güçlü ve hızlıdır. Ağırlığı azaltmak için her bir piston içi boş borulardan yapılmıştır.

Tek etkili hidrolik silindirlerde uzama miktarı sınırlıdır. Bu özellik, bu tür hidrolik silindirleri kömür damarının kalınlığının çok değişkenlik gösterdiği ortamlar için uygunsuz hale getirir (Peng ve Chiang, 1984).

Çift etkili hidrolik silindirlerde iki adet piston vardır ve iç içe geçmiştir. Hidrolik silindirlerin uzaması ve geri çekilmesi sırasında dış piston her zaman önce hareket eder, daha sonra da piston sonundaki iç piston tarafından takip edilir.

3.3.4.1 Teleskopik Hidrolik Silindirlerin Alçalma ve Yükselme Prensipleri

Hidrolik direkler yükselmeye başladığında, basınçlı hidrolik sıvı port 1 vasıtasıyla dış pistonun ön yuvasına dolmaya başlar, bu sayede dış piston yükselir. Dış piston yükselerek mesafe kontrol halkasına değdiğinde, basınçlı hidrolik sıvı kontrol vanasına açılması için kuvvet uygular ve iç pistonun ön yuvasına basınçlı hidrolik sıvı dolmaya başlar, bu sayede iç piston yükselmeye başlar (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Teleskopik hidrolik direğin yapısı (Peng ve Chiang, 1984)

Teleskopik hidrolik silindirler alçılırken basınçlı hidrolik sıvı port 3 ve port 2 vasıtasıyla iç ve dış pistonların arka yuvasına dolar. İlk olarak dış piston alçılır. Dış piston silindirin altına ulaştığında kontrol vanası açılır ve iç piston alçalmaya başlar.

3.3.4.2 Hidrolik Sıvılar

Hidrolik sıvılar yürüyen tahkimatların çalıştırılmasında kullanılan sıvıdır. Yürüyen tahkimatlarda genel olarak dört tür basınçlı hidrolik sıvısı kullanılmaktadır. Bunlar:

- i. %5 yağ + %95 su karışımı,
- ii. %40 su + %60 glikoz karışımı,
- iii. %50 alkol + %50 su karışımı,
- iv. %100 petrol ürünü yağ.

Su ve yağ emülsiyonları yürüyen tahkimatlarda kullanılan hidrolik sıvının iki türünü oluştururlar. Yağ emülsiyonu %15-40 oranında su damlacıkları içerir ve bunlar yağ içinde homojen bir şekilde dağılır. Su emülsiyonu %2-15 oranında yağ damlacıkları içerir ve bunlar su için homojen bir şekilde dağılır. Su emülsiyonları arasında %5 yağ+%95 su olan emülsiyon türü ucuz olması, yanmaması, köpüklenmeden kolay etkilenmemesi ve düşük viskoziteli olmasından dolayı en çok kullanılan türdür. Fakat kolay sızması ve yağlamasının düşük olması nedeniyle kullanıldığı sistemlerde özel pompa ve vanalar kullanılmalıdır.

Su emülsiyonun kalitesi su ve yağın kalitesine bağlıdır. Su temiz, renksiz, kokusuz olmalı ve yabancı madde içermemelidir. Yabancı madde aşınmayı hızlandırır ve contalara zarar verir. Korozyonu azaltmak ve emülsiyonun etkisini arttırmak için PH 6-9 arasında tutulmalıdır. Sert su yumuşatılmalıdır, çünkü sert suda emülsiyon kalitesini bozabilecek kalsiyum ve magnezyum iyonları bulunur (Peng ve Chiang, 1984).

3.4 Yürüyen Tahkimatlarda Tavan Yükünün Hesaplanması

Boyutlandırma aşamasında, taşıma kapasitesinin çalışma şartlarına uygun olarak saptanması, özellikle etkin arazi kontrolü açısından büyük önem arz etmektedir.

Yürüyen tahkimat üzerine gelen tavan yükü, tavan sarması ve göçük sarması üzerine gelen yük olmak üzere iki kısımdan oluşur. Tavan sarması üzerine gelen yükün iki kaynağı vardır: tavan tabakasının ağırlığı ve tavan tabakasının yatay hareketleri sırasında oluşan arına paralel ve dikey olarak gelişen yanal kuvvetlerdir. Göçük sarması üzerine gelen yük ise, sarma üzerine yığılan göçmüş tavan tabakası parçalarının ağırlığıdır. Bir çok araştırmacı özellikle tavan sarması üzerine gelen tavan tabakasının ağırlığından dolayı oluşan yükün hesaplanması üzerine yoğunlaşmıştır. İngiltere’de bu konu ile ilgili yayımlanmış çalışmalara göre, yürüyen tahkimatın minimum taşıma kapasitesi damar kalınlığına bağlı olarak aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

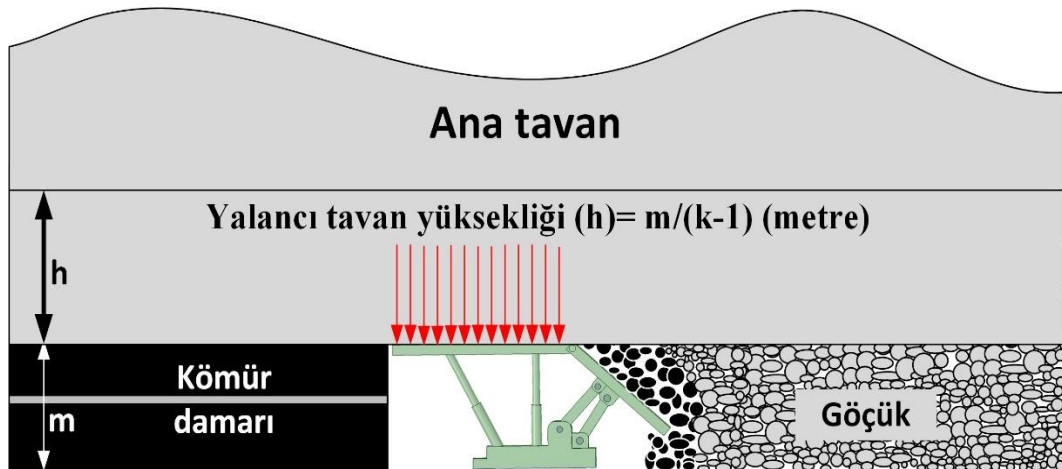
$$P_{\min} = \gamma \cdot \frac{m}{K-1} \quad (3.1)$$

Burada

γ = Tavan taşının ortalama yoğunluğu (t/m^3)

K = Tavan taşının hacimce kabarma katsayısı

m = Çalışılan damarın kalınlığı (m) olarak verilmektedir.



Şekil 3.16 Yalancı tavan yüksekliği

Wilson (1975), yürüyen tahkimat üzerindeki serbest blok olarak yer alan yalancı tavanın hemen tahkim edilmesi gerektiğini kabul etmektedir (Şekil 3.17). Wilson göçük malzemesinin bakir kayacın 1,5 katı hacim kapladığını kabul ederek tahkim edilmesi gereken yalancı tavan yüksekliğini kazı yüksekliğinin 2 katı olarak hesaplamaktadır. Wilson tarafından eğimli ayaklar için önerilen yük hesabı ortalama yük yoğunluğu (MLD-Mean Load Density) cinsinden aşağıdaki gibidir.

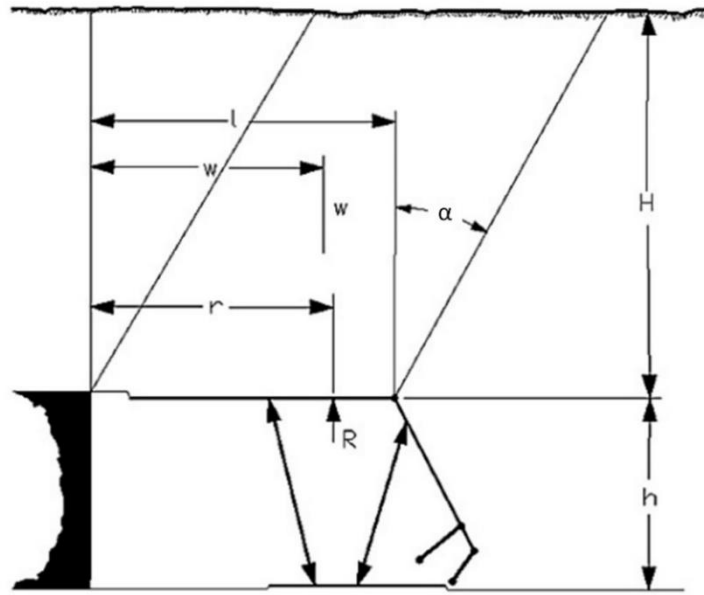
$$MLD = W \left(\frac{\sin \alpha}{\tan \emptyset} + \cos \alpha \right) \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (3.2)$$

Burada:

W = Yalancı tavanın statik ağırlığı (kN/m²)

α = Göçme açısı (derece)

$\emptyset$ = Tabakalar arasındaki sürtünme açısıdır.



Şekil 3.17 Yürüyen tahkimat üzerindeki tavan bloğu (Wilson, 1975)

Jacobi (1981) tarafından gerekli minimum yük yoğunluğu, 18° eğimli bir damar için kazı yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak kabul edilmektedir. Gerekli yük yoğunluğu (A) aşağıdaki formül ile verilmektedir.

$$A=1,6 \times 2 \times 25 \times H \quad (3.3)$$

H = Damar kalınlığı (m),

25 = Tavan taşı yoğunluğu (kN/m³),

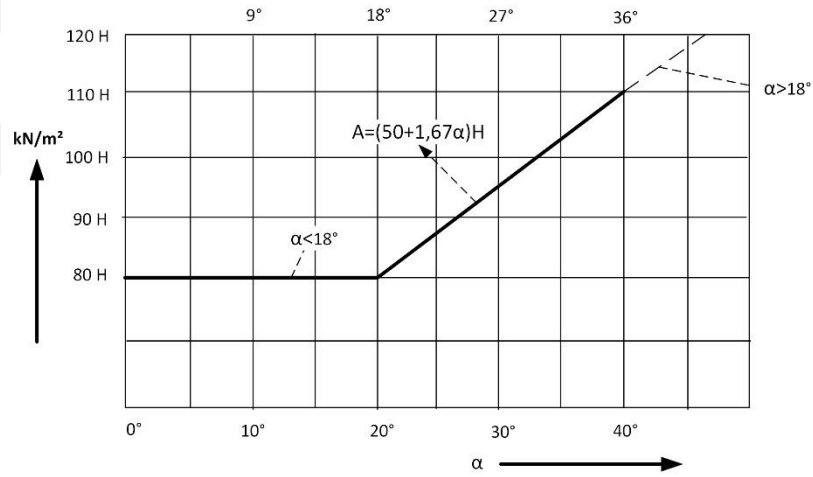
1,6 = Emniyet katsayısı,

2 = Kaya yükü yükseklik faktörü (kömür damarı kalınlığının 2 katı)

Eğimli damarlar için formül:

$$A= (50 + 1,67. \alpha)H \quad (3.4)$$

Burada α : eğim (derece)'dir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Eğimli damarlarda tavan yükü (Jacobi, 1981)

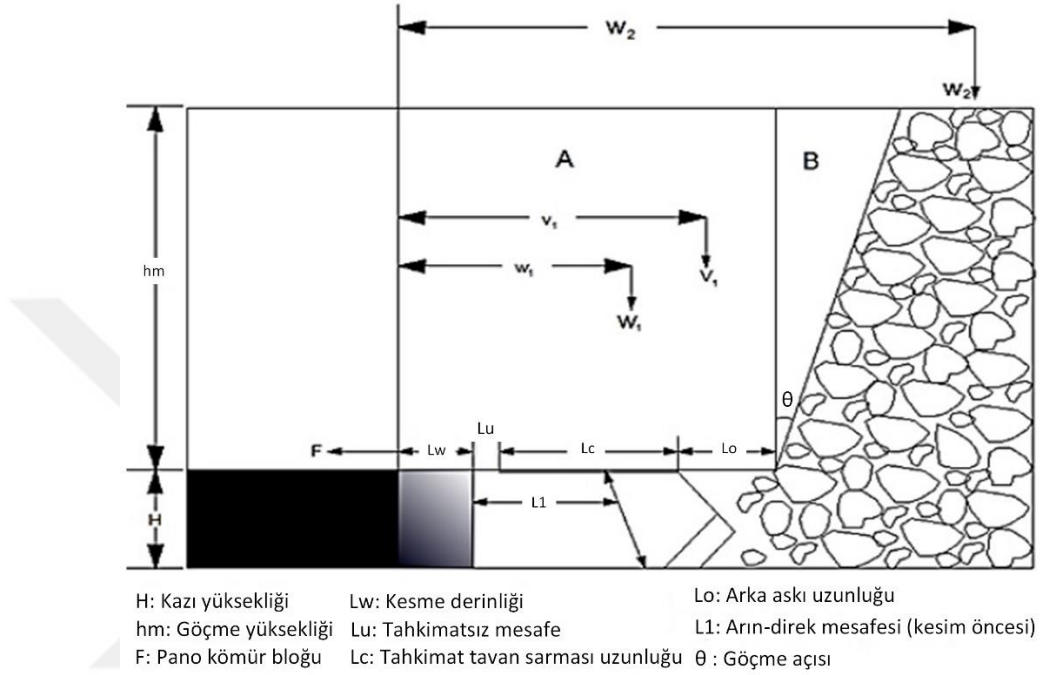
Ayrılmış tavan bloğu metodu (detached roof block method) yürüyen tahkimat üreticileri tarafından en çok kullanılan tavan yükü hesaplama yöntemidir (Şekil 3.19). Serbest tavan bloğunun ağırlığı, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$W = \frac{HB\gamma L}{Ko-1} \quad (3.5)$$

Burada:

H = Kazı yüksekliği (m),

- B = Tahkimatlar arası mesafe (merkezden merkeze) (m),
 γ = Yalancı tavanın yoğunluğu (t/m^3),
L = Kesimden önce veya kesim sonrası bloğun uzunluğu (m),
Ko = Yalancı tavanın orijinal kabarma faktörüdür.



Şekil 3.19 Genelleştirilmiş tavan yükü hesabı (Peng, 2006)

3.5 Yürüyen Tahkimatlarda Sıkılama ve Esneme Yükü Hesabı

3.5.1 Sıkılama Yükü

Yürüyen tahkimat tavana sıkıldığında kontrol vanası ilk önce sıkılama pozisyonuna geçer ve direk pistonlarının ön yuvasına basınçlı sıvının girmesine izin verir. Basınçlı sıvı akmaya devam ettikçe direkler tavana değene kadar yükselmeye devam eder. Bu işlemden sonra direk yuvalarındaki basınçlı sıvı hızla artarak hidrolik pompaların çalışma basıncına ulaşır. Bu esnada kontrol vanası kapanır ve sıvı direk içerisinde kilitlenir. Böylece basınçlı sıvı, pompaların çalışma basıncına ulaşmıştır. Bu işlem tahkimatın sıkılama basıncı olarak isimlendirilir.

Sıkılama basıncı altında her bir direğin taşıdığı yük aşağıdaki gibidir.

$$F = \sigma_s A \text{ (ton)} \quad (3.6)$$

A = Hidrolik direk iç alanı (cm²)

σ_s = Sıkılama veya pompa basıncı (kg/cm²)

Eğer yürüyen tahkimatta n adet direk varsa, tahkimatın sıkılama yükü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_s = n\eta F \quad (3.7)$$

η = Tahkimat verimi (%)

Domuz damı ve çerçeve tip yürüyen tahkimatlarda direkler tavan sarmasına dik olarak yerleştirildikleri için $\eta = \% 100$ olarak alınır. Kalkan tipi yürüyen tahkimatlarda ise η , direklerin eğimi ve bağlantı bölgelerine göre değişir.

Sıkılama işlemi sonunda tavan genellikle alçalır ve direk pistonlarına baskı uygular. Bu durumda direk pistonlarının ön bölgesinde bulunan sıvının basıncı yükselmeye başlar. Artan basınç altında piston uzunluklarında bir miktar azalma meydana gelir. Bu durum aşağıda verilen eşitlik ile tanımlanır (Peng ve Chiang, 1984).

$$\Delta I = \Delta_p \left[\beta h_f + \frac{2}{E} \left(\frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu \right) \right] \text{ (cm)} \quad (3.8)$$

Burada;

Δ_p = Basınç artış miktarı (MPa)

β = Sıvının sıkıştırılabilirliği ($4,75 \times 10^{-5}$)

h_f = Direk pistonlarının ön yuvasındaki sıvının orijinal yüksekliği (cm)

E = Çeliğin elastisite modülü (MPa)

μ = Çeliğin Poisson oranı

D = Hidrolik direğin dış çapı (cm)

d = Hidrolik direğin iç çapı (cm)

3.5.2 Esneme Yüğü

Tavan alçalması gittikçe arttığında, hidrolik silindirleri ve pistonları hasardan korumak için maksimum kabul edilebilir basınç esneme basıncı olarak tanımlanır ve bu basınç her bir hidrolik direkte önceden ayarlanmıştır.

Esneme basıncı, genellikle hidrolik direklerin içine ve dış tarafına yerleştirilen esneme vanaları tarafından ayarlanır. Piston yuvalarındaki sıvı basıncı, esneme basıncına ulaştığında esneme vanası açılır ve bir miktar sıvı bırakılır. Bu işlem sıvı basıncının esneme basıncının altına hızlıca inmesini sağlar. Bu işlem tavanın alçalması ile tekrar devam eder. Esneme basıncı genellikle pistonlar ve silindirler için kullanılan çeliğin esneme dayanımının yarısı olarak ayarlanır.

Esneme basıncı altında her bir direğin taşıdığı yük aşağıdaki gibidir.

$$F = \sigma_s A \text{ (ton)} \quad (3.9)$$

A = Hidrolik direk iç alanı (cm^2)

σ_s = Esneme basıncı (kg/cm^2)

Eğer yürüyen tahkimatta n adet direk varsa tahkimatın esneme yükü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_y = n\eta F \quad (3.10)$$

η = Tahkimat verimi (%)

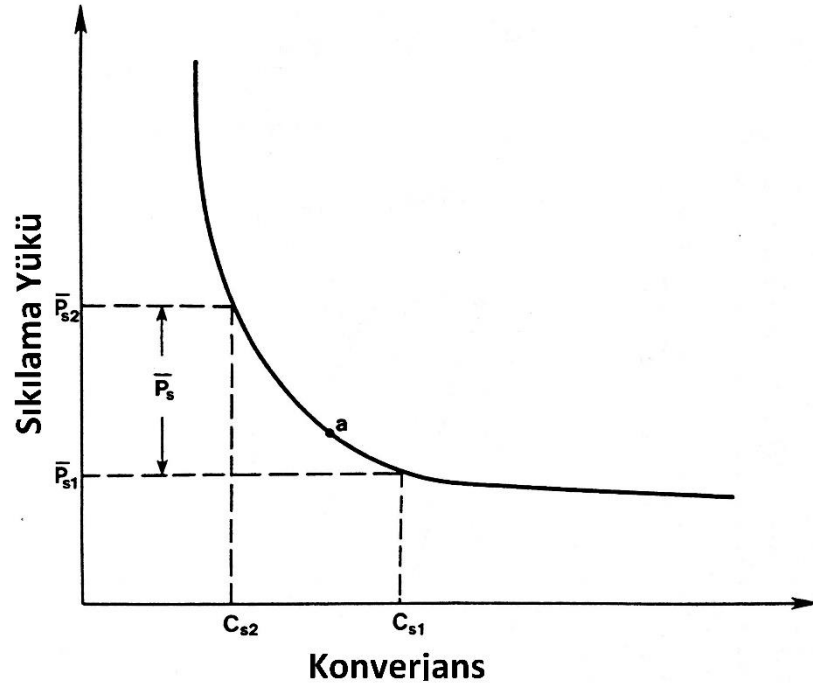
Yürüyen tahkimatların kapasiteleri geleneksel olarak tahkimatların esneme yükleri tarafından belirlenir. Ayrıca tavan sarması ve taban şasisi arasındaki temas alanı, tavan sarması uzunluğu ve tahkimat aralıklarındaki değişimlere bağlı olarak değiştiği için, esneme yükü gerçek yük durumunu tamamen yansıtmaz. Bu nedenle genel olarak maksimum yükün tanımlanmasında yük yoğunluğu (tahkimatın birim alanına gelen

yük) kavramı kullanılır. Yük yoğunluğu, sıkılama ve esneme yük yoğunluğu olmak üzere ikiye ayrılır. Sıkılama yük yoğunluğu, tahkimatın ilerletilmeden önceki desteklediği tavana sıkılanması sırasındaki birim alana düşen destek yüküdür. Esneme yük yoğunluğu ise aynı şekilde tahkimatın esneme anında tahkim edilen bölgede birim alana düşen destek yüküdür.

Optimum sıkılama basıncı ile ilgili olarak henüz bir fikir birliği yoktur. 20 yıl boyunca bu konuda bir çok araştırma yapılmıştır. Fakat sonuçların hiçbiri tahkimat tasarımında kullanılır gibi görünmemektedir.

İngilizler düşük sıkılama basıncı (< 2000 psi) önerirken, Almanlar ise yüksek sıkılama basıncının kullanılmasını savunmaktadır. Amerika'da ise yüksek sıkılama basıncına sahip yürüyen tahkimatlar tercih edilmektedir.

Yüksek sıkılama basıncına sahip tahkimatların kullanıldığı ocaklarda yapılan ölçümlerde meydana gelen tavan alçalmalarının daha düşük olduğu görülmüştür (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 Sıkılama yükü ve tavan alçalması arasındaki ilişki (Peng ve Chiang, 1984)

Şekil 3.20’de verilen grafiğe göre minimum sıkılama yükü Ps_1 sıkılama yük yoğunluğu olarak, Ps_2 ise esneme yük yoğunluğu olarak değerlendirilir. Ps_1 ve Ps_2 arasındaki değişim sıkılama ve esneme basınçları arasındaki değişim ile doğru orantılıdır.

Yürüyen tahkimatlarda sıkılama basıncının esneme basıncına oranı 0,16-0,93 arasında seçilmektedir. Bu oran kalkan ve domuz damı tipi yürüyen tahkimatlarda 0,60-0,85 arasındadır. İngilizler bu oranı 0,14-0,67, Almanlar 0,80-0,85, Amerikalılar 0,60-0,85 arasında kabul etmektedirler.

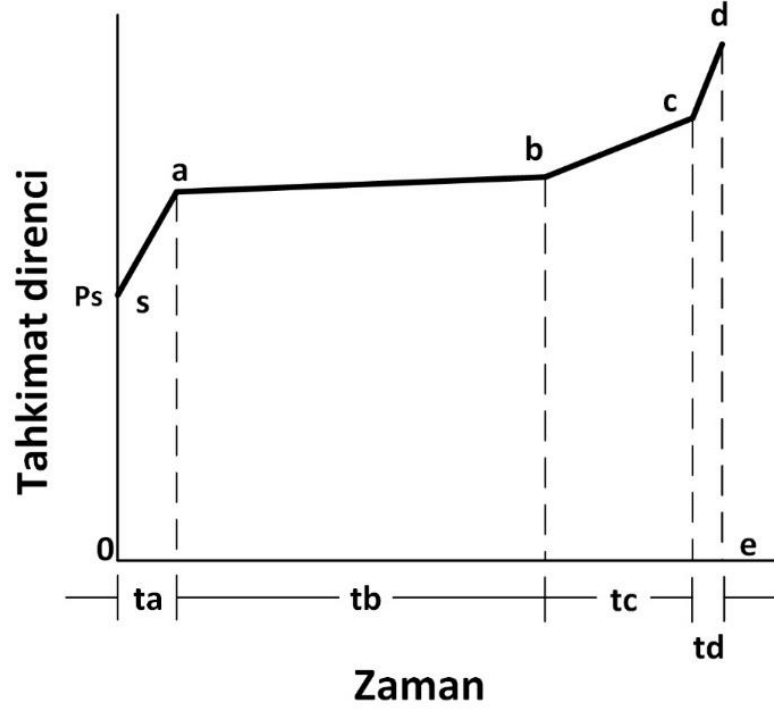
Yapılan teorik ve pratik araştırmalar sonucunda sıkılama basıncındaki artışın yürüyen tahkimatlar için avantajlı bir durum olduğu görülmüştür. Bu avantajları, tavandan tabana olan alçalma miktarındaki ve tavan göçüklerinde meydana gelen azalmadır.

3.6 Yürüyen Tahkimatlarda Yük Periyodları

Yürüyen tahkimat tavana sıkılandıktan sonra yükü ve dayanımı sıkılama yükü düzeyinde sabit kalmaz, tavan-tahkimat-taban arasındaki etkileşimin sonucu olarak periyodik şekilde değişiklik gösterir. Bu safha dört aşamada değerlendirilir.

İlk aşamada, tahkimat ilerletildiğinde ve oturduğunda ilk sıkılama yükü Ps kısa bir zaman içinde (t_s) (genellikle 10-20 saniye) hızlıca artar. Bu işlem sıkılama periyodu olarak isimlendirilir (0-s). Tahkimat tavan ile temasa geçtiğinde tahkimatta meydana gelen basınç (t_a) zamanı içinde hızlıca artmaya başlar. Bu işlem hızlı artan dayanım periyodu olarak isimlendirilir (s-a). Bu işlemlerden sonra göreceli sabit yük periyodu gelir (a-b). Burada tahkimat basıncı stabil olduğu için periyod da stabildir. Bu periyod genellikle madencilik çalışmasındaki (ayaktaki) en uzun periyoddur. Tamburlu kesici yükleyici tahkimata yaklaştıkça tahkimatta meydana gelen basınç artar, bu işlem ise kesme etkisi periyodu olarak isimlendirilir (b-c). Komşu tahkimat serbest kalıp ilerletildiğinde tavan yükü ani olarak yanda bulunan tahkimata aktarılır ve tahkimatta meydana gelen basınç hızlı bir şekilde yükselir (genellikle 1-3 dakika), bu işlem de

hızlı artan dayanım periyodu olarak isimlendirilir (c-d). Son olarak yürüyen tahkimat ilerletilmek için serbest bırakıldığında basınç hızlı bir şekilde 0 seviyesine iner (d-e).



Şekil 3.21 Yürüyen tahkimatlarda zaman ve tahkimat direnci ilişkisi (Peng ve Chiang, 1984)

BÖLÜM DÖRT

İŞLETME BİLGİLERİ

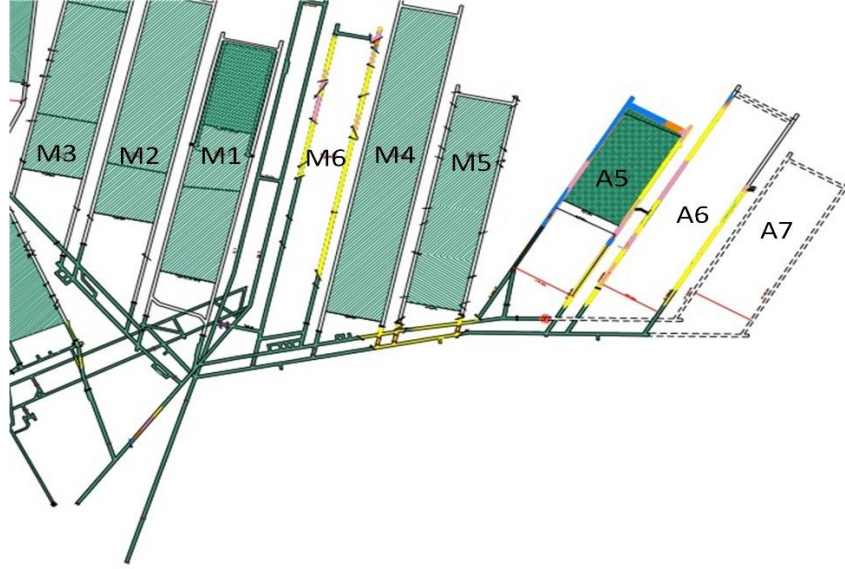
4.1 Giriş

Garp Linyitleri İşletmesi, Tunçbilek, Değirmisaz ve Soma linyit ocaklarının birleştirilmesiyle 01.01.1940 tarihinde, Etibank'a bağlı olarak kurulmuştur ve 15.09.1957 tarihinden itibaren de 6974 sayılı kanunla kurulan Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ) içinde yer almıştır. Başlangıçta Balıkesir'de bulunan müessese merkezi 07.07.1941 tarihinde Tavşanlı'ya nakledilmiştir.

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'na bağlı Garp Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü, Kütahya ili Tavşanlı ilçesinde yer almaktadır ve kömür üretim faaliyetleri Tunçbilek linyit havzasında sürdürülmektedir.

1985 yılında üretime geçen Ömerler yeraltı ocağında arkadan göçertmeli dönümlü uzun ayak kazı metodu ve tahkimat olarak klâsik tahkimat sistemi (hidrolik direk + mafsallı sarma) kullanılırken, 1997 yılından itibaren tam mekanize uzun ayak üretim yöntemine geçilmiştir. Mekanizasyon projesi ile yeraltı işletmesinde klasik sistemle devam edilirken, diğer yandan kademeli olarak tam mekanize sisteme geçilmesi planlanmıştır.

Mayıs-Eylül 1997 aylarında teçhizatların montajlarının bitirilmesinden sonra M1 panosunda üretim aşamasına geçilmiş ve bu panoda üretim Ekim 1998 ayında tamamlanmıştır. M1, M2, M3, M4, M5, M7 ve M8 pano üretimleri tamamlanarak 2014 yılında bu teçhizatlarla yapılan üretim sonlandırılmıştır (Özfırat, 2007; Öğretmen, 2015).



Şekil 4.1 Ömerler yeraltı ocağı mekanize ayak planı (ölçeksiz)

4.2 İşletmenin Konumu

Tunçbilek İşletmesi Kütahya ili sınırları içerisinde olup, 12 km'lik bir yol ile Tavşanlı'ya bağlanmaktadır. Yeraltı kömür işletmesi Ömerler'de olup, Tunçbilekten Ömerler'deki madene stabilize yol mevcuttur. İşletme Tavşanlı– Domaniç–İnegöl karayolu üzerinde kuruludur. Ayrıca Tavşanlı'dan geçen Kütahya-Balıkesir demiryoluna 11 km'lik bir hat ile bağlıdır. Asfalt yollarla çevredeki il ve ilçelerle irtibatlıdır. Havzanın rakımı 650 ile 1100 m arasında değişir. İklim genellikle yazın sıcak, kışın genellikle bol karlı ve soğuk olan karasal iklimdir. İlkbahar ve sonbahar yağışlı geçer. Yıllık sıcaklık değerleri -14°C ile 30°C arasında değişmektedir (Çelik, 2005).



Şekil 4.2 Ömerler yeraltı kömür ocağı yer bulduru haritası

4.3 Tunçbilek Sahasının Jeolojisi

Tunçbilek bölgesinde, merler köyü civarındaki yaklaşık 25 km² lik bir sahanın tektoniğini tespit amacıyla 1975 yılında TKİ Genel Müdürlüğü elemanlarınca jeofizik etüd yapılmıştır. Bu etüdün amacı, hem bu sahanın tektoniğini kesin şekilde tespit etmek, hem de sahanın yapısal durumunu öğrenmeye yönelik sondajlardan tasarruf sağlamaktır.

1940 yılında üretime geçen Tunçbilek bölgesinde sondaj faaliyetleri 1942 yılında bağlamıştır. Bu tarihte MTA tarafından bağlanılan sondajlı etüdler 1947 yılına kadar devam etmiş ve 1942 – 1947 yılları arasında bölgede MTA tarafından, toplam uzunluğu 4195 m olan 62 adet sondaj yapılmıştır. 1947 yılından itibaren bölgede kendi imknlarıyla sondaj yapmaya bağlanmıştır. İlk yıllarda kısıtlı imknlarla yavaş yürütülen sondajlı etüdler, 1950 yılından itibaren sondaj ekipmanlarının geliştirilmesiyle hızlandırılmıştır. Bundan sonra da gerekli hallerde ve bölge imknlarının yetersiz kaldığı sahalardaki sondajlar, MTA Enstitüsü ve EİE İdaresi gibi kuruluşlara yaptırılmıştır.

1976 yılından itibaren bölge kömür üretimi 5.450.000 ton/yıl'a çıkarıldığından, daha geniş sahaların projesinin yapılması gerekmiş ve özellikle bu projenin uygulanacağı sahalarda ve merler köyü kuzeyindeki derin sahalarda sondajlı etüdler GLİ adına MTA tarafından yapılmıştır. Jeoteknik parametrelerin belirlenmesine yönelik olarak yapılan JT1, JT2, JT3 sondajlarının toplam derinliği 1726,25 m'dir. Bu sondajlarla kesilen birimler, tüfit, kıltaşı, kireçtaşı, kumtaşı, konglomera, serpantin ve peridotit olarak gruplandırılmış ve her grup kayanın fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar testleri yapılmıştır. Daha sonra 01.11.1987 tarihinde JT4 sondajı yaptırılmıştır (Garp Linyitleri İşletmesi [GLİ], 2010).

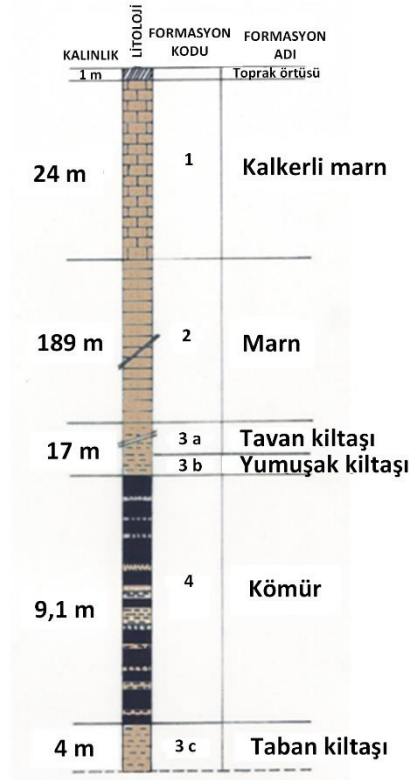
Yapılan JT4 sondajı sonucu sahada geçilen formasyonlar, kıltaşı, dolomit ve manyezit, kireçtaşı, kalkerli marn ve marndır. Sahada bulunan bu birimler kıltaşı, kalkerli marn ve marn olmak üzere 3 ana gruba (şekil 4.3) toplanmıştır (ekilmez ve diğer. 1987). JT4 sondajından elde edilen karotların RQD değeri % 42,2 dir. RQD

değeri kullanılarak yapılan sınıflamada sahadaki marnlar zayıf kayaç (weak rock) sınıfına girmektedir. JT4 sondajından alınan örneklerle değişik laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu test sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 JT4 sondajı jeoteknik etüd sonuçları (Destanoğlu ve diğer., 2000)

Formasyon Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Porozite (%)	Su İçeriği (%)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Çekme Dayanımı	Üç Eksenli Basınç Dayanımı	
				MPa	MPa	c (MPa)	φ (°)
Kiltaş	2,093	25,30	-	10,20	1,00	2,50	50
Kalkerli Marn	2,278	13,80	-	29,20	3,90	12,50	47
Kireçtaş	2,501	4,30	-	64,26	-	-	-
Marn	2,181	-	14,2	16,10	1,90	5,00	31

c= Kohezyon, φ= İçsel sürtünme açısı



Şekil 4.3 Kömür damarını çevreleyen tabakalar (Şimşir ve Özfirat, 2008)

BÖLÜM BEŞ

KAYA KÜTLE SINIFLAMA SİSTEMLERİ VE TAHKİMAT SEÇİMİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

5.1 Giriş

Kaya kütle sınıflama sistemlerinde kullanılan parametrelerin aynı zamanda yürüyen tahkimat seçimine etki eden jeolojik parametreler olması nedeniyle, tez kapsamında yapılan çalışmalarda kaya kütle sınıflama sistemleri de araştırılmıştır. Bu aşamada özellikle RMR (Kaya Kütle Puanı) ve Q sınıflama sistemi dışında, yurt dışında yaygın olarak kullanılan CMRR (Coal Mine Roof Rating) sınıflama sistemi ele alınmıştır. CMRR sınıflama sistemi, içerisinde RMR ve Q sınıflama sistemine göre tahkimat seçimine etki eden daha fazla parametre barındırmasından dolayı ön plana çıkmaktadır.

Yürüyen tahkimatların dizaynı ve seçimi aşamasında jeolojik parametreleri de yapılarında bulundurmalarından dolayı kaya kütle sınıflama sistemleri kullanılabilir. Ancak yürüyen tahkimatların pahalı ve karmaşık sistemler olduğu da göz önünde bulundurulduğunda, yeraltı koşullarının daha detaylı ve iyi bir şekilde değerlendirilmesi için tahkimat seçimi aşamasında sınıflama sistemleriyle beraber nümerik modelleme yapılarak seçim yapılmalıdır. Nümerik modellemenin yanı sıra bulanık hiyerarşi yöntemi ile makine ekipman seçimi son yıllarda gittikçe artmaktadır. Bu bölümde tahkimat seçimine etki eden faktörlerden ve yürüyen tahkimatlarda olduğu gibi seçim aşamasında birçok faktör barındıran karmaşık problemler için geliştirilen bulanık hiyerarşi yönteminden bahsedilmiştir. Tez kapsamında yapılan çalışmalarda bulanık hiyerarşi yöntemi kullanılarak tahkimat seçimi konusu ele alınmış ve bu konuda bir yayın üretilmiştir (Yetkin ve diğer., 2016). Aşağıda yer alan bölümlerde çalışma ile ilgili örnekler sunulmuştur.

5.2 Madencilikte Kaya Kütle Sınıflamalarının Kullanımı

Kaya kütle sınıflamaları, eğer belirli koşullar yerine getirilirse, gözlem, ölçüm, tecrübe ve mühendislik yargıları sonucu elde edilen bulguların birleştirilmesiyle nicel

olarak kaya kütlesi özelliklerini ve tahkimat gereksinimlerini belirlemede önemli sonuçlar vermektedir.

Kaya kütleleri şu amaçlar için sınıflandırılırlar; kaya kütlesi özelliklerini karakterize edecek çok önemli parametreleri tanımlamak, kaya kütlesini kaya birimlerine bölmek, her bir kaya sınıfının özelliklerinin anlaşılması için bir temel hazırlamak, mühendislik tasarımları için sayısal veriler sağlamak, maden galerileri ve tünellere ait tahkimat gereksinimlerinin belirlenmesinde kılavuzluk yapmak, bir bölgedeki kaya kütlesini karakterize edecek parametrelerin belirlenmesi ile elde edilen tecrübelerin diğer kaya birimlerinde de uygulanabilmesini sağlamak (Bieniawski, 1993).

Kaya sınıflama sistemleri esas olarak mühendislik uygulamalarında kullanılan görgül bir tasarım yöntemidir. Bugün ortaya atılmış değişik sınıflama sistemleri mevcuttur ve bunlar dünyada birçok mühendislik projelerinin tasarlanmasında başarı ile kullanılmaktadır. Hatta bazı projelerde, karmaşık yeraltı koşullarında, yapıların ön tasarımı için pratik olarak kullanılabilecek tek yöntem durumuna gelmişlerdir.

Kaya kütle sınıflama sistemleri, görgül tasarım yaklaşımlarının temel harcıdır ve mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin en eskisi ve tanınmış, günümüzden 60 sene önce ortaya atılan Terzaghi (1946) sınıflama sistemidir. Terzaghi sınıflama sisteminden sonra bir çok araştırmacı bu sistemi geliştirerek yeni sınıflama sistemleri ortaya koymuştur. Yeni sınıflama sistemleri, yalnız tünelcilik uygulamalarında kalmamış, büyük yeraltı boşlukları, yeraltı ocakları, şevler ve temellerin tasarımı gibi değişik mühendislik uygulamalarında kullanılmış ve kullanılmaktadır (Karpuz ve Hindistan, 2008).

5.3 Kaya Kütle Sınıflama Sistemlerinin Yararları ve Özellikleri

Sınıflama sistemleri, gözlem, ölçüm, tecrübe ve mühendislik kararları sonucu elde edilen bulguların birleştirilmesiyle sayısal olarak kaya kütle özelliklerinin ve tahkimat gereksinimlerini ön tasarım safhasında belirlemek için kullanılır.

Sistemlerin yararları;

- Kaya kütlelerini aynı davranış gösterecek gruplara ayırmak
- Her bir grubun özelliklerini anlayabilmek için bir temel oluşturmak
- Tasarım için sayısal veriler sağlamak
- Mühendisler için ortak bir temel oluşturmak

Sistemlerin sahip olması gereken özellikleri;

- Basit olmalı, kolayca hatırlanabilmeli ve anlaşılabilirliktir
- En önemli kaya özelliklerini içermelidir
- Arazide çabuk ve ucuz yapılabilecek deneyler sonucu elde edilebilen ve ölçülebilir verilere dayanmalıdır (Karpuz ve Hindistan, 2008)

Aşağıdaki bölümlerde, günümüzde madencilik uygulamalarında daha sık kullanılan RMR, Q ve CMRR sistemlerinden ve bu sistemlerin nasıl uygulandıklarından bahsedilmiştir. Yürüyen tahkimat seçimine etki eden jeolojik parametreler aşamasında bu sınıflama sistemlerinin kullanılabilirliği araştırılmıştır.

5.4 “RMR” Jeomekanik Sınıflama Sistemi

RMR (Rock Mass Rating) kaya kütlesi sınıflama sistemi, başta tünel, galeri, yeraltı odaları gibi yeraltı açıklıklarının kazısı olmak üzere, çok sayıda alanda uygulanmaktadır. Bu sınıflama sisteminden elde edilen diğer önemli bir veri de, bir kılavuzdan yararlanılarak kaya kütlesi kalitesi ve kazı yöntemine göre ön tasarım amacıyla destek türlerinin seçimidir. Sistem, bu kılavuzla birlikte her kaya sınıfı için, kaya yükü, desteksiz durma süresi, desteksiz açıklık boyutu vb. gibi parametrelerin tahminine olanak sağlamaktadır.

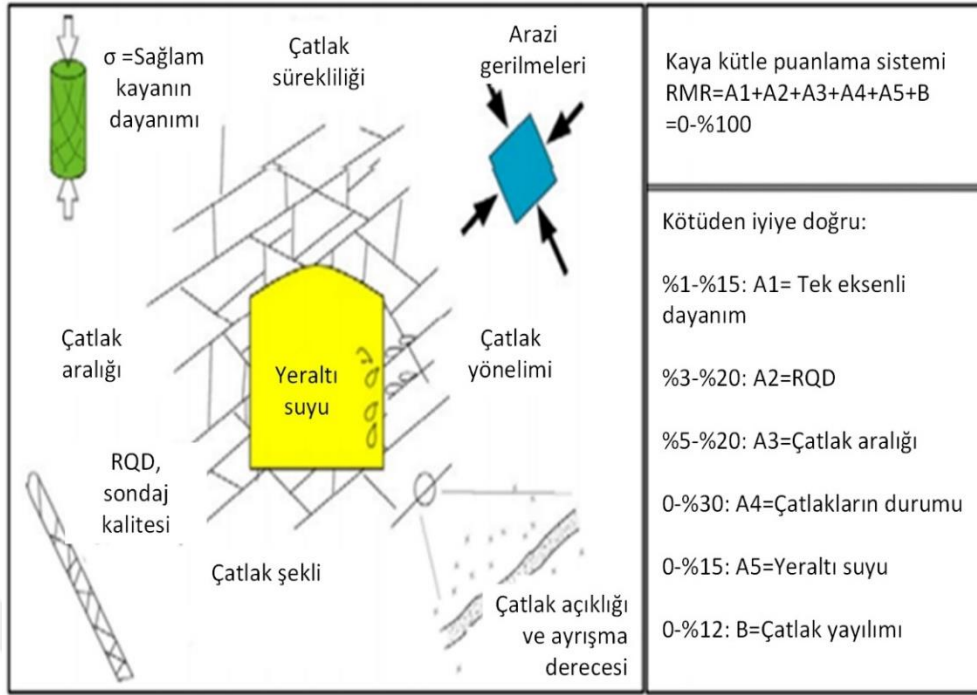
Bieniawski'nin geliştirdiği RMR sınıflandırma sisteminde aşağıda sıralanan ve sahada ölçülebilen veya sondaj verilerinden elde edilebilecek 6 adet değişken kullanılır.

Bunlar;

1. Sağlam kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c)

2. Kaya kalite göstergesi (RQD)
3. Süreksizlik aralığı
4. Süreksizliklerin durumu
 - a) Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü
 - b) Süreksizlik yüzeyinin iki duvarı arasındaki açıklığı ve varsa dolgunun kalınlığı
 - c) Dolgunun tipi
 - d) Süreksizliğin devamlılığı
5. Su durumu
6. Süreksizliklerin yönelimi (doğrultu ve eğimi).

Yukarıdaki parametreler laboratuvar ve arazi ölçümleriyle belirlendikten sonra puanlama yapılır. Bu işlemten sonra elde edilen puana göre, RMR sınıflama sisteminin önerdiği çizelgeye göre kaya sınıflaması yapılır. Bu sınıflama sistemi kullanılırken kaya kütlesi yapısal bölgelere ayrılır ve her bölge ayrı ayrı sınıflandırılır. Genellikle yapısal bölgelerin sınırları fay gibi ana yapısal bir özelliklerle ya da kaya türünün değişimiyle çakışır. Bazı durumlarda, aynı kaya türü için süreksizlik aralıkları ya da özelliklerindeki değişimler, kaya kütlesinin daha küçük yapısal bölgelere ayrılmasını gerektirebilir (Hoek, 2006).



Şekil 5.1 Kaya kütle sınıflamasında alınan temel öğeler ve bir örnek: RMR (Arioğlu, 2009)

5.5 “Q” Kaya Sınıflandırma Sistemi

Q veya NGI (Norwegian Geotechnical Institute) sistemi olarak bilinen bu sistem, Barton vd. (1974) tarafından geliştirilmiştir. Sistem uzun yıllar kullanıldıktan sonra, sistemin destek seçimine yönelik bölümü Grimstad ve Barton (1993) tarafından yeniden düzenlenmiştir.

Yeraltı kazılarında kullanılacak yöntemin ve ekipmanın belirlenmesinde, kaya sınıflamasında kullanılacak etkenler şunlardır;

- ✓ RQD (Rock Quality Designation-Kaya Kalite Göstergesi)
- ✓ Eklem takım sayısı,
- ✓ En kötü süreksizlik veya çatlakın pürüzlülüğü,
- ✓ Ayrışma derecesi veya en zayıf çatlaktaki dolgu,

Q kaya kütle kalitesi tanımlaması aşağıdaki şekilde formüle edilmektedir;

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \times \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \times \left(\frac{J_w}{SRF} \right)$$

formülde;

RQD = Kaya kütle göstergesi

J_n = Eklem takımı sayısı

J_r = Eklem pürüzlülüğü değeri

J_a = Eklem alterasyon değeri

J_w = Eklem suyu azaltma faktörü

SRF = Gerilim azaltma faktörü

RQD, bir manevra veya formasyon boyunca alınan karotlar içerisinde boyu 10 cm'ye eşit ve 10 cm'den uzun olan karotların toplam uzunluğunun, toplam karot boyuna oranıdır. Karot alınmadığı zaman, RQD, birim hacimdeki eklem sayısı yardımıyla hesaplanabilir. Bunun için her eklem takımının bir metresindeki eklem sayısı toplanır. Kil içermeyen kayalarda bu sayı RQD'ye şu şekilde çevrilir.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

Burada; J_v =Toplam eklem sayısı / m³

J_v yaklaşık olarak 4,5 alınırsa RQD=100'dür.

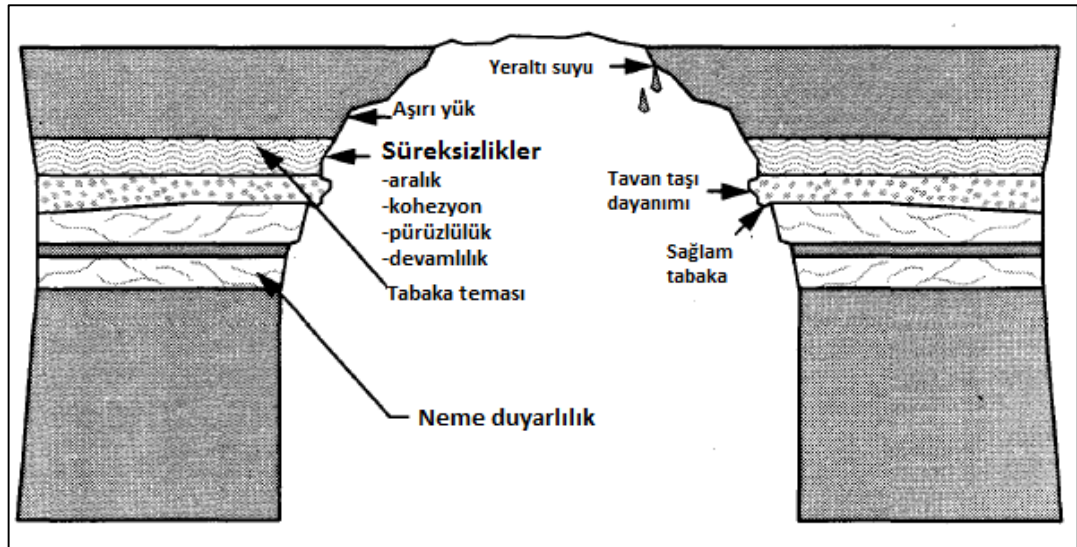
$\frac{J_w}{SRF}$ teriminde SRF; killi kayalarda ve makaslama zonlarındaki kazılarda gevşeme yükünün, kendi kendini tutabilen kayalarda gerilmenin ve kendini tutamayan plastik kayalarda ezilme yüklerinin bir göstergesidir. J_w , etken normal gerilmeyi azaltarak süreksizliğin makaslama dayanımını azaltan su basıncının göstergesidir. Kısacası J_w/SRF terimi, etken gerilme koşullarını tanımlar. J_r/J_a terimi bloklar arası dayanımı ve RQD/ J_n ise blok boyutlarını ifade eder (Karpuz ve Hindistan, 2008).

5.6 “CMRR” Kömür Madeni Tavan Sınıflama Sistemi

CMRR sınıflama sistemi, Bureau of Mines (USA) tarafından 1990 yılında geliştirilen ve günümüzde Avustralya’da yaygın olarak kullanılan bir kaya kütle sınıflama sistemidir.

Bu sınıflama sistemi özellikle kömür madenlerinin tavan tabakalarının sınıflandırılması ve tahkimat seçimi için geliştirilmiştir. CMRR sınıflama sistemi, diğer kaya kütle sınıflama sistemleriyle beraber dünya genelinde yapılan uygulamaları, deneyimleri ve jeolojik araştırmaları birleştiren bir sınıflama sistemidir. Bu sistemin amacı, tavanın yapısal sağlamlığına etki eden litolojik faktörleri tanımlayarak kaya kütlelerinin sınıflanmasıdır (Molinda ve Mark, 1994). CMRR sınıflama sisteminde tavan tabakasının puanlanmasında dikkate alınan temel parametreler şunlardır (Şekil 5.2).

- ✓ Tavan taşının tek eksenli basınç dayanımı
- ✓ Süreksizliklerin sıklığı (aralığı ve devamlılığı)
- ✓ Süreksizliklerin kesme dayanımı (kohezyon ve içsel sürtünme)
- ✓ Tavan taşının neme duyarlılığı



Şekil 5.2 CMRR bileşenleri (Molinda ve Mark, 1994)

5.6.1 CMRR Hesabı ve Kullanılan Parametreler

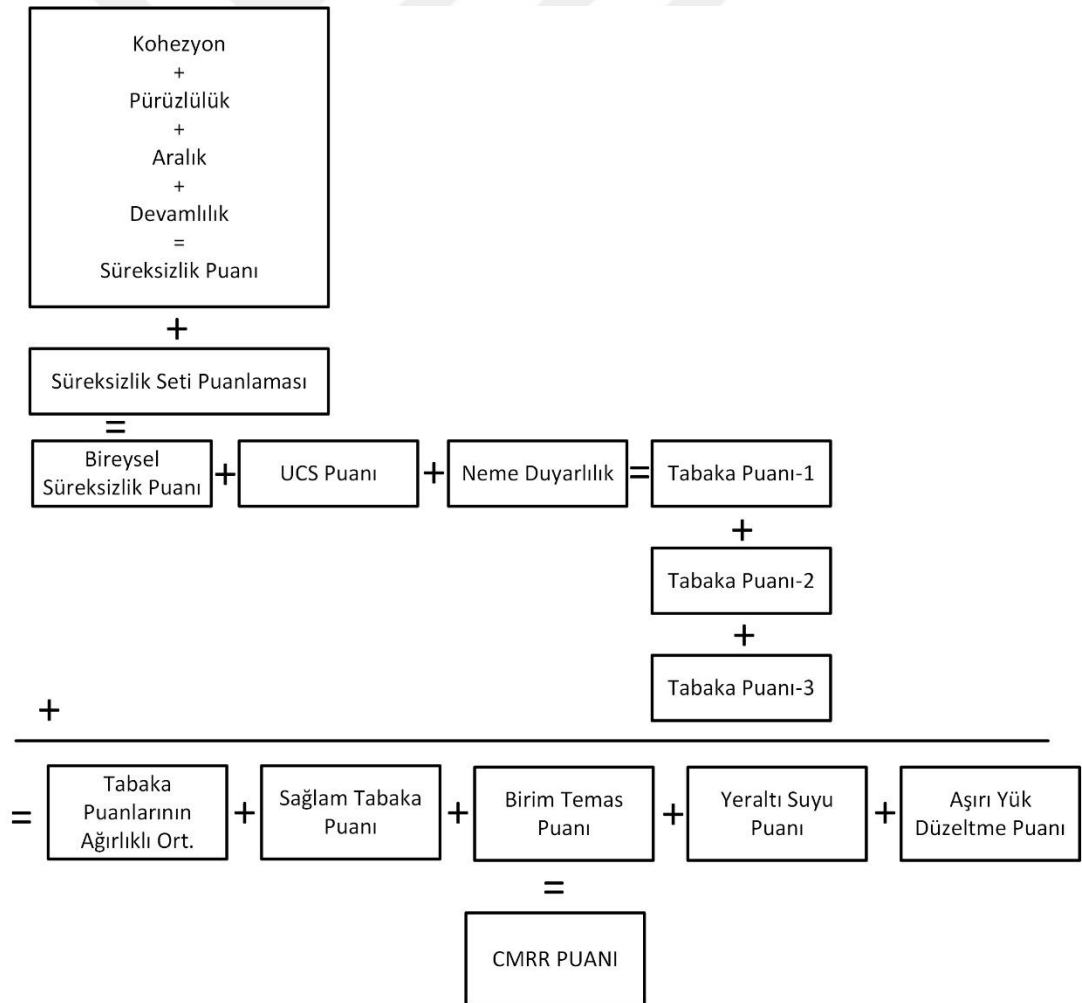
CMRR sınıflama sisteminde öncelikle tavan tabakası yapısal birimlere ayrılır. Daha sonra her bir birim için süreksizlikler ve süreksizliklerin yapısı dikkate alınarak puanlama yapılır. Son aşamada ise CMRR puanı tüm tavan tabakaları için hesaplanır.

CMRR puanlaması 2 bölümden oluşur;

1-Süreksizlik özelliklerinin puanlanması

2-Tavan tabakasının puanlanması

Şekil 5.3'te CMRR hesabının aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 5.3 CMRR hesabı aşamaları (Molinda ve Mark, 1994)

CMRR sınıflamasında birinci aşamada kullanılan parametrelerin hesaplamadaki ağırlıkları aşağıdaki gibidir;

1-Süreksizliklerin kesme dayanımı: Süreksizlik kesme dayanımlarının puanlaması CMRR puanının yaklaşık %35'lik kısmını oluşturur. Bu bölümde puanlanan parametreler, süreksizliklerin kohezyonu ve pürüzlülüğüdür.

2-Süreksizlik sıklığı: Süreksizliklerin kesme dayanımı gibi süreksizlik sıklığı puanlaması da, CMRR puanının yaklaşık %35' lik kısmını oluşturur. Bu bölümde puanlanan parametreler, süreksizliklerin aralıkları ve devamlılıklarıdır.

3-Eklem (süreksizlik) seti sayısı: Çoğu kömür madeninde tavan kayacı birden fazla süreksizlik seti içerir. Bu özellik CMRR puanında 5 puana kadar bir eksilmeye yol açar, çünkü en önemli süreksizlik seti, kayacın dayanımına negatif olarak etki eder.

4-Tavan taşının tek eksenli basınç dayanımı: Tek eksenli basınç dayanımı parametresi, bir çok yönden tavan tabakasının dayanımına etki eder.

5-Neme duyarlılık: Neme duyarlılık iki yönden kayaya etki etmektedir. Birincisi, nem kayacı gevşetir ve yumuşatır. İkincisi; süreksizliklerin içindeki dolgu malzemesinin şişmesine neden olur. Şişmeyle kayaç içinde yeni kırıklar gelişir.

CMRR puanlamasında ikinci aşamada ise tavan puanlaması (tavan tabakasının yataklanması ile ilgili puanlamalar) yapılır ve aşağıda yazılı olan özellikler dikkate alınır;

1-Tavan tabakasındaki en sağlam tabakanın özelliği

2-Tavan tabakasındaki jeolojik birim sayısı

3-Yeraltı su durumu

4-Tavan tabakalarının dayanımları

5.7 Yürüyen Tahkimat Seçimine Etki Eden Faktörler

Yürüyen tahkimat seçimine etki eden parametreleri ekipman, jeoloji ve üretim miktarı olarak üç ana gruba ayırmak ve bu parametrelere göre seçim yapmak gerekir.

Yukarıda belirtilen ve tahkimat seçimine etki eden bu parametrelerin iyi ve doğru bir tahkimat seçimi için çok iyi bilinmesi ve irdelenmesi gerekir.

Ekipman yönünden tahkimat seçimine etki eden parametreler;

- Tavan sarması uç kısmının arına olan uzaklığı
- Tavan sarması uç kısmı ile hidrolik direkler arasındaki mesafe
- Tahkimat pozisyonu (yük altındaki davranışı)
- Tavan sarması oranı (tavan sarması uç kısmının hidrolik direklere ve hidrolik direklerin tavan sarmasının arka kısmına olan mesafeleri)
- Ön yüklemeler (tavan sarmasının ön kısmında oluşan yük)
- Tavan yük dağılımı
- Tavan sarması arka kısmının göçüğe olan mesafesi
- Yük periyodu
- Tahkimatın esneme sayısı (panonun çalışması boyunca)
- Sıkılama/esneme basıncı oranı
- Sistemin hidrolik doluluğu
- Kesici-yükleyici hızı
- Bakım programı
- Tabaka kontrolü
- Yan kalkan gereksinimi
- Zincirli konveyör tipi ve kapasitesi
- Kömür kesme derinliği ve tambur çapı
- Arın üretim metodu (kesici-yükleyicinin yeni kazı havesine geçiş yöntemi)
- Tavan ve taban yollarındaki tahkimat dizaynları
- Tahkimatın çalışma yüksekliği

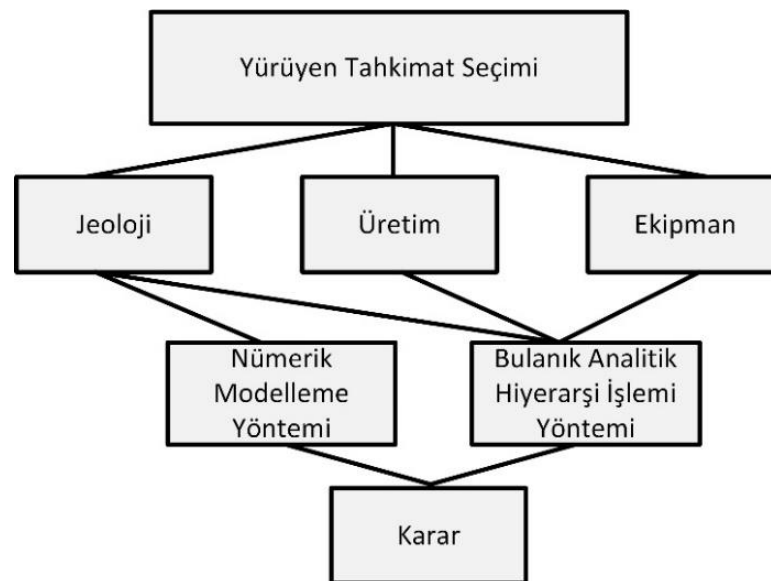
Jeoloji yönünden tahkimat seçimine etki eden parametreler;

- Pano boyu ve genişliği
- Çalışma derinliği
- Damar kalınlığı

- Damar eğimi
- Su durumu
- Jeolojik yapı (süreksizlikler)
- Ara kesme
- Yalancı tavan ve taban tabakasının jeomekanik özellikleri
- Kömürün jeomekanik özelliği
- Ana tavanın jeomekanik özellikleri
- Kırılma zonları
- Yerinde gerilme durumları
- Sübsidans kısıtlamaları
- Pano yönelimi (yerinde gerilme ve yapısal durum açısından)
- Topuk dizaynı

Üretim miktarı ve yöntemi açısından tahkimat seçimine etki eden parametreler;

- Tavan-taban ayak üretim yöntemi
- Damarın dilimlere ayrılarak üretilmesi
- Pano ömrü
- Ayak boyu ve ilerleme hızı
- Yatırım büyüklüğü (İ. Canbulat ile kişisel görüşmeler, 19 Aralık 2013).



Şekil 5.4 Yürüyen tahkimat seçim aşamaları

5.8 Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Çok kriterli karar problemlerinde karar vericiler için seçeneklerin incelenmesi, önem derecelerine göre sıralanması ve öncelikli seçeneklerin seçimi söz konusudur. Çok kriterli karar problemlerinin çözümü için ortaya konan bilimsel tekniklere, “çok kriterli karar verme teknikleri” adı verilmektedir. Çok kriterli karar verme teknikleri, karar verme sürecinde çok sayıda ve genellikle birbiriyle uyuşmayan kriterlerin bulunduğu problemlerin çözümü için geliştirilmiştir. Kişisel kararlardan işletmelerin vermeleri gereken stratejik kararlara kadar, çok kriterli karar problemleriyle oldukça geniş bir alanda karşılaşılmaktadır. Çok kriterli karar verme teknikleri, çok sayıda kriter ve alternatif için bir arada ve eş zamanlı olarak değerlendirme olanağı sağladığından, uygulamada karşılaşılan problemlerin karmaşık yapısı düşünüldüğünde doğru karar vermeyi kolaylaştıran önemli avantajlar sağlamaktadır (Baysal ve Tecim, 2006; Jahanshahloo ve diğer., 2006; Göksu ve Güngör, 2008).

Analitik hiyerarşi yönteminde kriter ve seçeneklerin göreceli önem dereceleri ikili karşılaştırmalar yapılarak belirlenmektedir. Klasik bir ölçekle seçeneklerin değerlendirilmesine dayanan klasik analitik hiyerarşi yönteminde, kişilerin tecrübelerini ve yargılarını sınırlı ve kesin veriler nedeniyle tam olarak yansıtamadığından yeterince esneklik sağlanamamaktadır (Mon ve diğer., 1994; Ruoning ve Xiaoyan, 1992). Kişiler tercihlerini genellikle sözel olarak ifade etmeye eğilimlidirler. Bu nedenle, insan düşüncesi ve yargılarındaki bulanıklığın ikili karşılaştırmalara yansıtılabilmesi için kişilerin sözel değerlendirmelerinin bulanık sayılar ile ifade edilmesi gerekmektedir. Çok sayıda kriter, alt kriter ve seçeneğin bulunduğu problemlerde kişilerin bulanık tercihlerinin belirlenmesi, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ile yapılmaktadır (Chang, 1996).

Karar verme problemlerinde üç önemli öge vardır. Bunlar; karar veren kişi, alternatifler ve kriterlerdir. Karar veren kişi, en iyi eylemin seçilmesine karar veren kişidir. Alternatifler, olası eylem seçenekleridir ve karar verme probleminin ayrılmaz parçalarıdır.

Bulanık analitik hiyerarşi prosesi, çok kriterli karar süreçlerinde, özellikle belirsizlik ya da sübjektiflik bulunması durumunda kullanılmak ve insani düşünce tarzına daha yakın olmak amacıyla bulanık mantık ile analitik hiyerarşi prosesini birleştirmek yoluyla oluşturulmuş bir yöntemdir. Değerlendirmelerde kesin değerler yerine aralıkların kullanımı üzerine kurulmuştur. Net değerlerin kullanıldığı AHP'den farklı olarak, BAHF'de kıyaslama oranları bir değer aralığında verilmektedir. Analitik hiyerarşi prosesi ve bulanık analitik hiyerarşi prosesi sözel ifadelerin de bulanık sayılarla tanımlanmasına olanak tanımaktadır. Böylece hem objektif, hem de sübjektif ölçütlerle çalışma olanağı sağlanır (Akın, 2015).

Tablo 5.1 Bulanık analitik hiyerarşide önem ölçeği (Öztürk ve Başkaya, 2012)

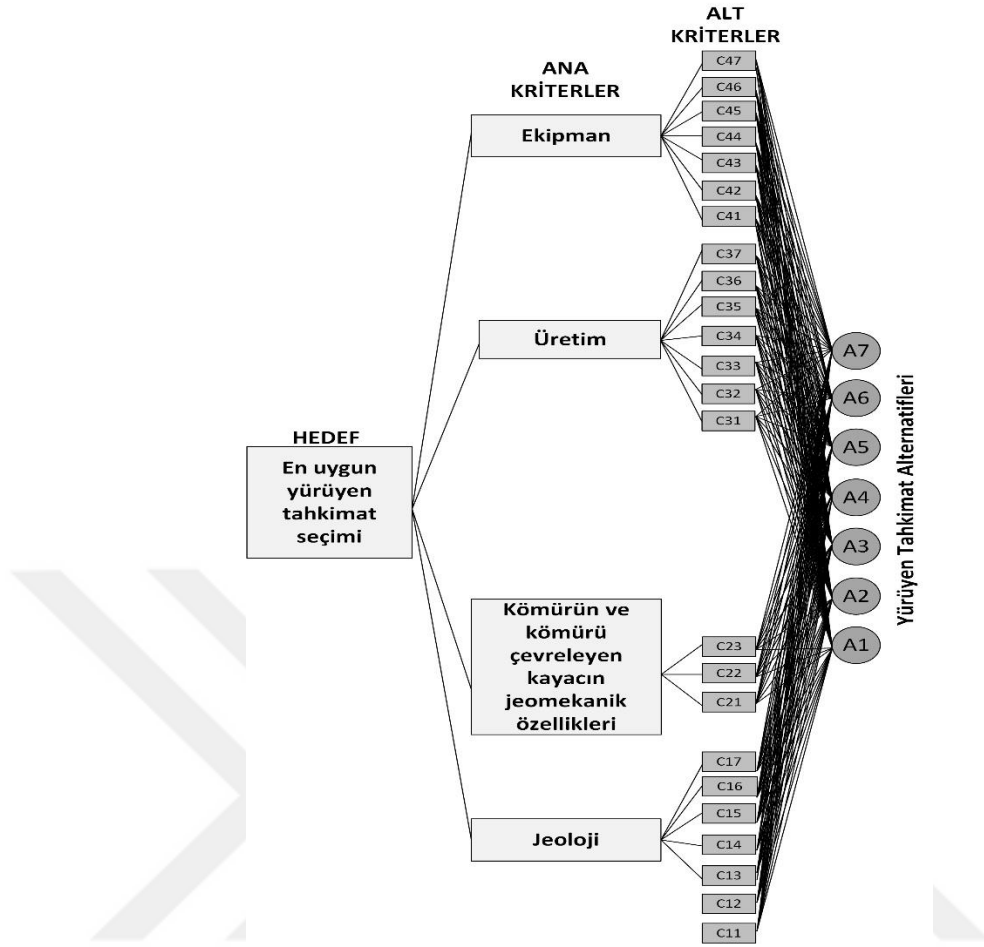
İkili Karşılaştırma Tercihleri	Önem Derecesi	Önem Derecesinin Eşleniği	Açıklama
Eşit Derecede Önemli	(1,1,1)	(1,1,1)	İki elemanın katkısı eşittir.
Ara Değer	(1,2,3)	(1/3,1/2,3)	
Biraz Daha Fazla Önemli	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)	Bir eleman diğerinden biraz daha fazla katkıda bulunmaktadır.
Ara Değer	(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)	
Güçlü Derecede Önemli	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)	Bir eleman diğerinden daha güçlü derecede katkıda bulunmaktadır.
Ara Değer	(5,6,7)	(1/7,1/6,1/5)	
Çok Güçlü Derecede Önemli	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)	Bir eleman diğerinden çok daha güçlü derecede katkıda bulunmaktadır.
Ara Değer	(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)	
Aşırı Derecede Önemli	(8,9,9)	(1/9,1/9,1/8)	Bir eleman diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede katkıda bulunmaktadır.

5.8.1 Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle Yürüyen Tahkimat Seçimi Örnek Çalışması

Yapılan çalışmada, yürüyen tahkimat seçimine etki eden parametreler dört ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar, tahkimatların kullanılacağı çalışma koşullarına göre değişiklik göstermekle beraber, seçim aşamasında temel olarak dikkat edilmesi gereken parametrelerdir. Ana faktörler, jeoloji, çevresel kayaçların ve kömürün jeomekanik özellikleri, üretim ve ekipman olarak belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenen her ana parametre için alt kriterler oluşturulmuştur (Tablo 5.2). Ana ve alt kriterler Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile değerlendirilmiş ve en uygun tahkimat tipi seçilmiştir. Uygulanan yöntemin hiyerarşisi Şekil 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.2 Yürüyen tahkimat seçimine etki eden ana ve alt kriterler

Jeoloji
Çalışma derinliği
Damar kalınlığı
Kırık, çatlak, fay, ara kesme durumu
Damar eğimi
Su durumu
Arazi gerilmeleri
Göçük davranışı
Çevre kayaçların jeomekanik özellikleri
Tavan taşının mekanik özellikleri
Taban taşının mekanik özellikleri
Kömürün mekanik özellikleri
Üretim
Çalışma yüksekliği
Tavan-taban ayak şeklinde çalışılması
Kömür rezervi
İlerleme hızı ve üretim kapasitesi
Aynadan üretilen ve ayak üstünden alınan kömür damarı yüksekliklerinin oranı
Pano boyutları
Ayak uzunluğu
Ekipman
Tavan sarması yük dağılımı
Tahkimatın pano ömrü boyunca esneme oranı ve sıkılama ve esneme basınçları oranı
Yan kalkanlar
Yürüyen tahkimatın minimum ve maksimum çalışma yüksekliği
Yürüyen tahkimatın zincirli konveyör ve kesici-yükleyici ile uyumu
Tahkimatın nakliye durumundaki toplam boyutları
Tahkimatın kütlesi



Şekil 5.5 Yürüyen tahkimat seçimi için geliştirilen hiyerarşi dizayn şeması

Belirlenen bu kriterler kendi içlerinde tahkimat seçimine ne derecede etki ettikleri göz önünde bulundurularak Tablo 5.1’de verilen ölçütlere göre puanlamıştır (Şekil 5.6).

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Şekil 5.6 Karşılaştırma matrisi puanlama tablosu

Elde edilen puanlar “Expert Choice” bilgisayar yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş ve tahkimat seçiminde etkili kriterler puanlarıyla beraber tespit edilerek hesaplanmıştır. Daha sonra seçenek olarak belirlenen yürüyen tahkimatlar, alt kriterler dikkate alınarak karar vericiler tarafından kendi içlerinde puanlanmıştır. Seçim aşamasında Expert Choice yazılımı ile elde edilen alt kriterlere ait puanlar ile yürüyen tahkimatlara ait puanların çarpılması sonucu elde edilen puanlar dikkate alınmış, en yüksek puanı alan yürüyen tahkimat en uygun yürüyen tahkimat olarak değerlendirilerek seçilmiştir.



BÖLÜM ALTI

NÜMERİK MODELLEME ÇALIŞMALARI

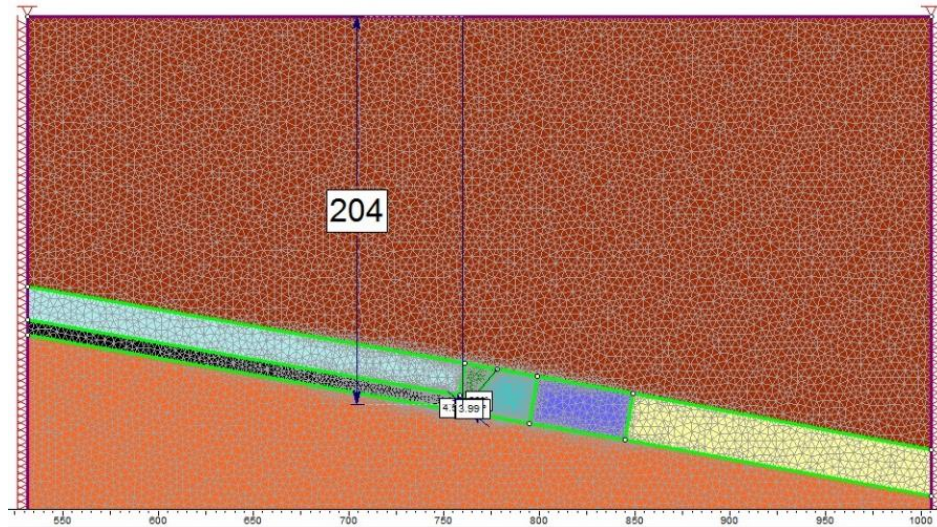
6.1 Giriş

Phase^{2D} nümerik modelleme programı günümüzde madencilik alanında yaygın olarak kullanılan bir saha modelleme yazılımıdır. Modellenmesi amaçlanan bölgeden alınan örnekler üzerinde yapılan kaya mekaniği deneylerinin sonuçları dikkate alınarak kaya kütle parametrelerinin elde edilmesiyle başlayan modelleme sürecini, sahanın boyutları dikkate alınarak model oluşturulması işlemi izlemektedir. Bir sahanın modellenmesi sırasında karşılaşılan genel zorlukların nedeni, kaya kütlelerinin doğal malzemeler olmasından dolayı bunların fiziksel ve mekanik özelliklerinin çeşitli programlar yardımıyla önceden tahmin edilerek tanımlanmasıdır. Saha modellemesi sonucunda elde edilen sonuçlar bu konularda yapılmış akademik, deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen sonuçlarıyla karşılaştırılarak doğrulaması yapılmaktadır.

Tez çalışmasında Phase^{2D} saha modelleme programı kullanılarak 2,5 m, 3 m ve 3,5 m çalışma yüksekliğine sahip ve -20°, -15°, -10°, -5°, 0°, 5°, 10°, 15°, 20° eğimlerinde toplam 27 adet uzun ayak modellenmiştir. Modelleme sırasında eğimlere göre doğru gerilme analizi yapabilmek için, tüm modellerde ayak boşluğunun yeryüzüne olan mesafesi, (Tunçbilek çalışma sahasının verileri dikkate alınarak (204 m)) sabit tutulmuştur (Şekil 6.1). Yapılan çalışmada uzun ayak üzerinde oluşan gerilmeleri ve tahkimat üzerine gelecek olan teorik yükü bulmak amacıyla Phase^{2D} programı kullanılarak sayısal modelleme yapılmıştır. Modelleme işlemi aşağıdaki adımları içermektedir;

- 1- Sahanın modellenmesi (Ana tavan-yalancı tavan-kömür damarı-taban taşı-göçük)
- 2- Kazı alanının modellenmesi (Ayak içi)
- 3- Model için girdi verilerinin oluşturulması
- 4- Göçüğün modellenmesi
- 5- Teknik düzenlemeler
- 6- Analiz ve sonuçlar

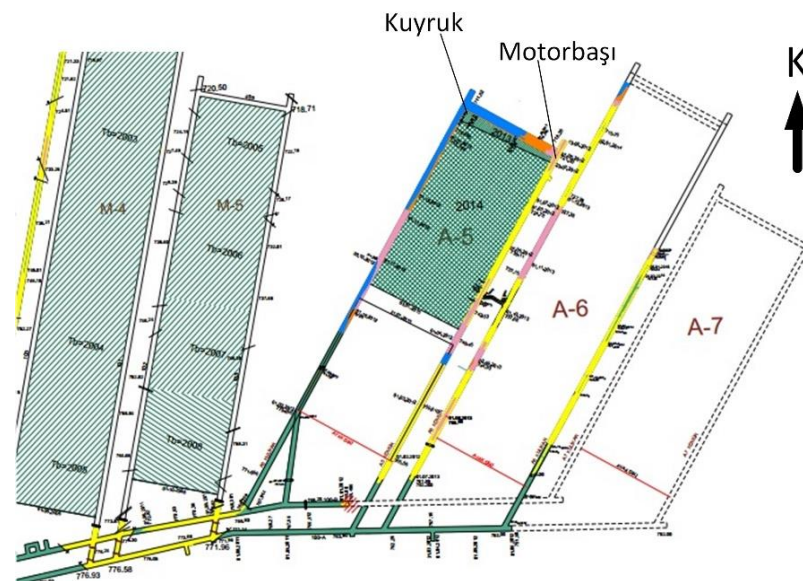
Aşağıdaki bölümlerde yapılan çalışmanın ayrıntıları verilmektedir.



Şekil 6.1 3,5 metre çalışma yüksekliği ve meyil yukarı 10° eğime sahip uzun ayak modelinin yer yüzüne olan mesafesi

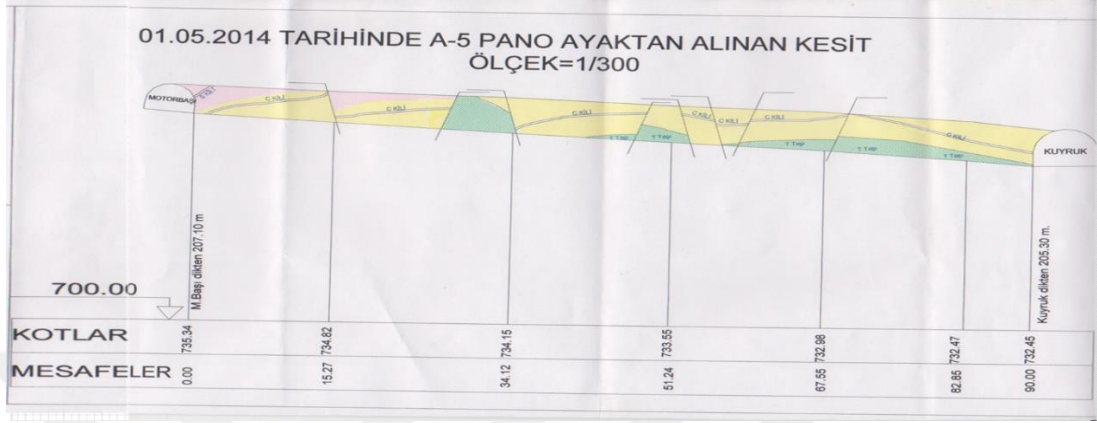
6.2 Sahanın Modellenmesi

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda çalışma sahasının gerçek boyutlarına uygun olarak modellenmesine özen gösterilmiştir. Çalışma sahası olan Ömerler yeraltı mekanize ocağı A5 panosunun ocak planındaki yeri Şekil 6.2’de verilmiştir.



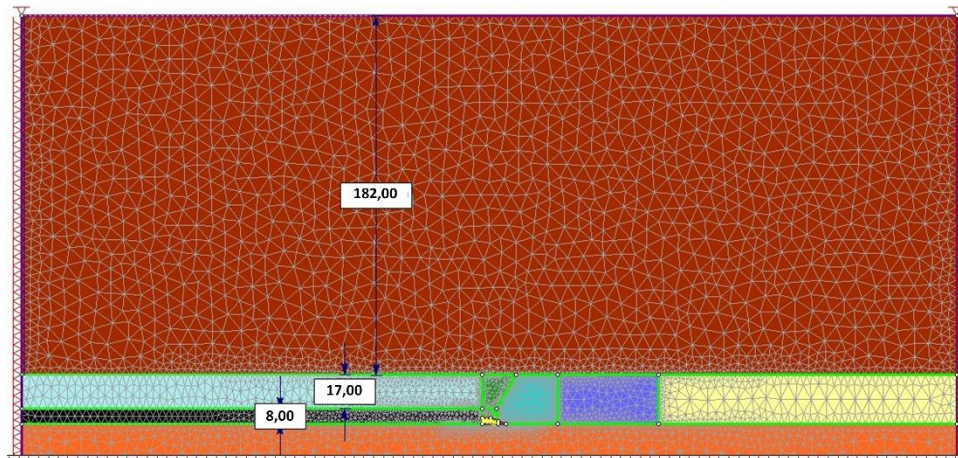
Şekil 6.2 Ömerler mekanize yeraltı ocağı A5 panosu planı (ölçeksiz)

A5 panosunda kömür damarının ortalama kalınlığı 8 m olup, pano boyu yaklaşık 400 m'dir. Ayak içinde 52 adet yürüyen tahkimat mevcuttur ve ayak uzunluğu ise 91 m'dir. 01/05/2014 tarihinde ayaktan alınan bir kesit Şekil 6.3'de verilmiştir.

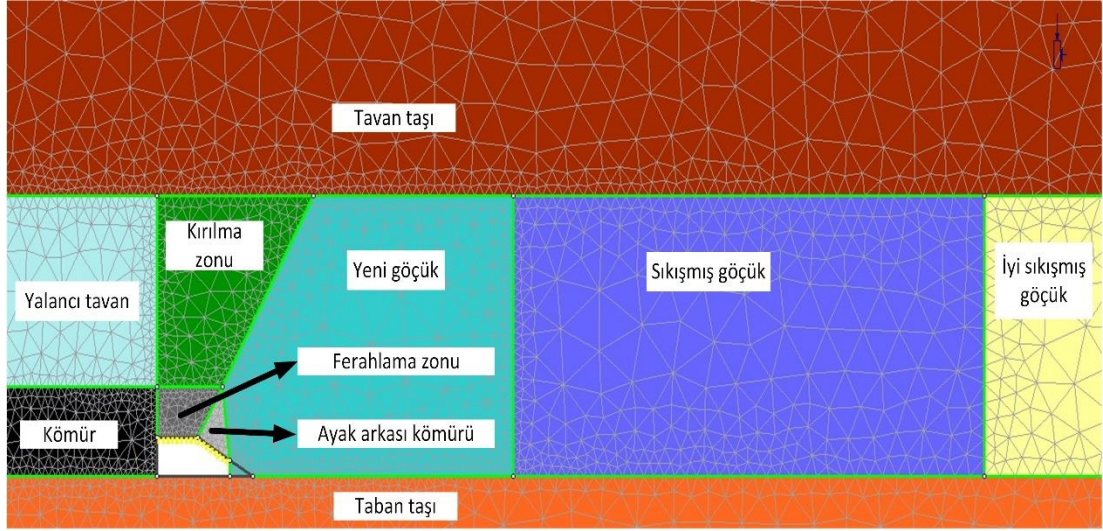


Şekil 6.3 A5 panosu ayak kesiti

Çalışma sahasından elde edilen ve önceden yapılmış olan teknik çalışmalara göre, çalışma modeli 17 m kalınlığında yalancı tavan, 182 m kalınlığında ana tavan ve 8 m kalınlığında kömür damarı (3 m arından, 5 m arkadan göçertmeli olacak şekilde) olarak modellenmiştir. Modele ait genel görüntü Şekil 6.4'de verilmiştir. Oluşturulan modelde saha; tavan taşı, taban taşı, kömür, yalancı tavan, kırılma zonu, ferahlamış zon, ayak arkası kömürü, yeni göçük, sıkışmış göçük ve iyi sıkışmış göçük olmak üzere 10 bölgeye ayrılarak modellenmiştir (Şekil 6.5).



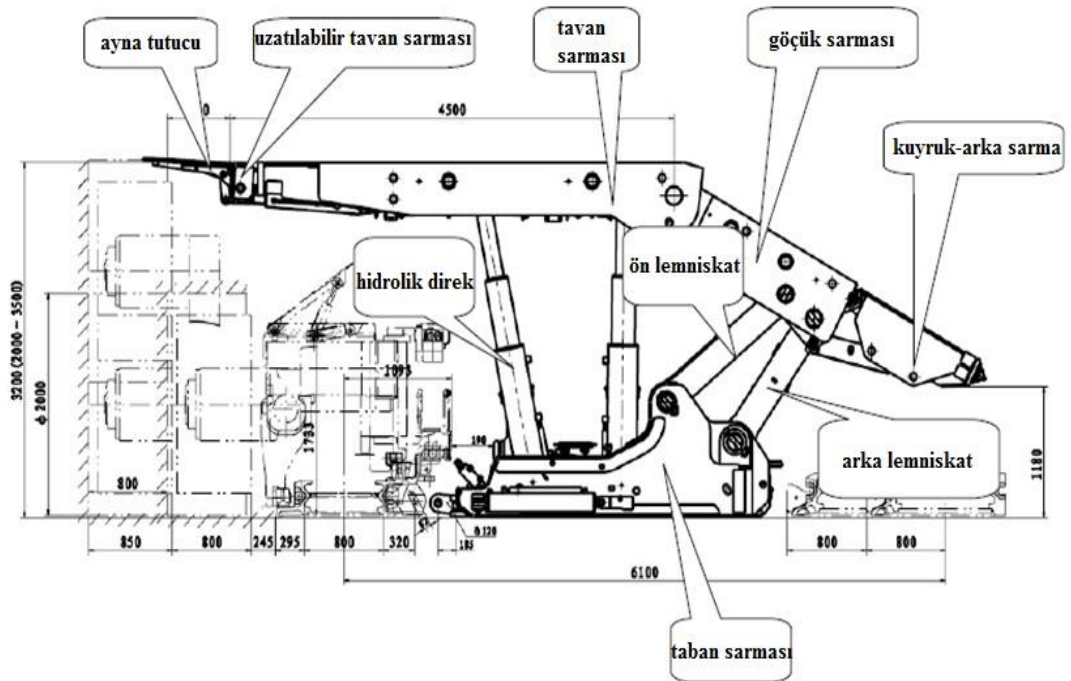
Şekil 6.4 Oluşturulan modelin görüntüsü



Şekil 6.5 Modelde oluşturulan bölgelerin yerleri

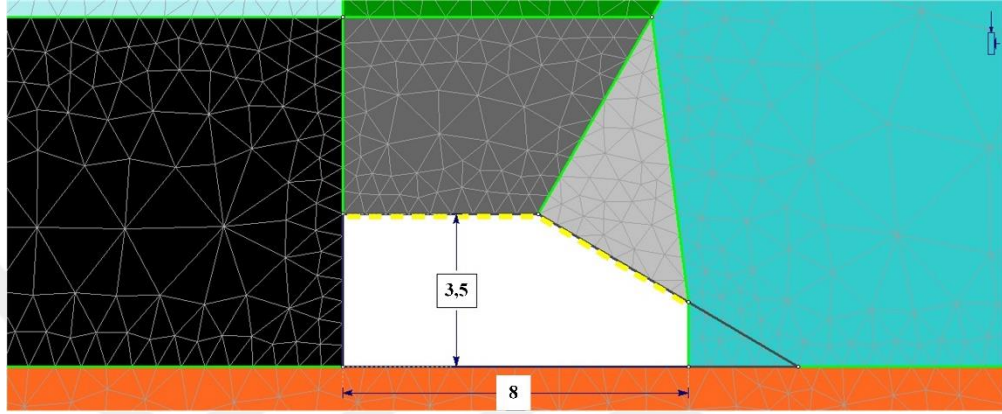
6.3 Kazı Alanının Modellenmesi

Model içinde oluşturulan kazı alanının boyutları, Tunçbilek A5 panosunda kullanılan ayak içi tahkimatların boyutları dikkate alınarak modellenmiştir (Şekil 6.6).



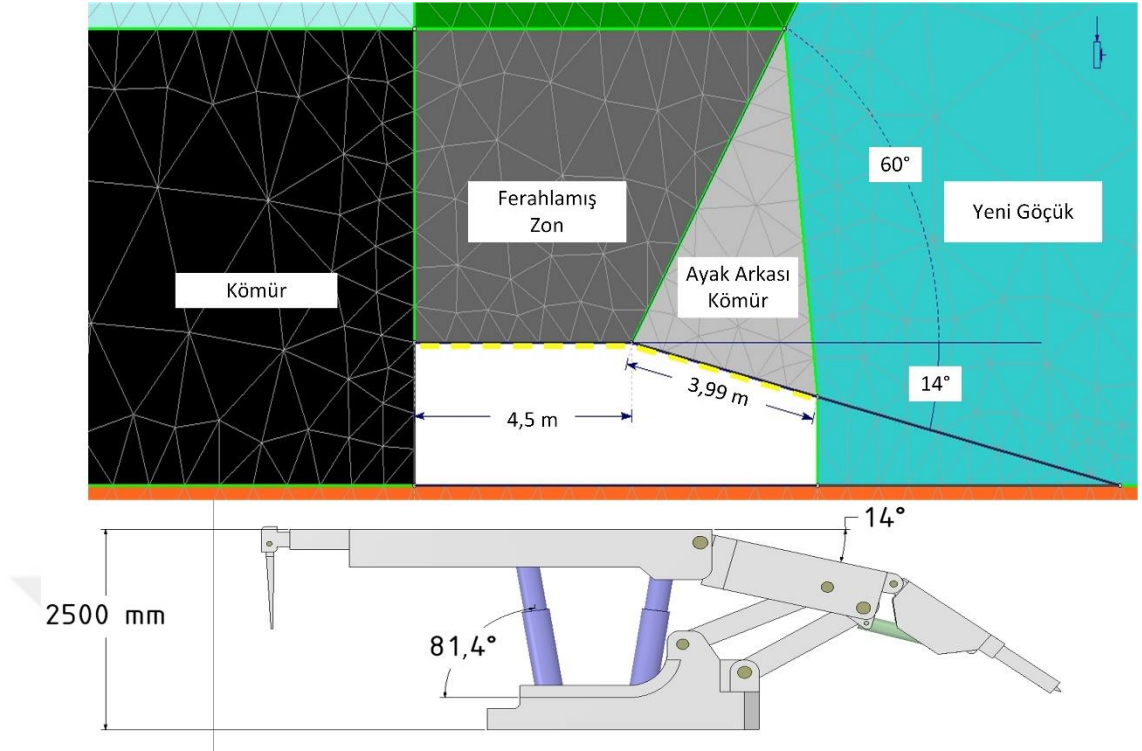
Şekil 6.6 Ayak içi yürüyen tahkimatın teknik gösterimi

Ayak içinde kullanılan yürüyen tahkimatın boyutlarının gösterildiği teknik resim Şekil 6.6’de verilmiştir. 3,5 m çalışma yüksekliğinde tahkimatın tavan sarması uç kısmından göçük sarması uç kısmına olan uzunluğu 7840 mm’dir. Bu ölçüler dikkate alındığında oluşturulan modellerde ayak genişliği 8 m olarak belirlenmiştir. Ayak yüksekliği ise 2,5 m, 3 m ve 3,5 m olacak şekilde modellenmiştir.

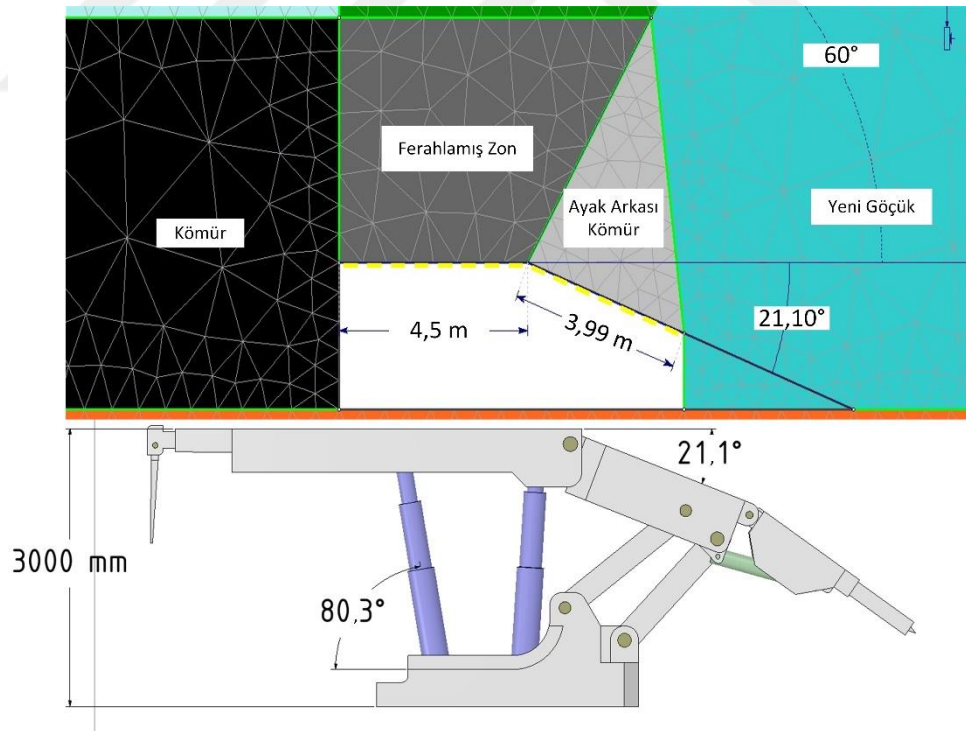


Şekil 6.7 Model içinde oluşturulan kazı alanı

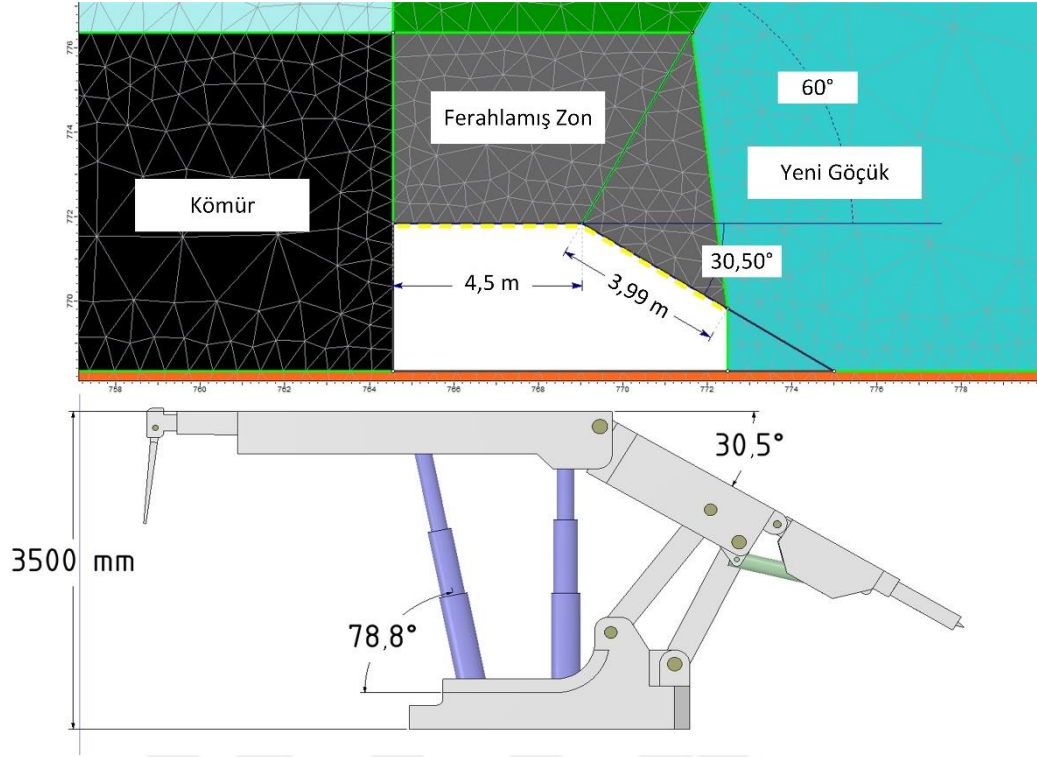
SpaceClaim yazılımı yardımıyla çizilen yürüyen tahkimatın katı modeli 2,5 m, 3 m ve 3,5 m çalışma yüksekliklerinde açılarak her bir durumda tavan sarmasının göçük sarması ile yaptığı açı tespit edilmiştir. Bu açı 2,5 m çalışma yüksekliğinde tavan ve göçük sarması arasında 14° , 3 m çalışma yüksekliğinde $21,10^\circ$ ve 3,5 m çalışma yüksekliğinde $30,50^\circ$ olarak bulunmuştur. Phase^{2D} programında oluşturulan saha modellerinde ayak boşluğu, tahkimatın farklı çalışma yüksekliklerindeki tavan-göçük sarması arasındaki açı ve tavan sarması (4,5 m) -göçük sarması (3,99 m) uzunlukları dikkate alınarak modellenmiştir. Farklı çalışma yüksekliklerine göre modellenen ayakların görüntüsü Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10’da verilmiştir.



Şekil 6.8 2,5 metre çalışma yüksekliğinde ayak içinin ve tahkimat ünitelerinin görünümü



Şekil 6.9 3 metre çalışma yüksekliğinde ayak içinin ve tahkimat ünitelerinin görünümü



Şekil 6.10 3,5 metre çalışma yüksekliğinde ayak içinin ve tahkimat ünitelerinin görünümü

6.4 Model İçin Girdi Verilerinin Oluşturulması

Çalışma sahasında önceki yıllarda yapılan sondajlardan elde edilen değerlerden, tezde kullanılmak üzere kömür damarına ve kömür damarını çevreleyen birimlere ait jeomekanik özellikler belirlenmiştir. Birimlere ait jeomekanik özellikler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Birimlere ait sağlam kaya malzemesine ait özellikler Tablo 4.1’de verilmiştir. olduğu göz önünde bulundurulduğunda. Çalışma sahasının doğru bir şekilde modellenebilmesi için birimlere ait kaya kütle dayanım parametrelerinin analizlerde kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla, Rock Data 5.0 yazılımıyla sağlam kaya malzemesinin mekanik özellikleri kullanılarak kaya kütlelerine ait mekanik özellikler (σ_{cm} , E_m , C_m , ϕ_m) saptanmıştır.

6.4.1 Modelde Yer Alan Formasyonların Kaya Kütlesi Mekanik Verilerinin Elde Edilmesi

Modelde kullanılan her bir formasyonun sağlam kaya malzemesine (intact rock) ait jeomekanik verilerinden hareketle, kaya kütlesine ait jeomekanik veriler elde edilmiştir. Malzemedan kütleyle geçişte Rock Data 5.0 programı kullanılmıştır. Bu bölümde örnek olarak tavan taşına ait modelin kaya kütle verisinin oluşturulması anlatılmış ve modelde yer alan tüm formasyonlar için sonuçlar toplu olarak verilmiştir (Tablo 6.2).

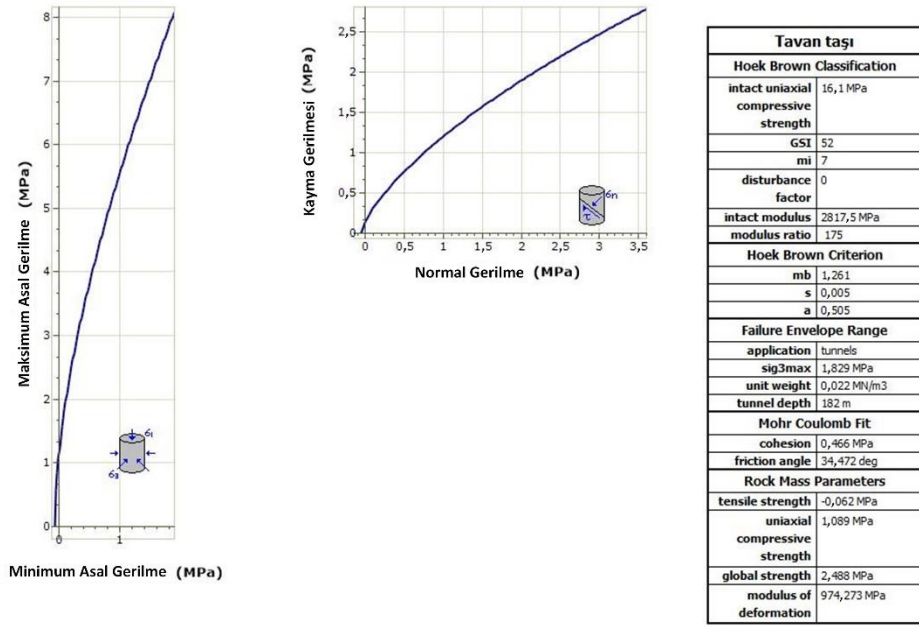
Tunçbilek kömür sahasında tavan taşı marndır. Bu nedenle tavan taşının modellenmesinde laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen tavan taşının tek eksenli sıkışma dayanımı değeri olan 16,10 MPa değeri kullanılmıştır (Tablo 4.1). Tavan taşına ait sağlam kayaç malzemesinin birim hacim ağırlık ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin yanı sıra formasyon derinliği ve formasyonun Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) değeri programa girilmiş ve sonuç olarak tavan taşına ait olan kaya kütlesi mekanik özellikleri bulunmuştur. Programa girilen sağlam kaya malzemesine ait jeomekanik özellikler ve elde edilen kaya kütlesine ait jeomekanik özellikler Tablo 6.1’de verilmektedir. Rock Data 5.0 programına ait bir ekran görüntüsü ise Şekil 6.11’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Tavan taşı için modelde kullanılan girdi verileri

	Sağlam Kayaç Malzemesinin Jeomekanik Özellikleri					Kaya Kütesinin Jeomekanik Özellikleri (Modelde Girdi Verisi Olarak Kullanılan)			
Formasyon	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	GSI	Derinlik (m)	Poisson Oranı	Birim Hacim Kütle MN/m ³	Kohezyon (c)	İçsel Sürtünme Açısı Ø (°)	Elastisite Modülü (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Tavan Taşı (Marn)	16,10	52	182	0,25	0,022	0,466	34,47	974,27	0,062

Tablo 6.2 Formasyonlara göre modelde kullanılan veriler

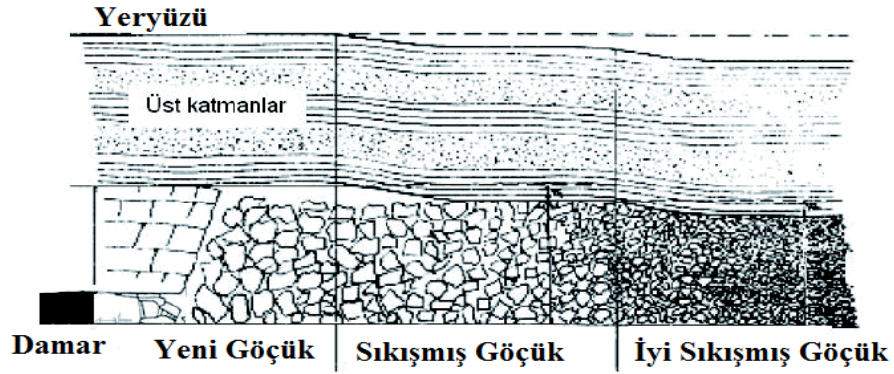
Formasyon	Birim Hacim Ağırlık (MN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson oranı	Çekme Dayanımı (MPa)	İçsel Sürtünme Açısı (°)	İçsel Sürtünme Açısı (°) (Kalıcı)	Kohezyon (MPa)	Kohezyon (MPa) (Kalıcı)
Taban taşı	0,0210	2480,30	0,31	0,204196	32,1064		0,620170	
Tavan taşı	0,0220	974,27	0,25	0,061659	34,4722		0,466447	
Kömür	0,0130	519,64	0,25	0,046891	27,8798		0,238185	
Yalancı tavan	0,0200	1105,87	0,28	0,083001	28,3483		0,371284	
Kırılma zonu	0,0200	226,81	0,30	0,014881	20,3125		0,201093	
Ferahlanmış zonu	0,0130	70	0,28	0,006380	18,5989		0,115901	
Yeni göçük	0,0140	100	0,40	0	28	25	0,11	0,10
Sıkışmış göçük	0,0192	200	0,30	0,009000	25	20	0,20	0,18
İyi sıkışmış göçük	0,0240	500	0,25	0,045000	20	18	0,22	0,20
Ayak arkası kömürü	0,0140	50	0,40	0	28	25	0,11	0,10



Şekil 6.11 Tavan taşı (marn) için kaya kütlesi jeomekanik özelliklerinin bulunması

6.5 Göçük, Kırılma Zonu, Ferahlamış Zon ve Ayak Arkası Kömür Bölgelerinin Modellenmesi

Göçük, uzunayak madenciliğinde oldukça önemli rol oynamaktadır. Göçük oluşum süreci madenin büyük bölümündeki gerilme değerlerini değiştirmektedir. Bu değişimlerin büyüklükleri ve sınırları, tavan taban yollarının duraylılığına etki etmektedir. Yalancı tavan göçük bölgesine göçtüğü zaman göçen malzemenin ağırlığı göçük bölgesindeki gerilmeleri oluşturmaktadır. Göçük malzemelerindeki kayalar yığın oluşturmaya devam ettikçe bu bölgedeki gerilme de artmakta ve göçük bölgesindeki kırık kayalar aynadan arkaya doğru dereceli olarak sıkışmaktadır (Şekil 6.12), (Sweby, 1997).



Şekil 6.12. Göçük bölgeleri (Sweby, 1997)

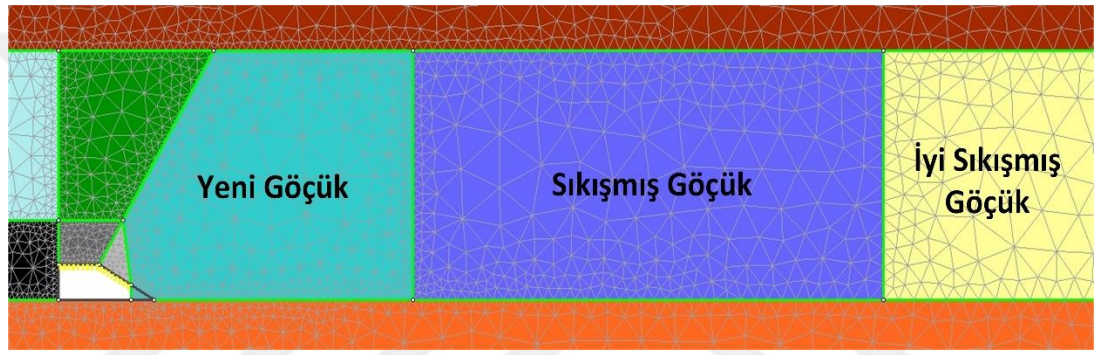
Önceki yıllarda yapılan araştırmalara göre uzun ayaklarda göçük bölgesi; yeni göçük, sıkışmış göçük ve iyi sıkışmış göçük olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Verma ve Deb, (2013) tarafından yapılan modelleme çalışmasında, iyi sıkışmış göçüğün Poisson oranını 0,25 alırken, yeni göçüğün Poisson oranını 0,40 almışlardır. Aynı şekilde yeni göçüğün elastisite modülünü 100 MPa alırken, iyi sıkışmış göçüğün elastisite modülünü ise 500 MPa almışlardır. Ayak ilerledikçe eski göçük bölgesi, tavan katmanlarının da etkisiyle iyice sıkışmaktadır. İyi sıkışan göçüğün teorik olarak içsel sürtünme açısı düşmektedir. Bir yığının serbest halde ölçülen içsel sürtünme açısıyla, aynı yığına yukarıdan bir baskı uygulandığındaki içsel sürtünme açısı karşılaştırıldığında, bu durum daha iyi anlaşılabilir. Oluşturulan modelde ise aynı şekilde göçük malzemesi üç gruba ayrılmıştır. Göçük malzemesi, kırılmış malzemeden oluştuğu için, kütle davranışı modelde plastik olarak seçilmiştir. Göçük için modelde kullanılan veriler ve göçüğün modeldeki görüntüsü sırasıyla Tablo 6.3 ve Şekil 6.13’de verilmektedir.

Yapılan değerlendirmeler ve araştırmalar sonucunda, tavandan kırılarak ayak arkasına göçen kömürün elastisite modülü, Poisson oranı, içsel sürtünme açısı, kohezyon, çekme dayanımı vb. gibi teknik parametrelerinin, ferahlamış zonda (ayak üstünde) bulunan kömürün teknik parametrelerinden daha düşük olması gerektiği belirlenmiştir (Singh ve Singh, 2010). Bu nedenle ayak arkası kömür bölgesi modellenirken, kırılarak ayak arkasına göçen kömürün yeni göçük gibi davranacağı düşünülmüş ve yeni göçük bölgesinin teknik parametreleri dikkate alınmıştır. Bu

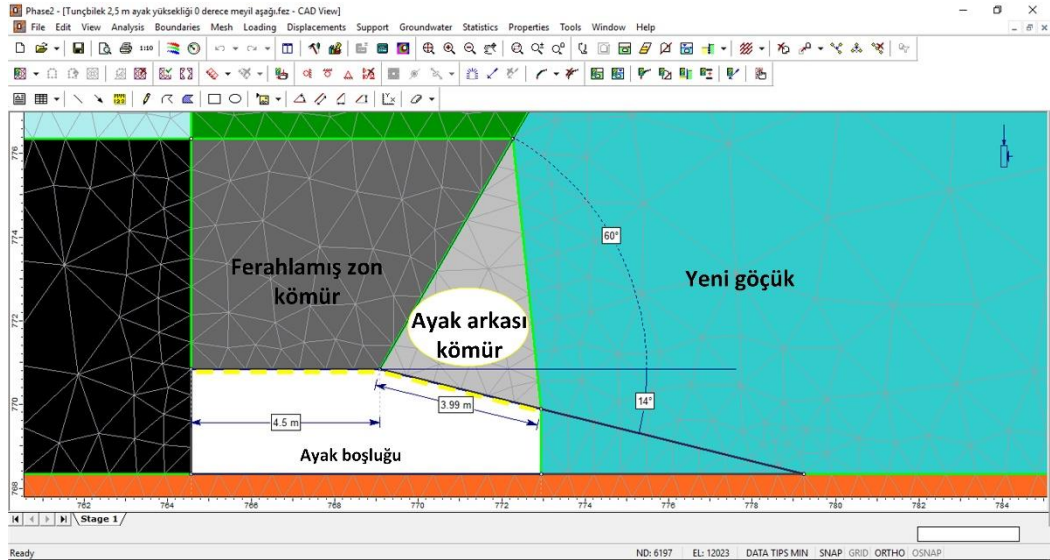
bilgilere göre, ayak boşluğunda göçük sarması üstüne gelen bölge ayak arkası kömür bölgesi olarak isimlendirilmiştir (Şekil 6.14).

Tablo 6.3 Göçüğe ait modelde kullanılan veriler

Göçük Tipi	Birim Hacim Kütle (MN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	İçsel Sürtünme Açısı Ø (°)
Yeni göçük	0,0140	100	0,40	28
Sıkışmış göçük	0,0192	200	0,30	25
İyi sıkışmış göçük	0,0240	500	0,25	20



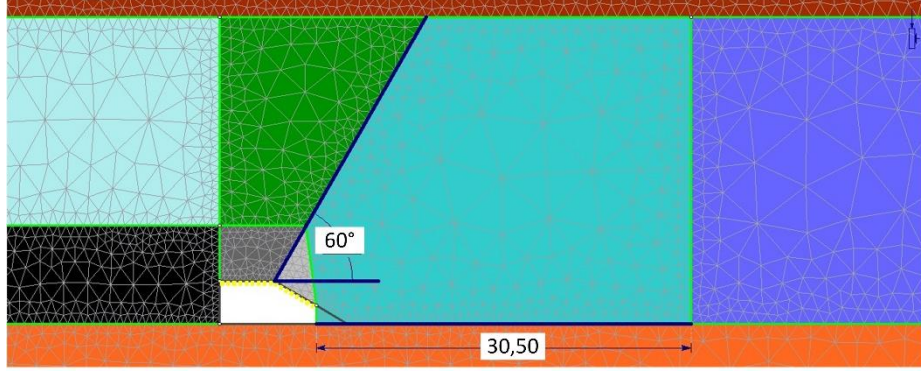
Şekil 6.13 Göçüğün modellenmesi



Şekil 6.14 Ayak arkası kömür bölgesinin modeldeki görüntüsü

Ayak arkasında oluşan göçük mesafesinin 20-40 m arasında olduğu ve göçük kırılma açısının yaklaşık 60° olacağı göz önünde bulundurulduğunda, modelde

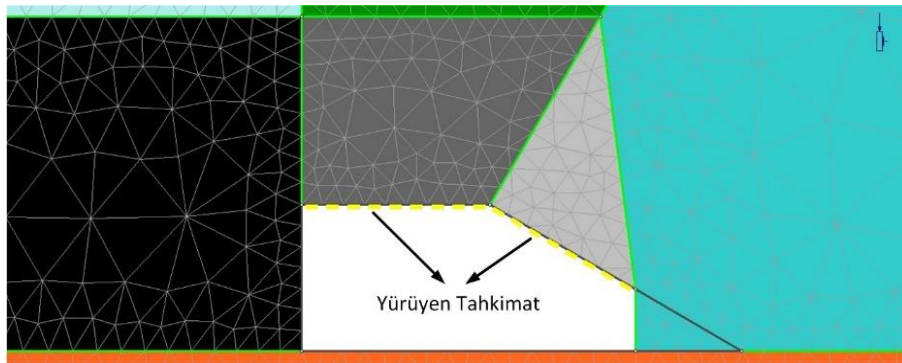
göçme mesafesi 30,50 m, göçük kırılma açısı ise 60^0 olarak modellenmiştir (Şekil 6.15), (Das, 2000).



Şekil 6.15 Modelde oluşturulan göçme mesafesi ve kırılma açısı

6.6 Yürüyen Tahkimatın Modelde Temsil Edilmesi

Oluşturulan saha modellerinin tümünde, ayak içinde yürüyen tahkimatı temsil etmesi için tavana ve göçük bölgesine liner tahkimat uygulanmıştır. Liner tahkimat uygulaması, yürüyen tahkimatlarda olduğu gibi tavandan ve göçükten gelen yüklere karşı direnç gösteren bir yapının modele eklenmesi temeline dayanmaktadır. Yürüyen tahkimatın üretici firmasının ilgili mühendisiyle yapılan yazışmaların sonucunda; tavan sarması ve göçük sarmasında kullanılan çelik tipinin Q460 olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, modelde kullanılan bu tahkimatın özellikleri Q460 çelik özellikleri (Tablo 7.2) olarak girilmiştir (Wang ve diğer., 2015). Tahkimatın uygulanma bölgeleri Şekil 6.16'de verilmiştir.



Şekil 6.16 Tavan ve göçük bölgesinde yürüyen tahkimatın temsil edilmesi

6.7 Tabaka Yüklerinin Modellenmesi

Oluşturulan saha modellerinde 10 adet farklı bölge tanımlanmıştır. Bu bölgelerde bulunan kaya kütlelerinin üzerine gelen yük tipleri ise analiz sonucunda en doğru sonuçları elde etmek için bölgelerin konumlarına göre farklı seçilmiştir. Tablo 6.4’de bölgeler üzerinde oluşan yük tipleri gösterilmiştir.

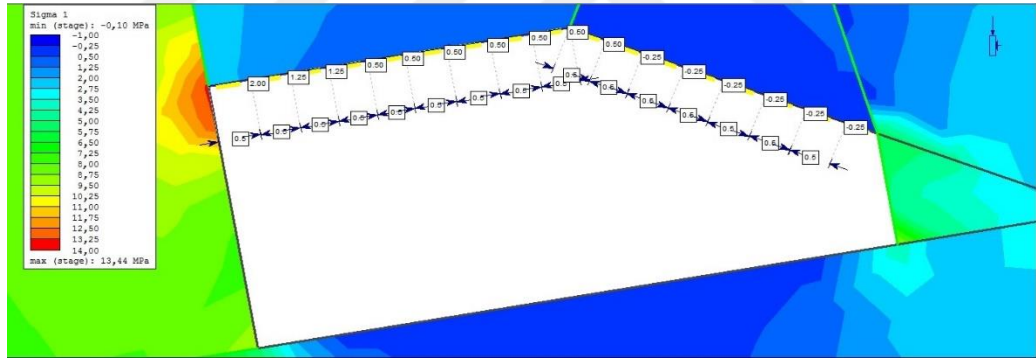
Tablo 6.4 Modelde oluşturulan bölgelere gelen yükler

Formasyon	Yük Tipi
Yalancı tavan	Arazi yükü + kütle yükü
Kırılma zonu	Arazi yükü + kütle yükü
Taban taşı	Arazi yükü + kütle yükü
Tavan taşı	Arazi yükü + kütle yükü
Kömür	Arazi yükü + kütle yükü
Ferahlamış zon	Kütle yükü
Yeni göçük	Kütle yükü
Sıkışmış göçük	Arazi yükü + kütle yükü
İyi sıkışmış göçük	Arazi yükü + kütle yükü
Ayak arkası kömürü	Kütle yükü

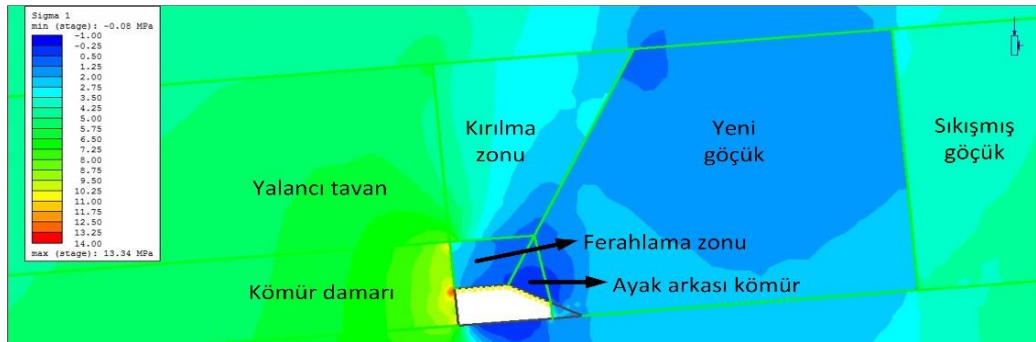
Burada, kömür damarı üzerinde bulunan ve ferahlamış zon ve ayak arkası kömürü olarak adlandırılan bölgelerin kırılmış ve tavandan ayrılmış olmasından dolayı bu bölgelere gelen yük sadece o bölgelerin kendi yükü olarak alınmıştır. Aynı şekilde yeni göçüğün de kırılarak tavan tabakasından tamamen ayrılmasından dolayı bu bölgeye gelen yük, sadece o bölgenin kendi yükü olarak alınmıştır. Göçüğün arka taraflara doğru sıkışmaya başlaması ve tavanla tekrar temasa geçmesi sonucunda meydana gelen sıkışmış göçüğün ve iyi sıkışmış göçüğün üzerine gelen yükler ise, arazi yükü ve kendi yükü olarak seçilmiştir.

6.8 Tahkimat Üzerine Gelen Yüklerin Hesaplanması

Farklı özelliklerdeki formasyonlara ait verilerin girilmesi, çalışma yüksekliklerinin ve eğimlerinin ayarlanması, tahkimatın çalışma yüksekliğine göre ayak için modellenmesi ve yürüyen tahkimatın modelde temsil edilmesi işlemlerinden sonra oluşturulan saha modeli, gerilme analizi işlemi için hazır hale gelmektedir. Farklı eğimlerde ve çalışma yüksekliklerinde hazırlanan uzun ayak modelleri çalıştırılarak her modelde, tavan ve göçük bölgesinde meydana gelen ortalama gerilmeler hesaplanmıştır. Oluşturulan 27 adet uzun ayak modelinde yürüyen tahkimatın tavan ve göçük sarmasının tavan tabakası ile temas ettiği bölgeler, daha hassas bir sonuç için 50 cm aralıklara bölünmüştür (Şekil 6.17). Her bir aralıktan gerilme değerleri okunmuş ve bu gerilme değerlerinin ortalaması alınmıştır. 3,5 m çalışma yüksekliğinde ve meyil aşağı 20^0 olarak modellenen bir uzun ayak etrafında oluşan genel gerilme dağılımı Şekil 6.18’de verilmiştir.



Şekil 6.17 Tavan ve göçük bölgesinin 50 cm aralıklara bölünerek gerilmelerin ölçülmesi



Şekil 6.18 Ayak boşluğu etrafında meydana gelen gerilmeler

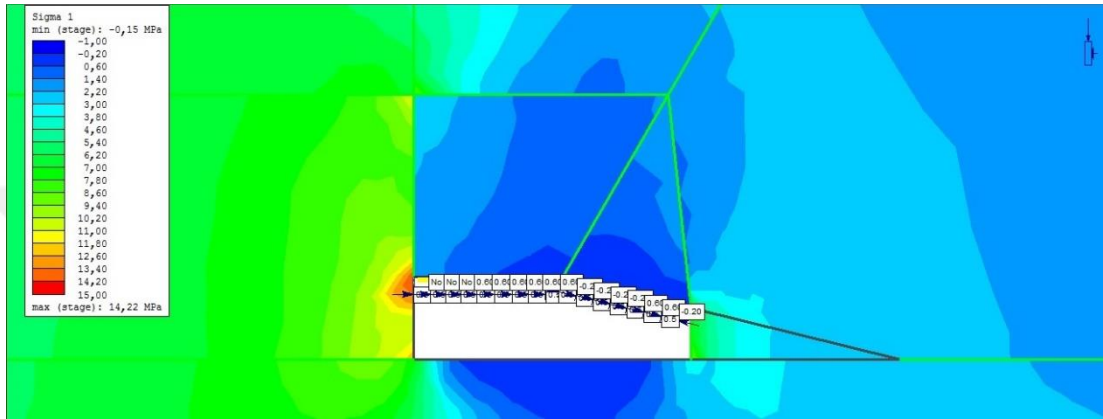
Gerilme analizi sonucunda tavan sarması ve göçük sarması üstünde meydana gelen ortalama gerilme değerleri toplu olarak Tablo 6.5’de verilmiştir. Tablo üzerinde anlatımı sadeleştirmek amacıyla her bir modele durum numarası atanmıştır.

Tablo 6.5 Farklı çalışma yükseklikleri ve eğimlerde meydana gelen gerilmeler

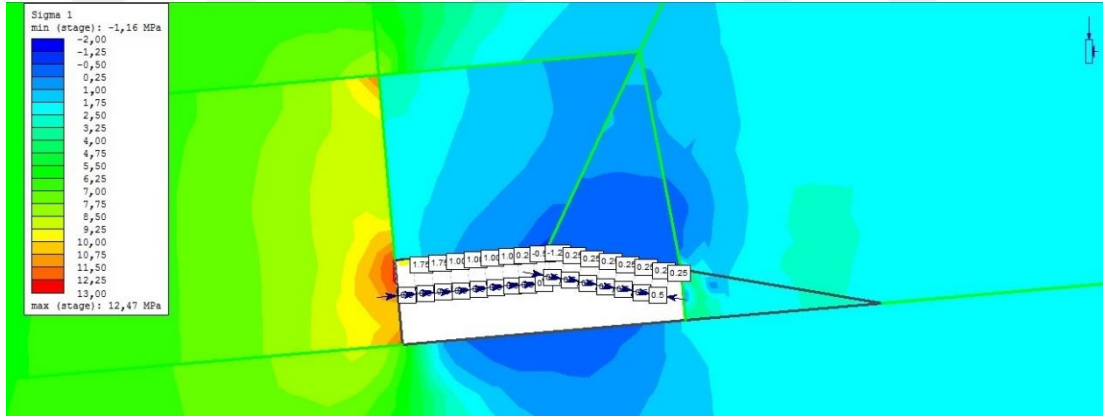
Durum	Eğim (°)	Tahkimat Çalışma Yüksekliği (m)	Ortalama Gerilme (MPa)	
			Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde
1	-20	2,5	0,80	0,00
2	-15		0,87	0,19
3	-10		0,87	0,09
4	-5		0,60	0,00
5	0		0,84	0,05
6	5		0,88	0,10
7	10		0,86	0,20
8	15		0,62	0,23
9	20		0,50	0,21
10	-20	3	0,77	0,15
11	-15		1,01	0,00
12	-10		0,78	0,05
13	-5		0,92	0,14
14	0		0,31	0,00
15	5		0,90	0,10
16	10		0,42	0,00
17	15		0,71	0,23
18	20		0,70	0,26
19	-20	3,5	0,87	0,00
20	-15		0,78	0,20
21	-10		0,87	0,00
22	-5		1,00	0,00
23	0		0,70	0,00
24	5		0,58	0,00
25	10		0,80	0,00
26	15		0,76	0,24
27	20		0,81	0,05

6.8.1 Sonuçların Değerlendirilmesi

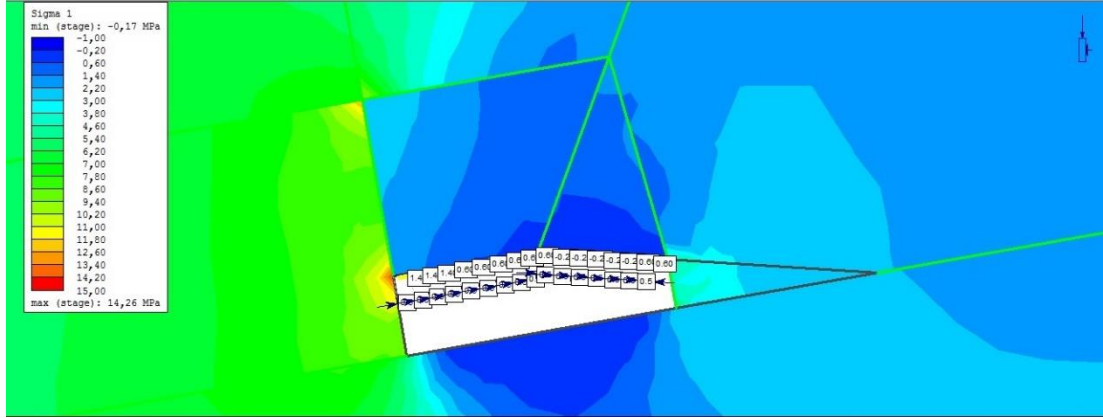
Farklı çalışma yükseklikleri ve eğimlerinde tavan sarması ve göçük sarması üstünde meydana gelen gerilmeler tüm modeller için aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Gerilmelerin çalışma yükseklikleri ve çalışma eğimlerine göre değişimleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



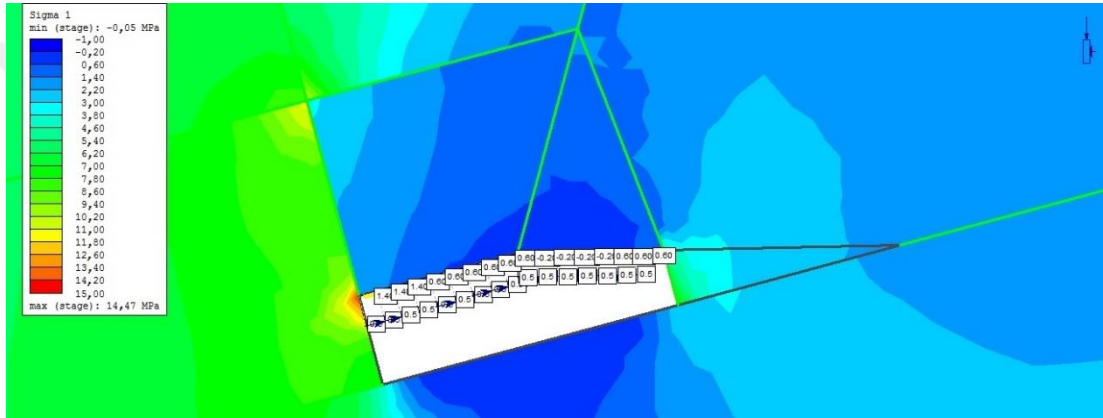
Şekil 6.19 2,5 metre çalışma yüksekliği ve 0° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



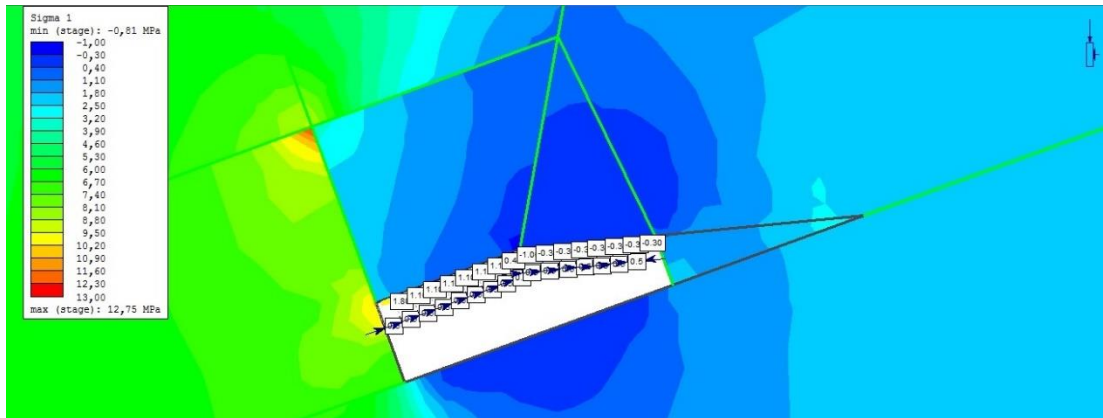
Şekil 6.20 2,5 metre çalışma yüksekliği ve -5° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



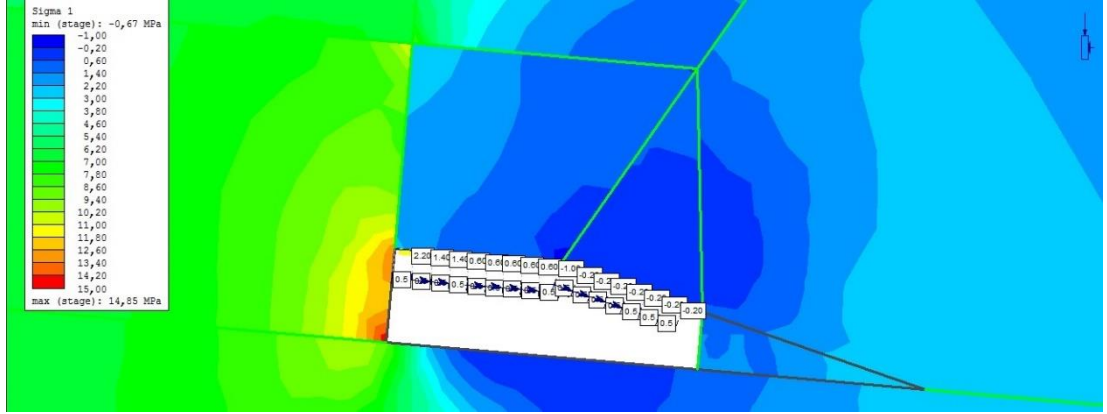
Şekil 6.21 2,5 metre çalışma yüksekliği ve -10° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



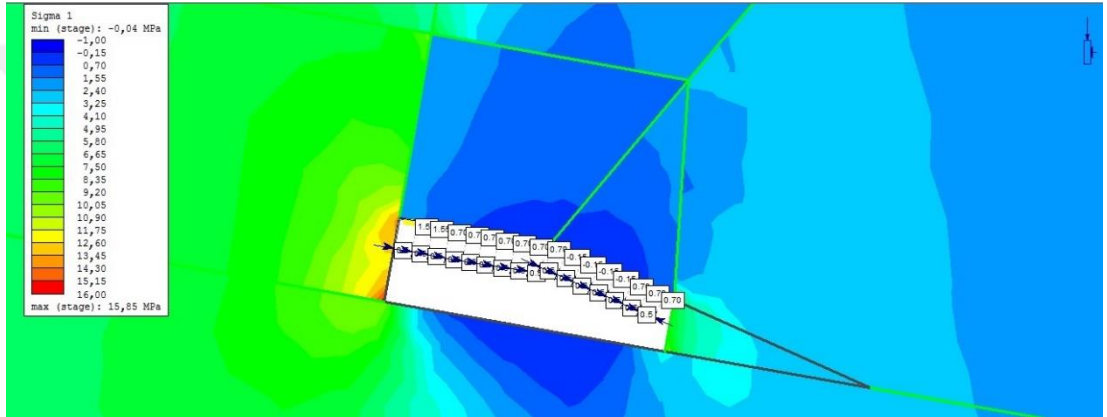
Şekil 6.22 2,5 metre çalışma yüksekliği ve -15° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



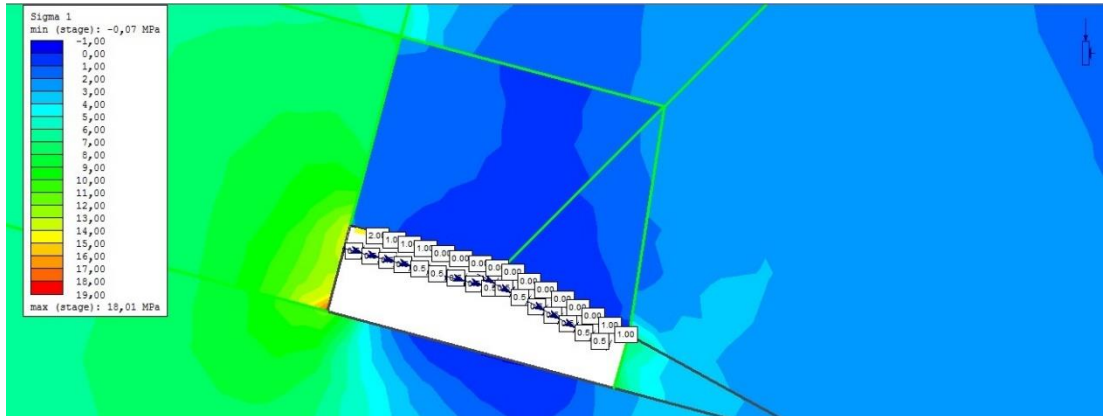
Şekil 6.23 2,5 metre çalışma yüksekliği ve -20° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



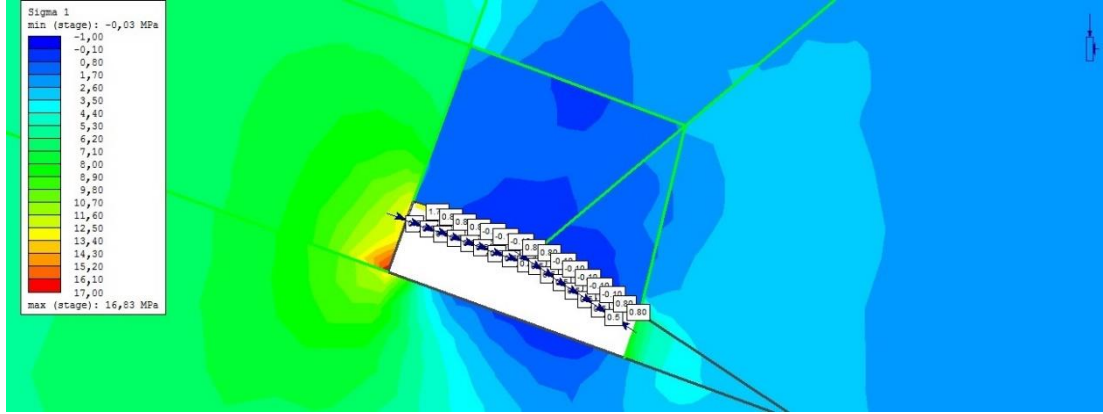
Şekil 6.24 2,5 metre çalışma yüksekliği ve 5° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



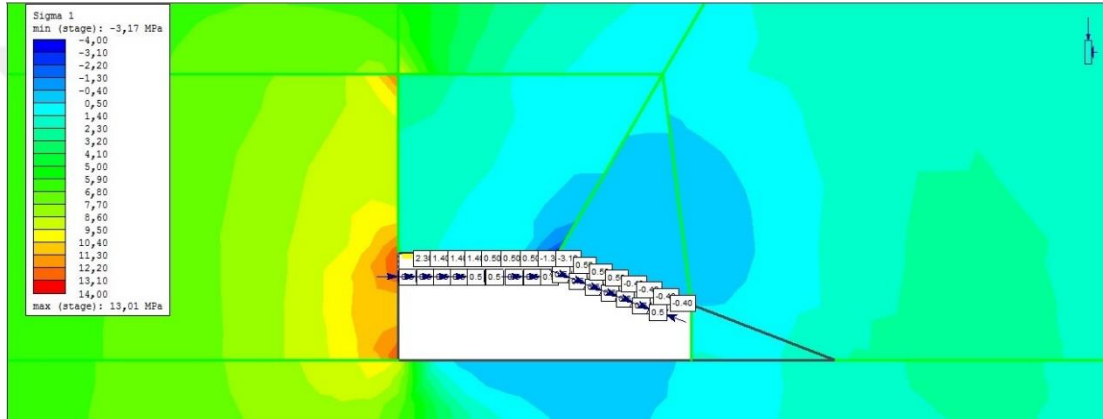
Şekil 6.25 2,5 metre çalışma yüksekliği ve 10° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



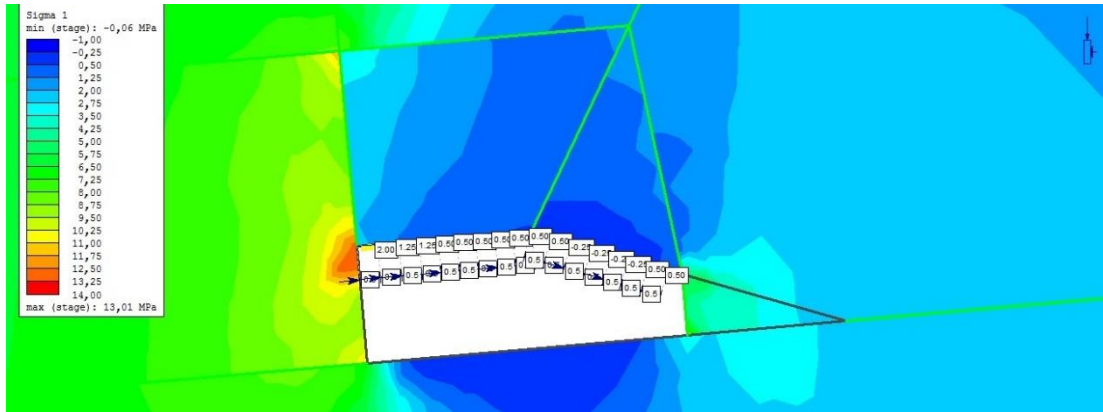
Şekil 6.26 2,5 metre çalışma yüksekliği ve 15° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



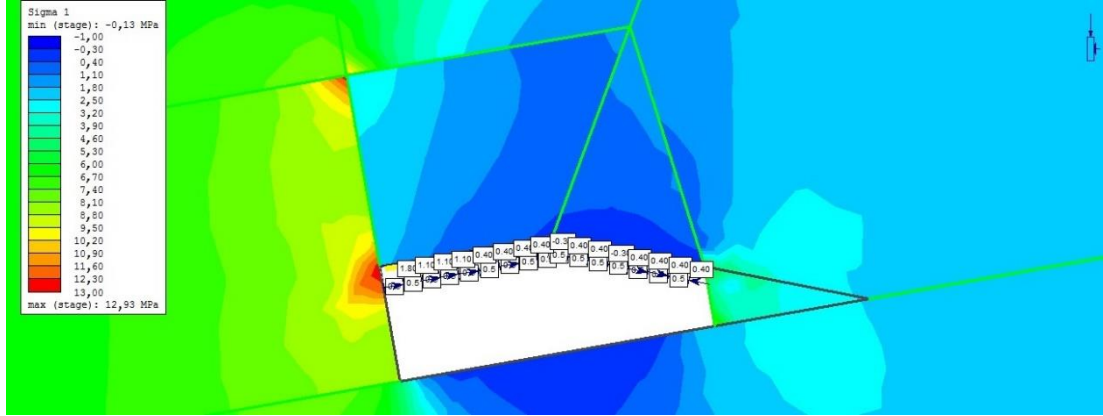
Şekil 6.27 2,5 metre çalışma yüksekliği ve 20° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



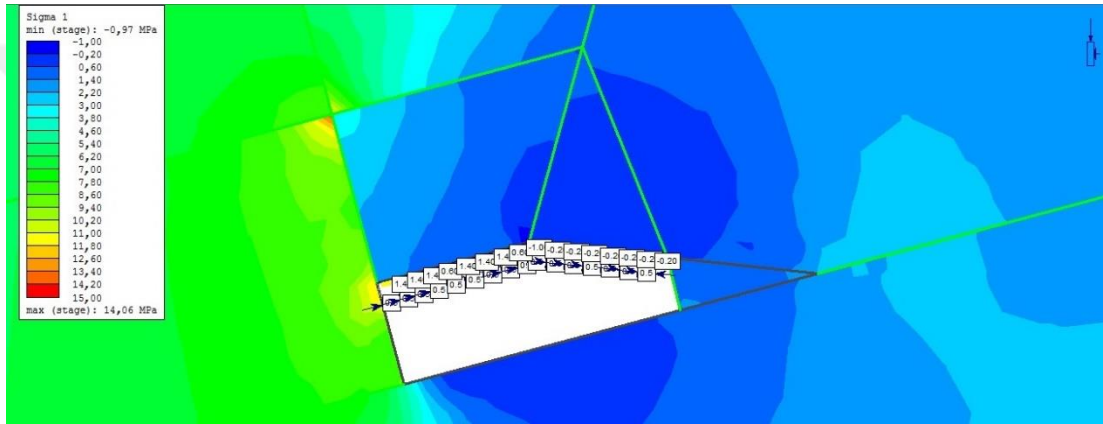
Şekil 6.28 3 metre çalışma yüksekliği ve 0° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



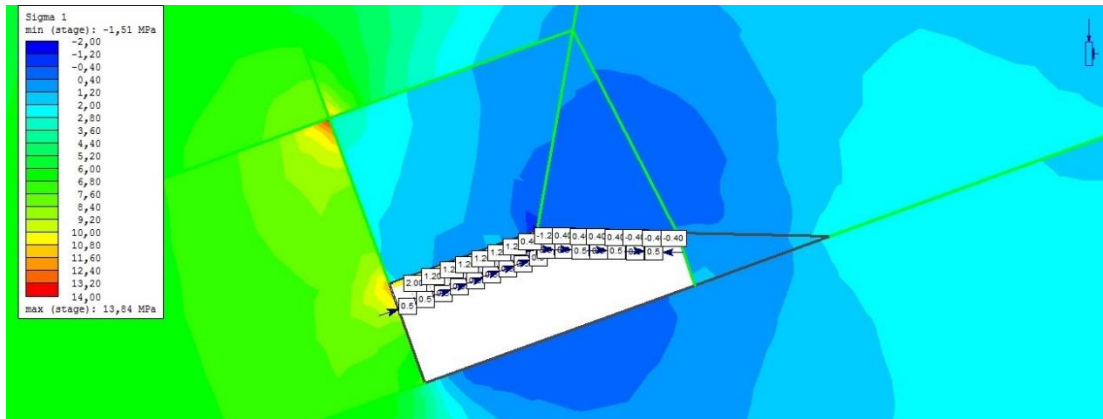
Şekil 6.29 3 metre çalışma yüksekliği ve -5° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



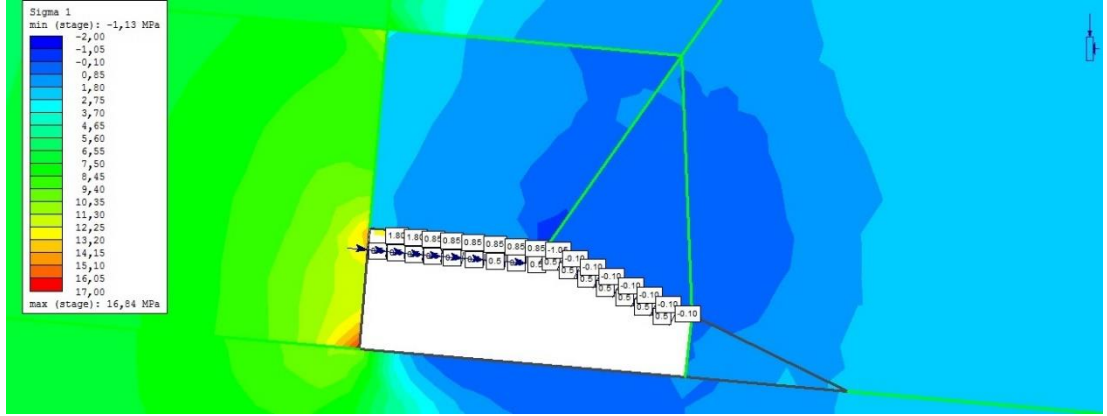
Şekil 6.30 3 metre çalışma yüksekliği ve -10° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



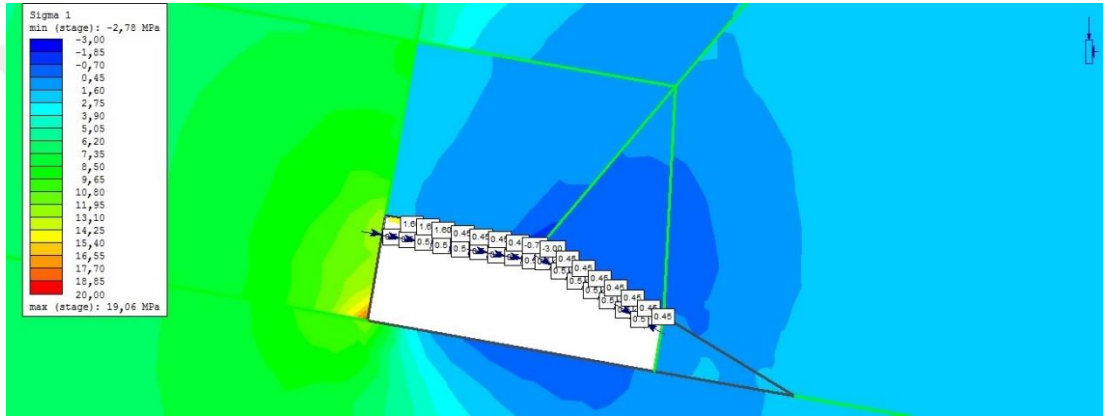
Şekil 6.31 3 metre çalışma yüksekliği ve -15° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



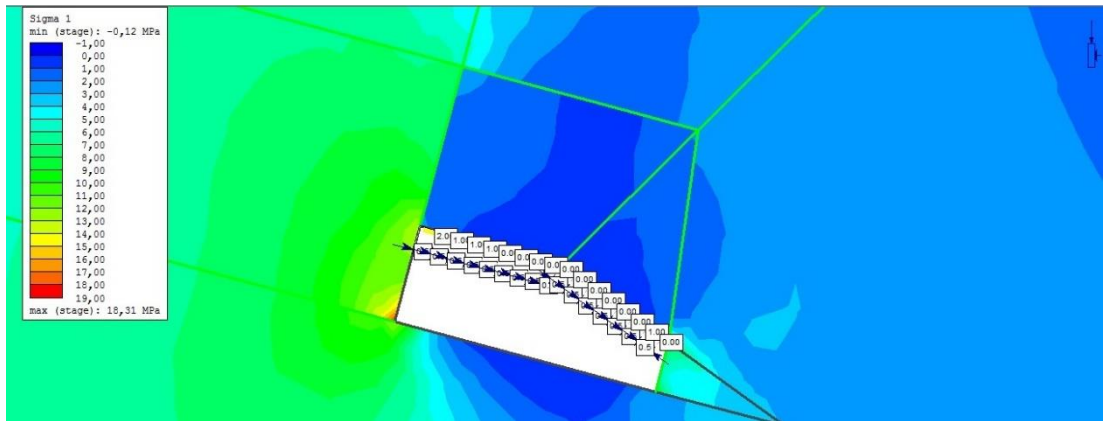
Şekil 6.32 3 metre çalışma yüksekliği ve -20° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



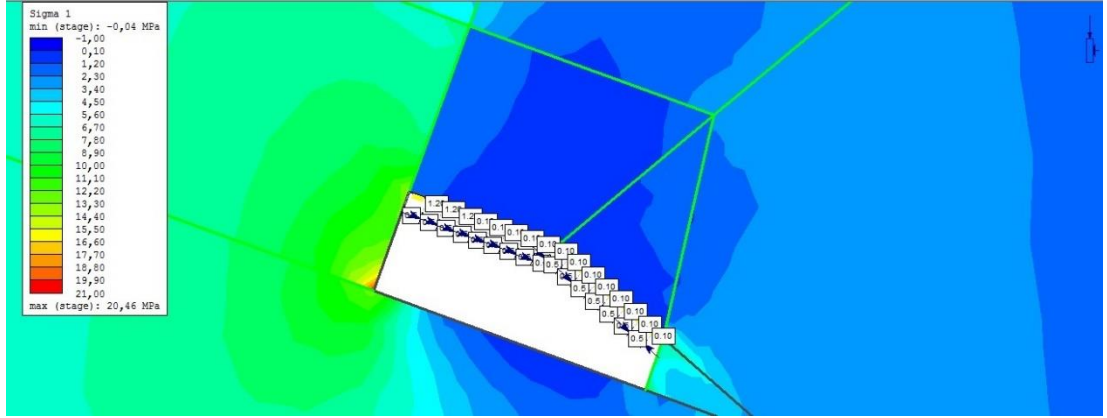
Şekil 6.33 3 metre çalışma yüksekliği ve 5° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



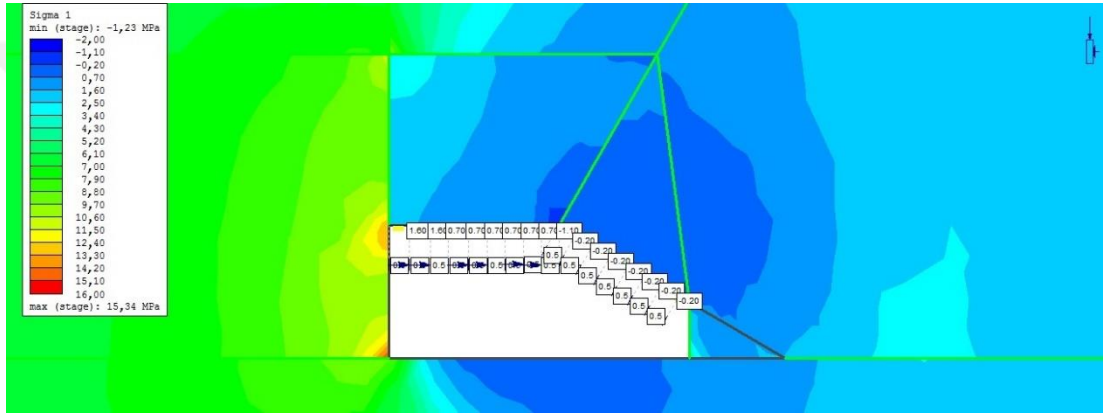
Şekil 6.34 3 metre çalışma yüksekliği ve 10° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



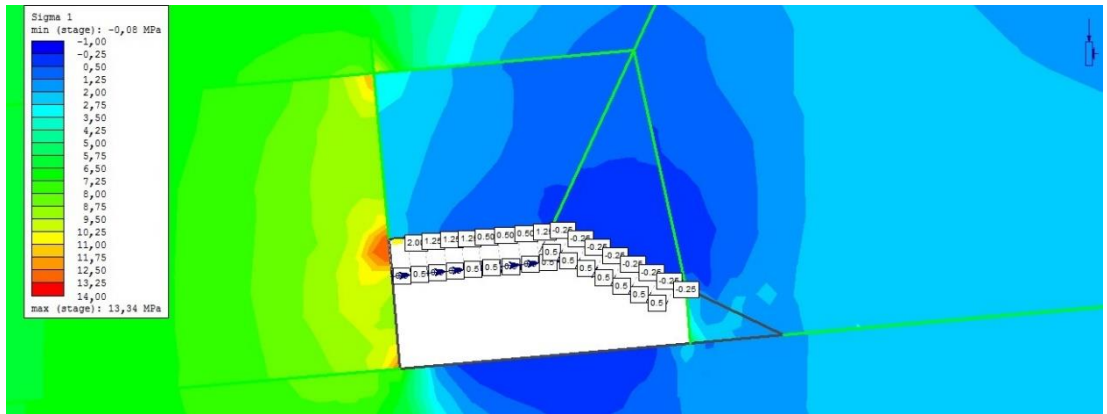
Şekil 6.35 3 metre çalışma yüksekliği ve 15° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



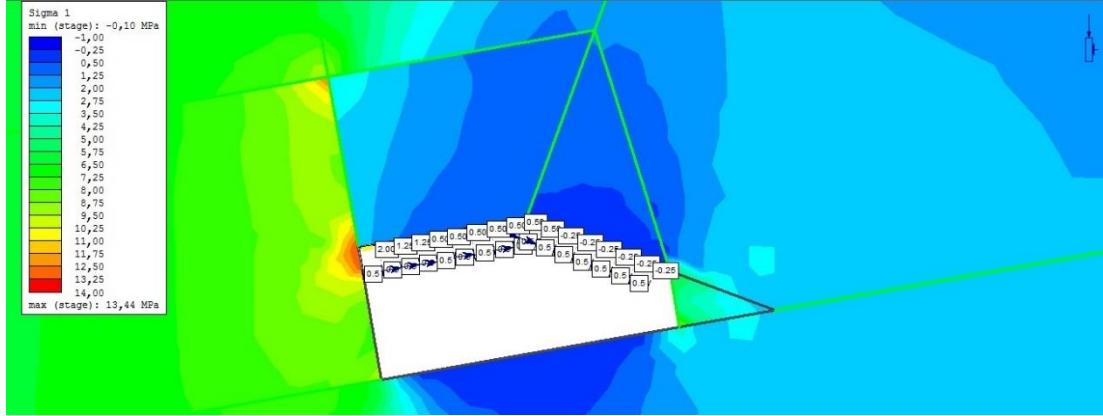
Şekil 6.36 3 metre çalışma yüksekliği ve 20° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



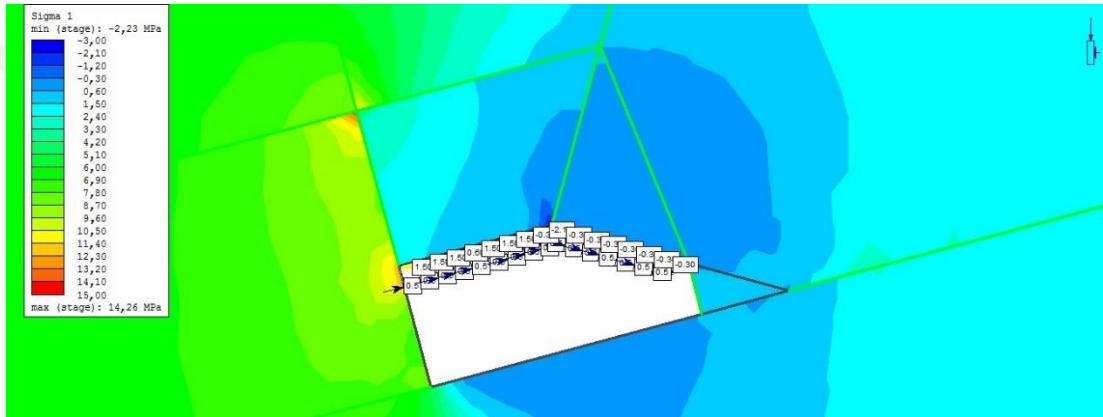
Şekil 6.37 3,5 metre çalışma yüksekliği ve 0° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



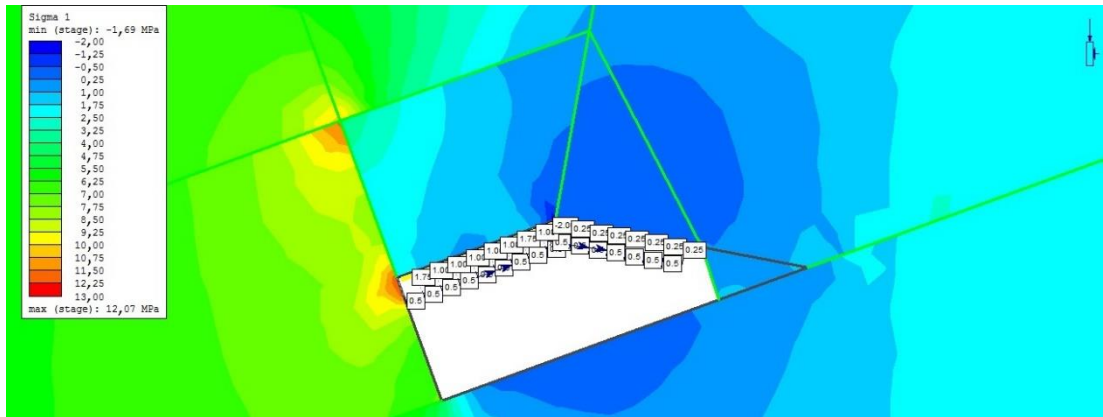
Şekil 6.38 3,5 metre çalışma yüksekliği ve -5° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



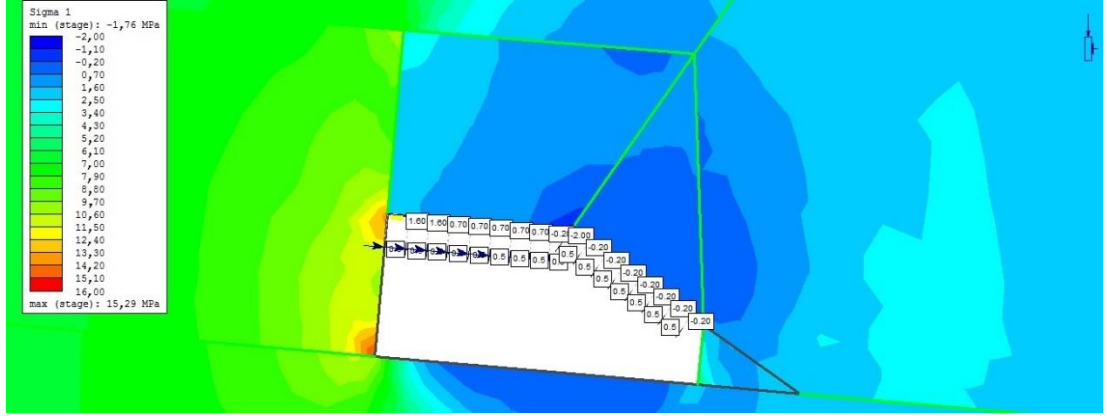
Şekil 6.39 3,5 metre çalışma yüksekliği ve -10° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



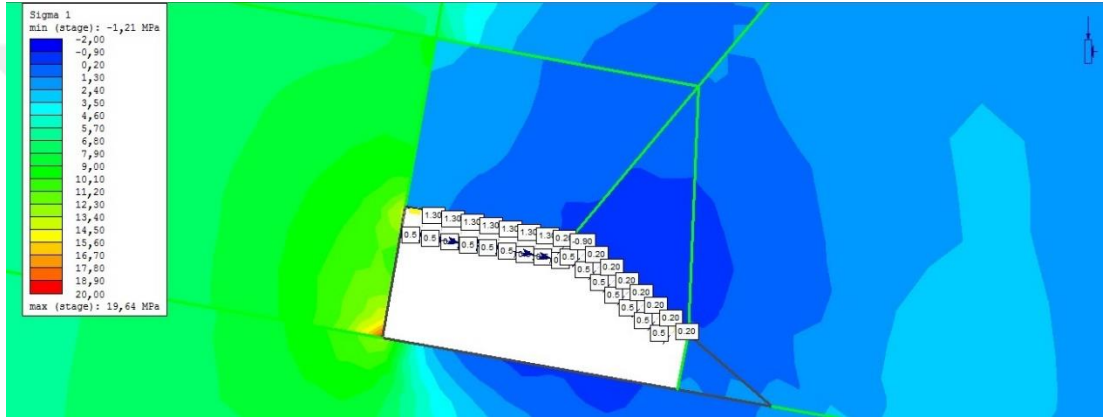
Şekil 6.40 3,5 metre çalışma yüksekliği ve -15° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



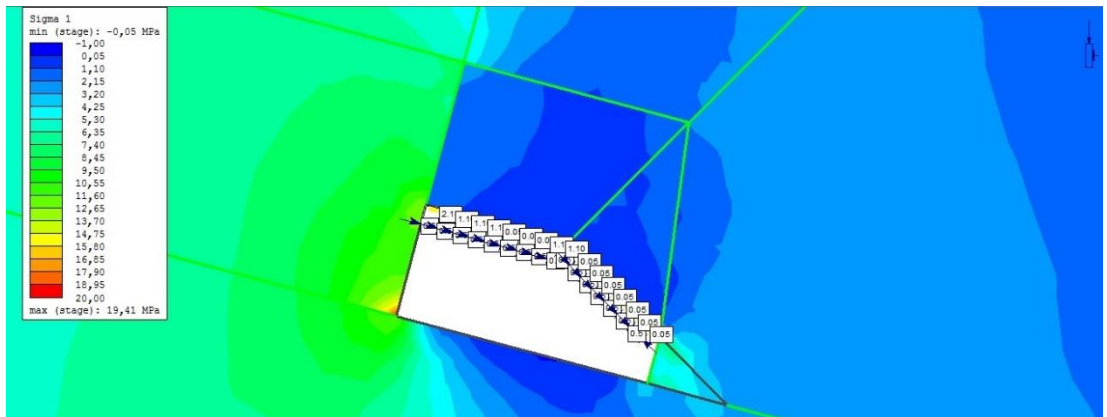
Şekil 6.41 3,5 metre çalışma yüksekliği ve -20° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



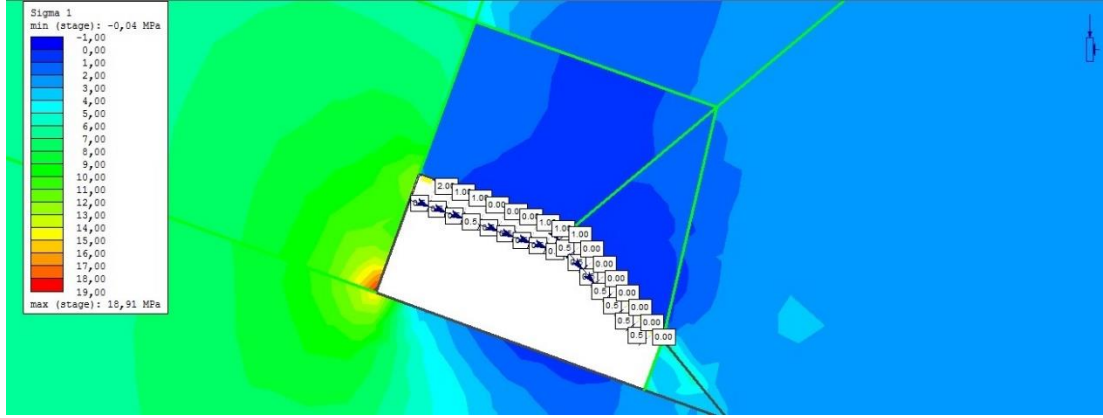
Şekil 6.42 3,5 metre çalışma yüksekliği ve 5° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



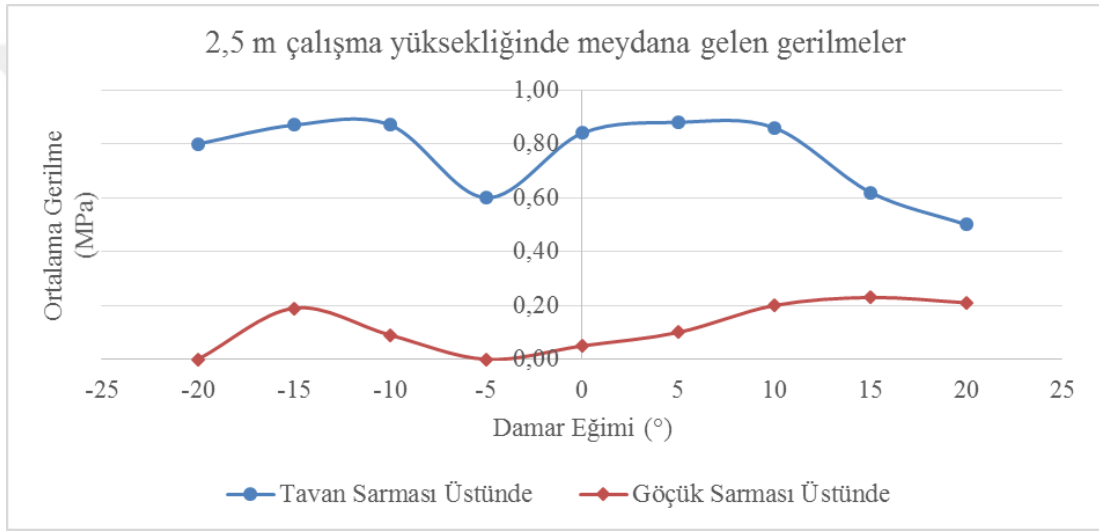
Şekil 6.43 3,5 metre çalışma yüksekliği ve 10° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



Şekil 6.44 3,5 metre çalışma yüksekliği ve 15° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



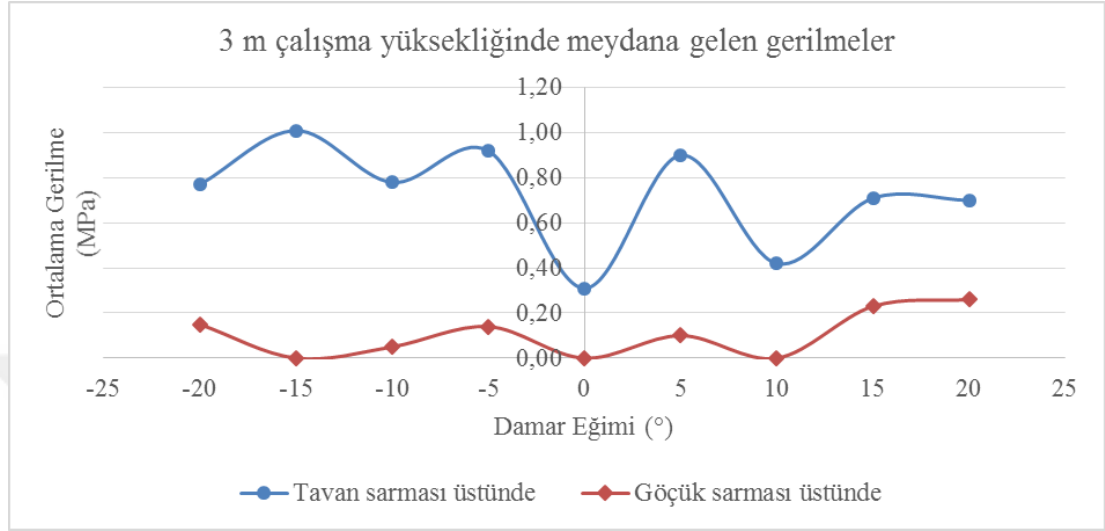
Şekil 6.45 3,5 metre çalışma yüksekliği ve 20° eğimde ayak boşluğu etrafında oluşan gerilmeler



Şekil 6.46 2,5 m çalışma yüksekliğinde meydana gelen gerilmeler

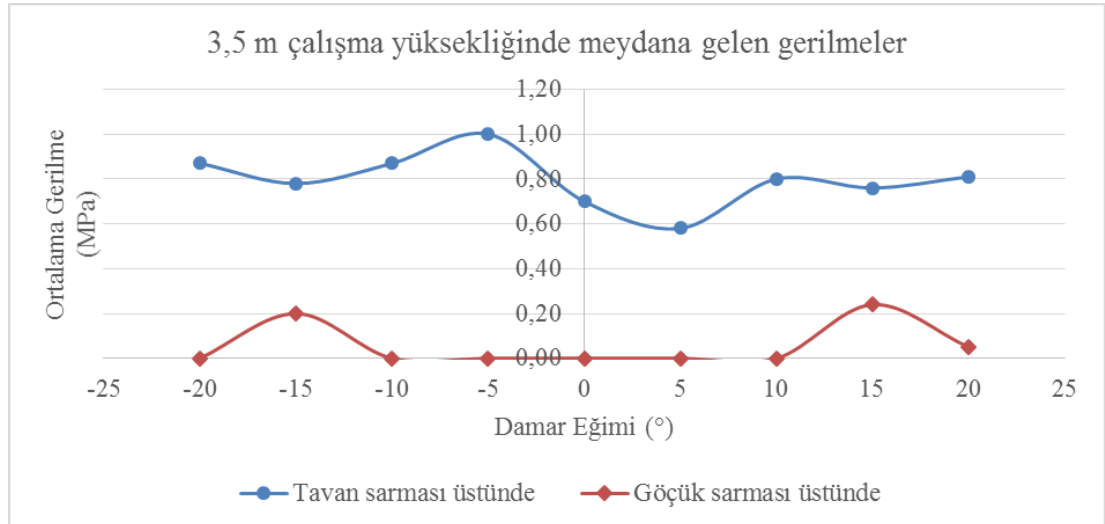
Tablo 6.5’de verilen değerlere bakıldığında 11. ve 22. durumlarında tavan sarması üzerindeki bölgede meydana gelen gerilmelerin tahkimatın esneme basıncının (Tablo 6.6) 0,94 MPa üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durumlarda tahkimatın kendisini korumaya almak için, sıkılama basıncına düşünceye kadar esneme yapması (hidrolik direğin basınç emniyet valfinin açılarak, basınç istenen değere gelesiye kadar basınçlı sıvı bırakılması) beklenmektedir. 2,5 m çalışma yüksekliğinde elde edilen sonuçlara bakıldığında (Şekil 6.46) meyil alçalma yönünde tavan sarması üzerindeki bölgede meydana gelen gerilmelerin 10° ve 15° eğimlerde arttığı, 5° ve 20° eğimlerde ilk duruma göre azaldığı görülmektedir. Meyil alçalma yönünde göçük sarması üzerindeki bölgede meydana gelen gerilmelerin tavan sarması üzerindeki bölgede olduğu gibi 10° ve 15° eğimlerde arttığı, 5° ve 20° eğimlerde ilk duruma göre azaldığı

görülmektedir. Meyil yükselme yönünde tavan sarması üzerindeki bölgede meydana gelen gerilmelerin genel olarak azaldığı, göçük sarması üzerindeki bölgede meydana gelen gerilmelerin ise genel olarak arttığı görülmektedir.



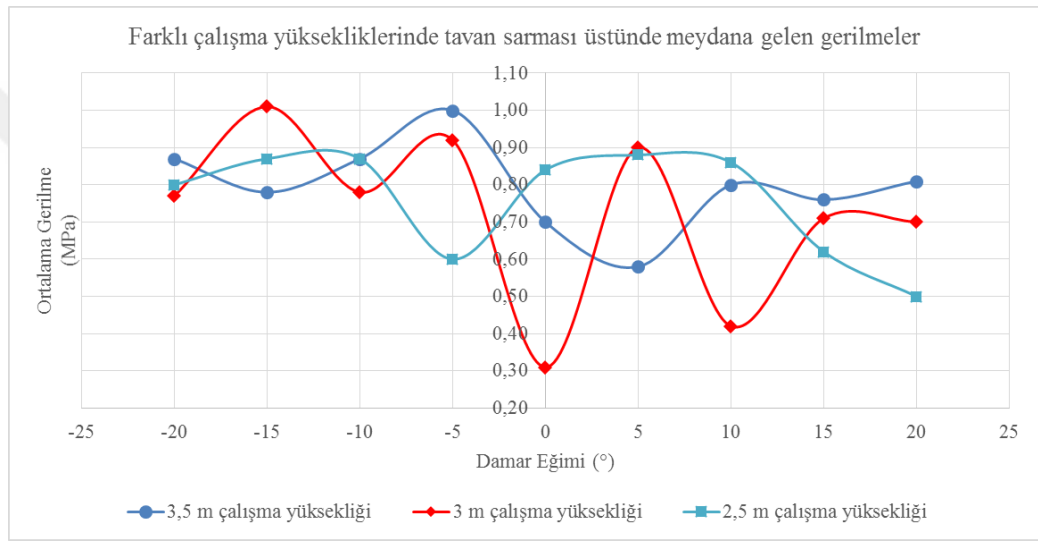
Şekil 6.47 3 m çalışma yüksekliğinde meydana gelen gerilmeler

Şekil 6.47’de verilen grafiğe bakıldığında, 3 m çalışma yüksekliğinde meyil alçalma ve yükselme yönünde tavan sarması ve göçük sarması üzerindeki bölgelerde meydana gelen gerilmelerin genel olarak arttığı görülmektedir.

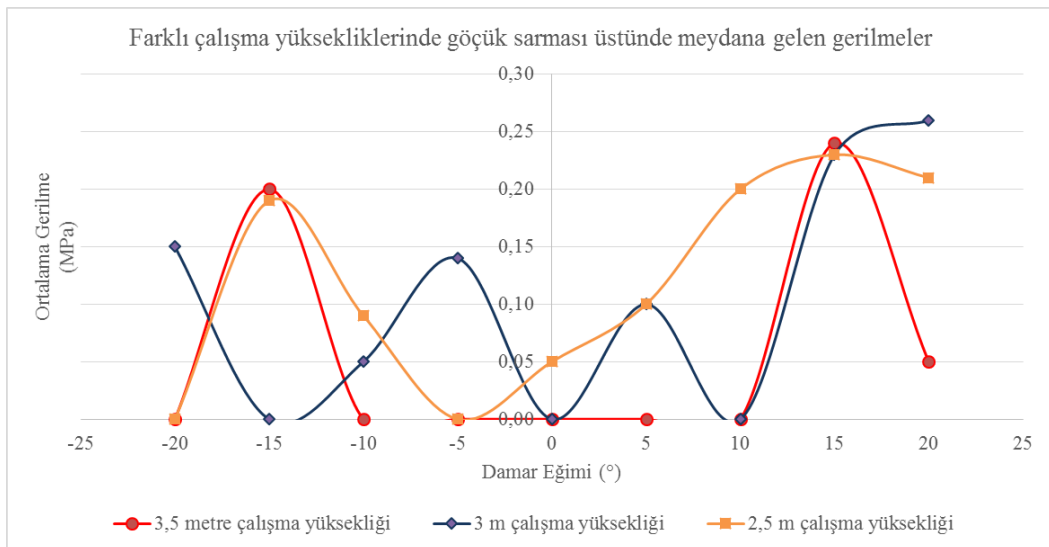


Şekil 6.48 3,5 m çalışma yüksekliğinde meydana gelen gerilmeler

Şekil 6.48’de verilen grafiğe bakıldığında, 3,5 m çalışma yüksekliğinde meyil alçalma yönünde tavan sarması üzerindeki bölgede meydana gelen gerilmelerin genel olarak arttığı, göçük sarması üzerindeki bölgede meydana gelen gerilmelerin sadece 15° eğimde artış gösterdiği, diğer durumlarda ise aynı kaldığı görülmektedir. Meyil yükselme yönünde tavan ve göçük sarması üzerindeki bölgelerde meydana gelen gerilmelerin genel olarak arttığı görülmektedir. Farklı çalışma yüksekliklerinde tavan sarması ve göçük sarması üzerindeki bölgelerde meydana gelen gerilmelerin grafiksel gösterimi toplu olarak Şekil 6.49 ve Şekil 6.50’de verilmiştir.



Şekil 6.49 Farklı çalışma yüksekliklerinde tavan sarması üstünde meydana gelen gerilmeler



Şekil 6.50 Farklı çalışma yüksekliklerinde göçük sarması üstünde meydana gelen gerilmeler

Tablo 6.6 Ayak içi ve geçiş tahkimatının sıkılama ve esneme yükleri altındaki dayanımları

Tahkimat Türü	Yük Türü	Çalışma Yükleri		Tavan Sarmasının			Tahkimat Dayanımı (MPa)
		kN	Ton	Uzunluğu (m)	Genişliği (m)	Alanı (m ²)	
Ayak içi yürüyen tahkimat	Sıkılama yükü	6280	640,06	4,50	1,75	7,8750	0,81
	Esneme yükü	7264	740,35				0,94
Geçiş tahkimatı	Sıkılama yükü	10294	1049,60	4,55	1,75	7,9625	1,32
	Esneme yükü	12000	1223,04				1,54

Tüm saha modellerinden elde edilen sonuçlara bakıldığında, farklı çalışma yüksekliklerinde, meyil alçalma ve meyil yükselme yönünde eğim arttıkça tavan sarması ve göçük sarması üstündeki bölgelerde meydana gelen gerilmelerin genel olarak ilk duruma göre (0°) arttığı görülmektedir.

BÖLÜM YEDİ

TAHKİMATIN KATI MODELİNİN OLUŞTURULMASI

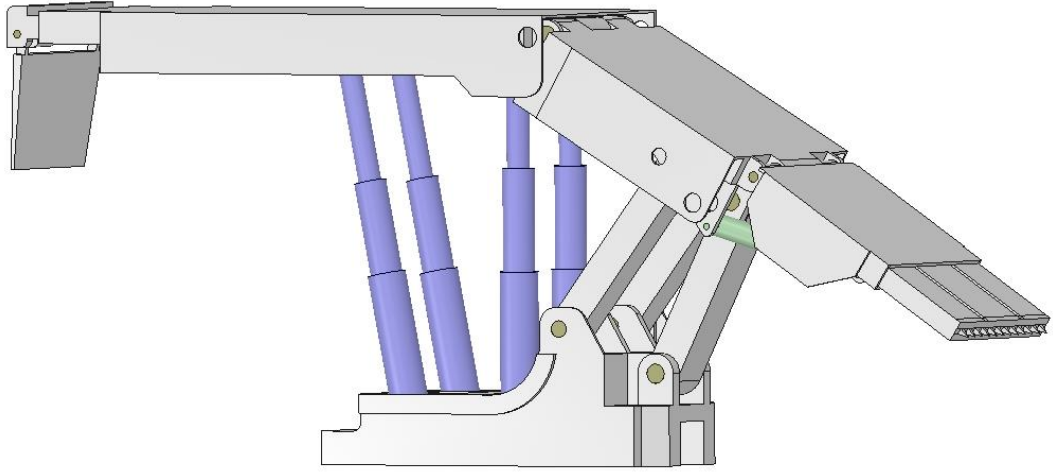
7.1 Giriş

Çalışmada kullanılan yürüyen tahkimatın katı modeli, sahada yapılan ölçümlere göre ve aslına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Böylece, yürüyen tahkimatı en iyi şekilde temsil eden bir katı model elde edilmiştir.

Yürüyen tahkimata ait katı modelin oluşturulmasında SpaceClaim modelleme yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım, temel olarak makina elemanlarının katı modelinin oluşturulmasında kullanılan bir modelleme programıdır.

Tahkimata ait katı modelin görüntüsü Şekil 7.1’de verilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde modelleme çalışmasının detaylarından bahsedilmiştir.

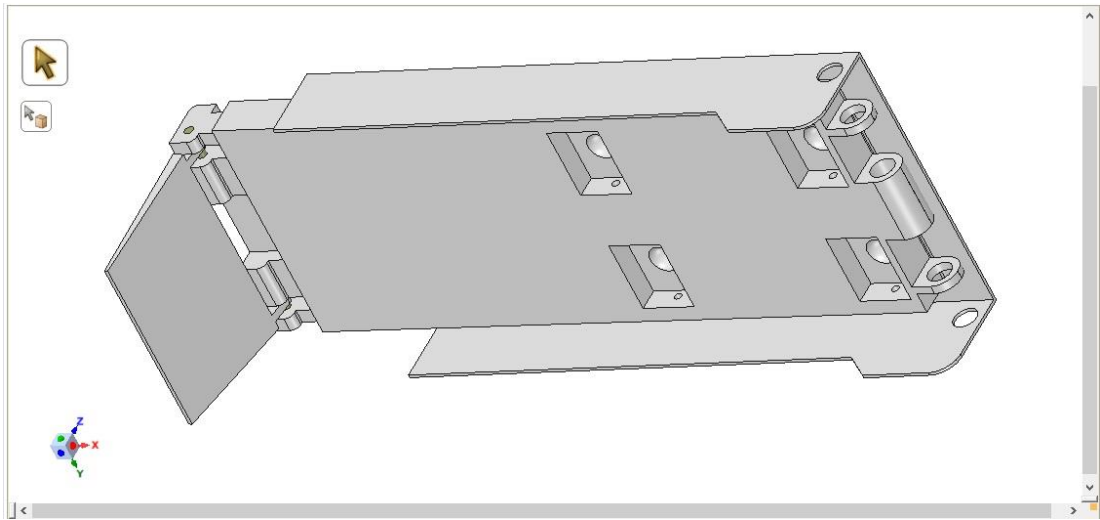
- 1- Tavan sarmasının modellenmesi
- 2- Taban şasisinin modellenmesi
- 3- Ana, hareketli ve uzatılabilir göçük sarmalarının modellenmesi
- 4- Ön ve arka hidrolik direklerin modellenmesi
- 5- Ön ve arka lemniskat bağlantıların modellenmesi
- 6- Bağlantı pimlerinin modellenmesi
- 7- Oluşturulan parçaların montajlanması
- 8- Malzeme özelliklerinin (elastisite modülü, Poisson oranı, yoğunluk vs.) modele girilmesi



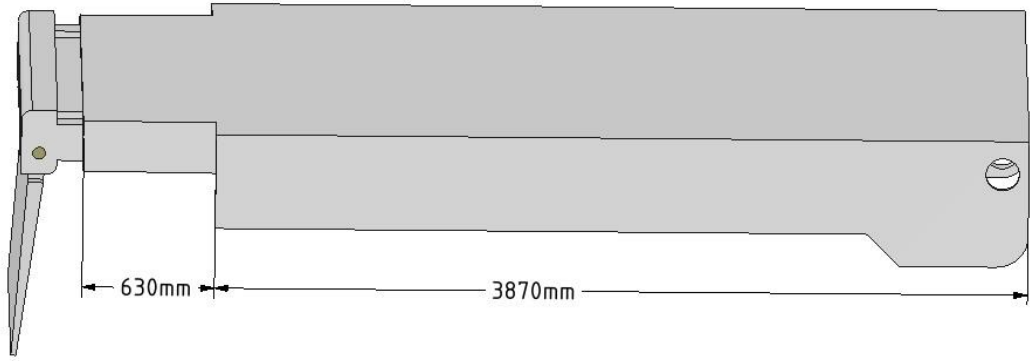
Şekil 7.1 Yürüyen tahkimatın katı modeli

7.2 Tavan Sarmasının Modellenmesi

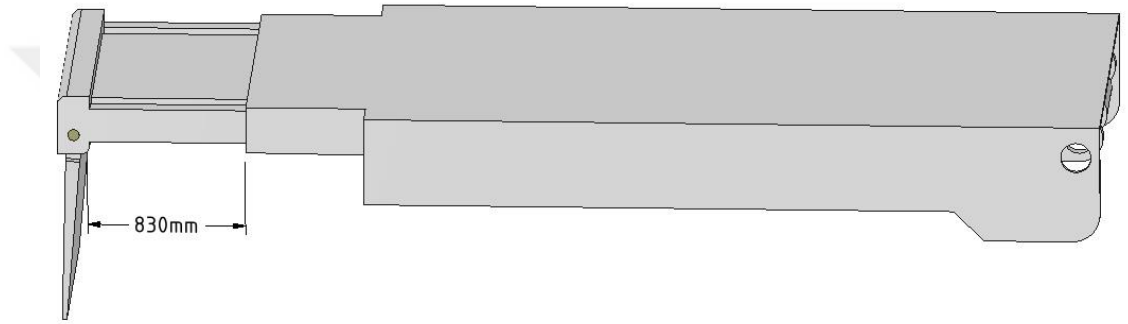
Yürüyen tahkimatın tavan sarması modellenirken sarma üzerinde bulunan bağlantı noktaları, bağlantı pimlerinin çapları ve yanlara doğru açılan kalkanın açılma miktarı gibi teknik veriler dikkate alınmıştır. Tavan sarması, yan kalkanlar açık vaziyette iken 1,90 m genişliğinde ve 4,5 m uzunluğunda, uzatılabilir tavan sarması ise 83 cm uzunluğunda modellenmiştir. Tavan sarması modeline ait ölçüler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 7.2 Tavan sarması katı modeli

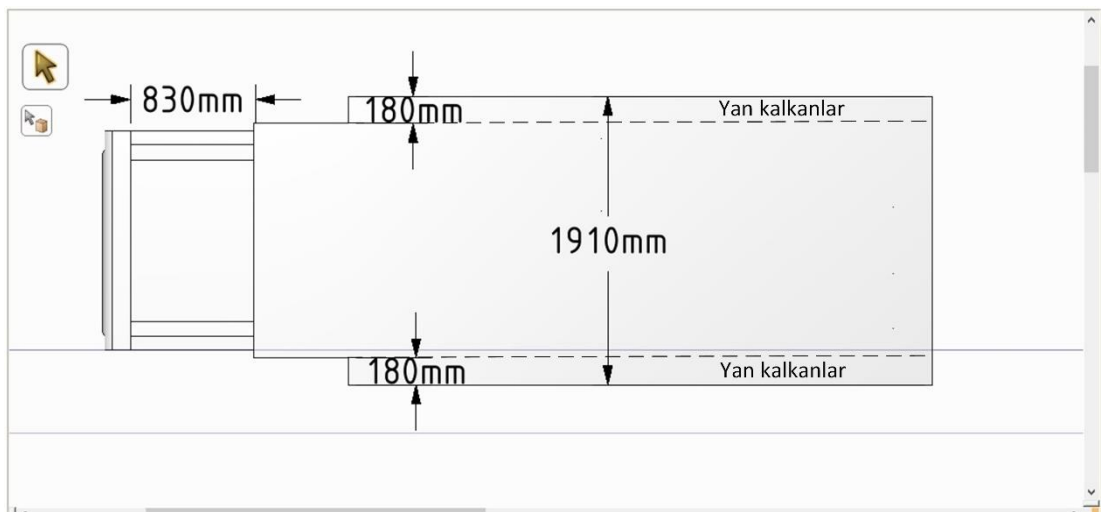


Şekil 7.3 Tavan sarması uzunluğu



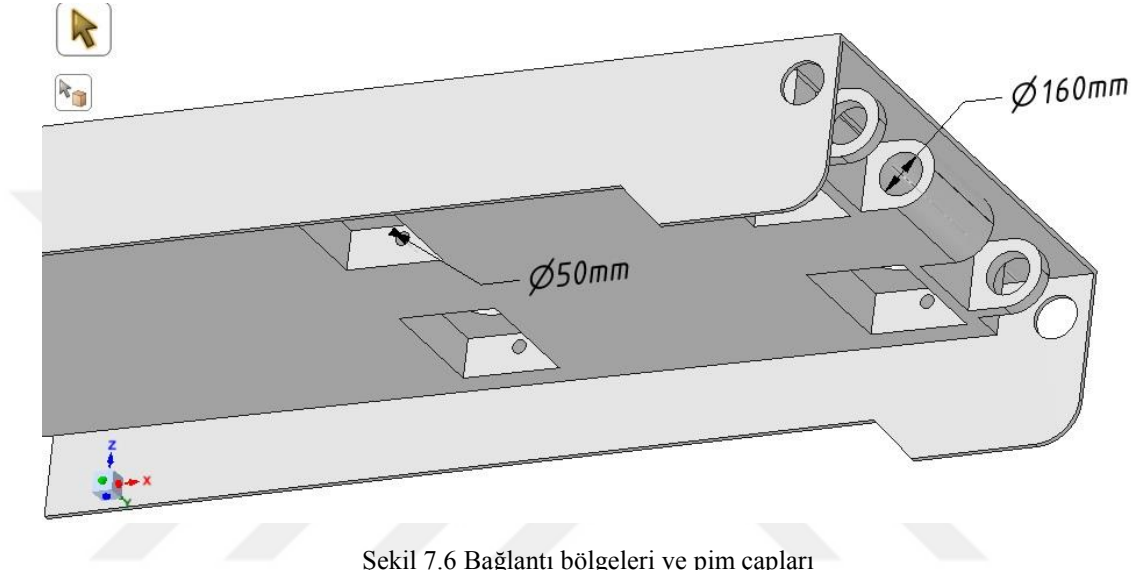
Şekil 7.4 Uzatılabilir sarma uzunluğu

Tavan sarması üzerinde bulunan yan kalkanlar maksimum 18 cm genişleyecek şekilde modellenmiştir (Şekil 7.5).



Şekil 7.5 Yan kalkanların model üzerinde gösterimi

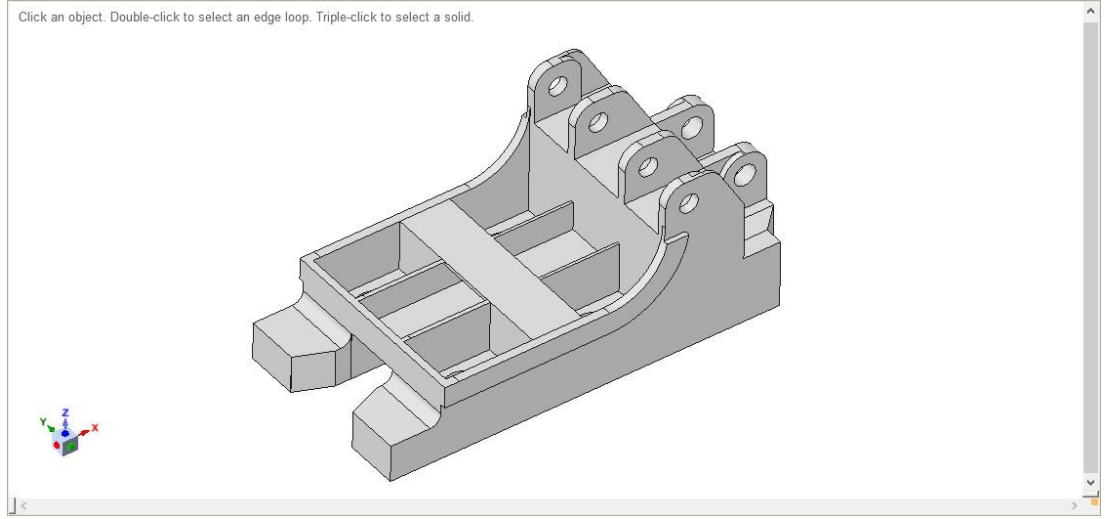
Tavan sarması üzerinde bulunan, hidrolik direkler ile tavan sarması ve tavan sarması ile göçük sarması arasındaki bağlantıyı sağlayan mafsalları model üzerinde gösterilmiştir. Hidrolik direkler ve tavan sarması arasındaki bağlantıyı sağlayan bağlantı pim yuvalarının çapları 5 cm, tavan sarması ile göçük sarması arasındaki bağlantıyı sağlayan pim yuvalarının çapları 16 cm olarak modellenmiştir (Şekil 7.6).



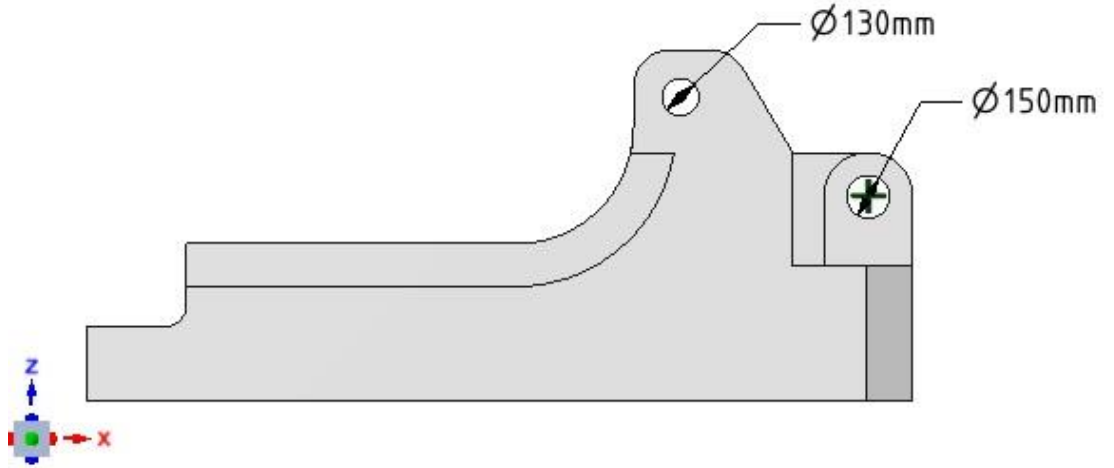
Şekil 7.6 Bağlantı bölgeleri ve pim çapları

7.3 Taban Şasisinin Modellenmesi

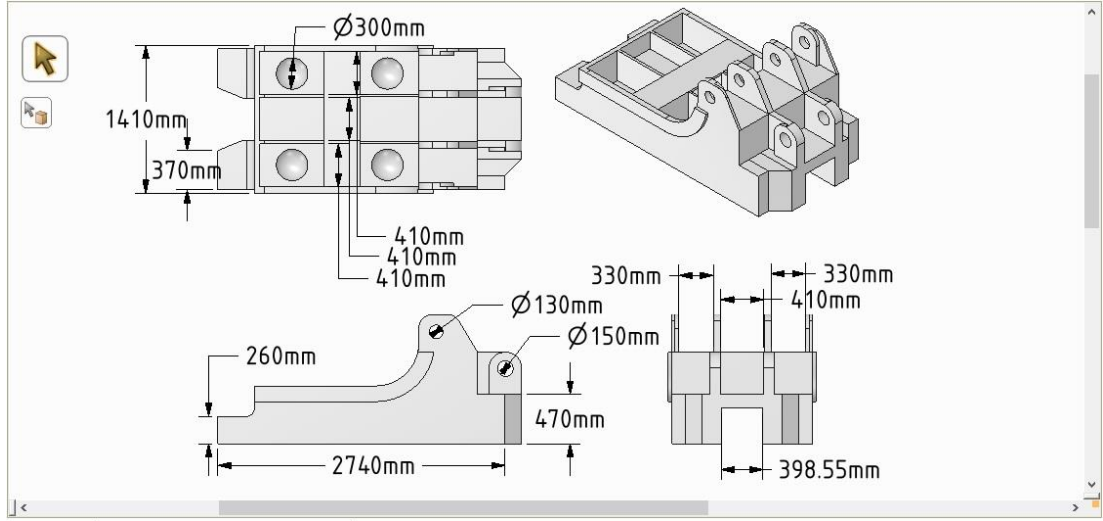
Yürüyen tahkimatın taban şasisinin modellenmesi sırasında, ön ve arka lemniskatların bağlantı noktalarında bulunan pim yuvalarının çapları ön lemniskatlar için 13 cm, arka lemniskatlar için 15 cm olacak şekilde modellenmiştir. Taban şasisinin katı modelinin görüntüsü Şekil 7.7’de verilmiştir. Taban şasisine ait tüm ölçüler Şekil 7.9’da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.7 Taban şasisine ait katı modelin görüntüsü



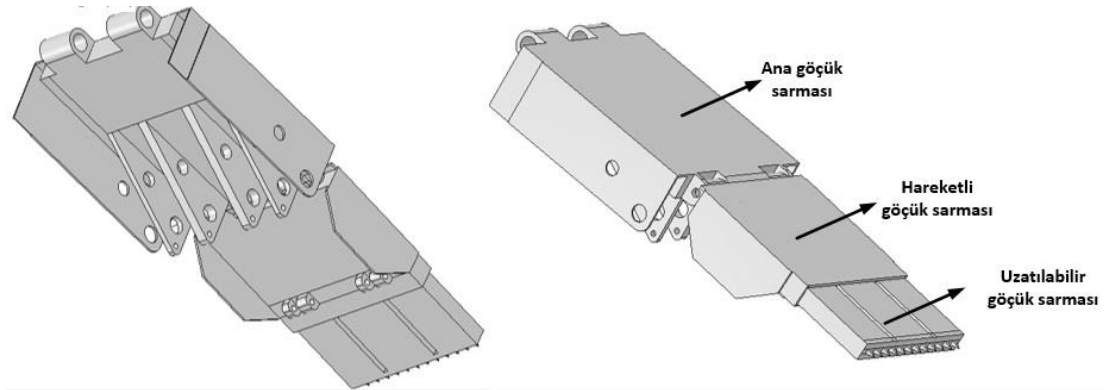
Şekil 7.8 Ön ve arka lemniskat bağlantıların pim yuvalarının çapları



Şekil 7.9 Taban şasisi katı modeline ait ölçüler

7.4 Ana, Hareketli ve Uzatılabilir Göçük Sarmalarının Modellenmesi

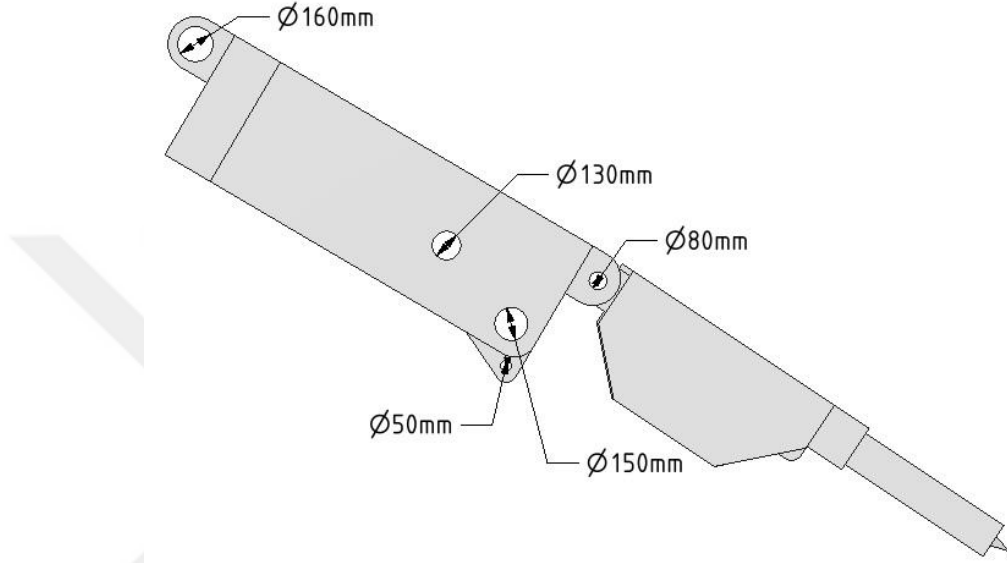
Katı modeli oluşturulan yürüyen tahkimatın göçük sarması; ana, hareketli ve uzatılabilir göçük sarması olmak üzere üç ayrı parçadan oluşmaktadır (Şekil 7.10). Ana göçük sarması ve hareketli göçük sarması birbirlerine pimlerle, hareketli göçük sarması ve uzatılabilir göçük sarması ise hidrolik pistonlar ile birbirlerine bağlıdır.



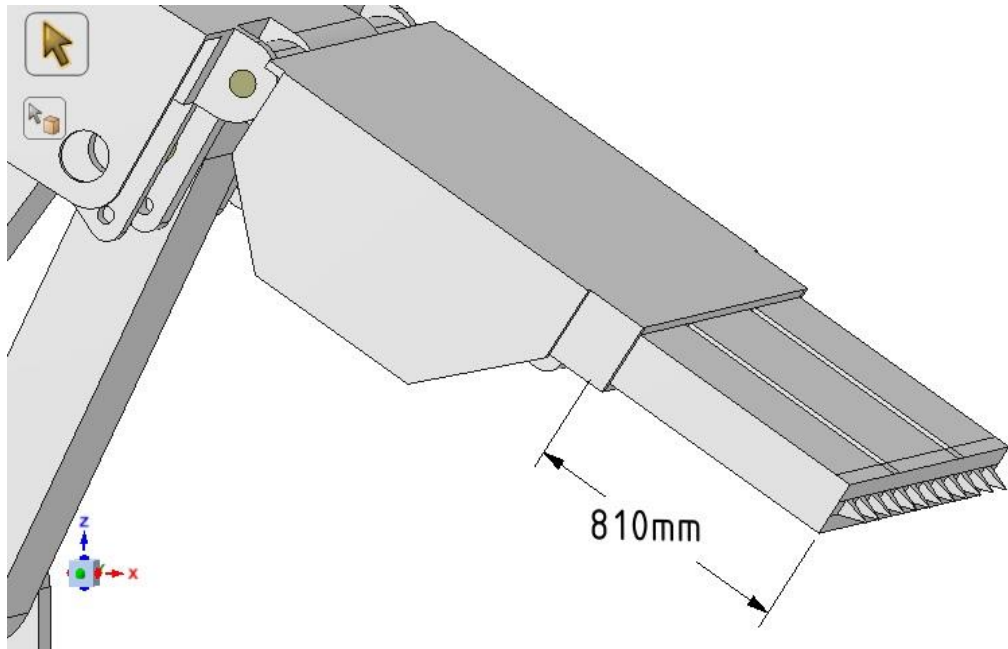
Şekil 7.10 Ana, hareketli ve uzatılabilir göçük sarması katı modelinin görüntüsü

Ana göçük sarması ve tavan sarmasını birbirine bağlayan bağlantı pim yuvasının çapı 16 cm, ana göçük sarması ile hareketli göçük sarmasını birbirine bağlayan bağlantı pim yuvasının çapı ise 8 cm olarak modellenmiştir. Ana göçük sarmasıyla taban şasisini birbirine bağlayan lemniskat bağlantıların pim yuvalarının çapları ön

lemniskatlar için 13 cm, arka lemniskat bağlantı için 15 cm olarak modellenmiştir. Hareketli göçük sarması ile uzatılabilir göçük sarması arasındaki bağlantıyı sağlayan hidrolik pistonların bağlantı pim yuvalarının çapları 5 cm olarak modellenmiştir (Şekil 7.11). Uzatılabilir göçük sarması uzunluğu ise 81 cm olarak modellenmiştir (Şekil 7.12).



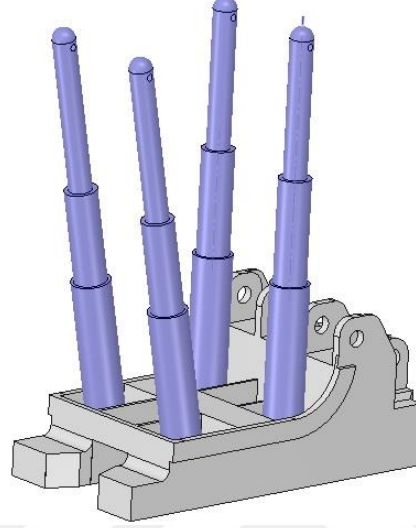
Şekil 7.11 Göçük sarmaları üzerinde bulunan bağlantı pim yuvalarının çapları



Şekil 7.12 Uzatılabilir sarma uzunluğu

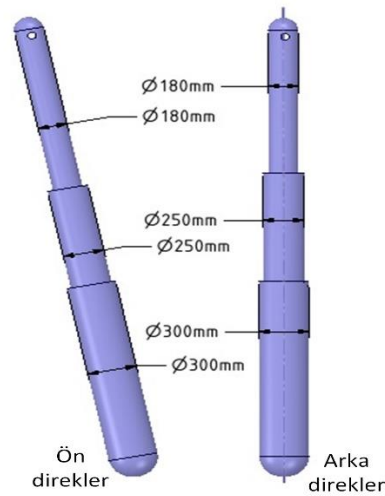
7.5 Ön ve Arka Hidrolik Direklerin Modellenmesi

Modellenen yürüyen tahkimat ünitesinde dört adet hidrolik direk vardır. Yürüyen tahkimatın hidrolik direklerinin katı modelinin görüntüsü Şekil 7.13’de verilmiştir.



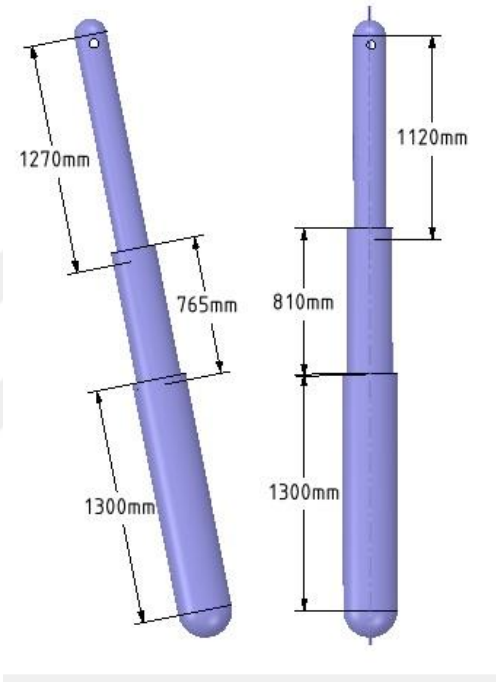
Şekil 7.13 Hidrolik direklerin katı modelinin görüntüsü

Hidrolik direklere ait katı modelde, ön ve arka hidrolik direkler iç içe geçmiş üç parçadan oluşmaktadır. Ön ve arka hidrolik direklerde en dıştaki silindirin dış çapı 30 cm, orta silindirin dış çapı 25 cm ve en içte bulunan pistonun dış çapı 18 cm olarak modellenmiştir (Şekil 7.14).



Şekil 7.14 Hidrolik direklerin çapları

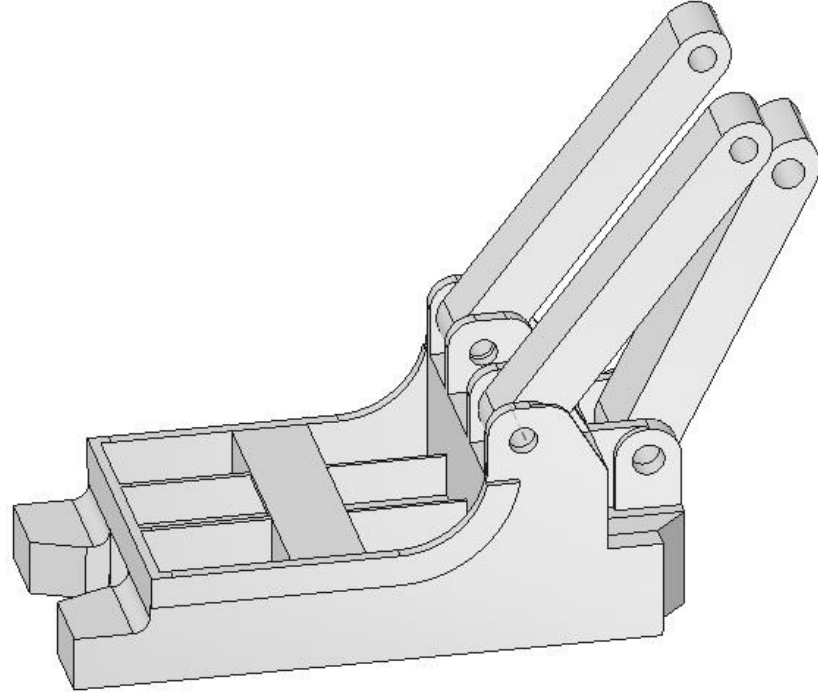
Yürüyen tahkimatın çalışma yüksekliğinde (3,5 m) açılması durumunda, ön hidrolik direklerde en üstte yer alan piston maksimum 127 cm, ortada yer alan silindir maksimum 76,5 cm mesafede açılmaktadır. Arka hidrolik direklerde en üstte bulunan piston maksimum 112 cm, ortada yer alan silindir maksimum 81 cm mesafede açılmaktadır. En alt pistonun uzunluğu ön ve arka direklerde eşit olup 130 cm boyundadır. Bu ölçüler dikkate alınarak hidrolik silindirlere modellenmiştir (Şekil 7.15).



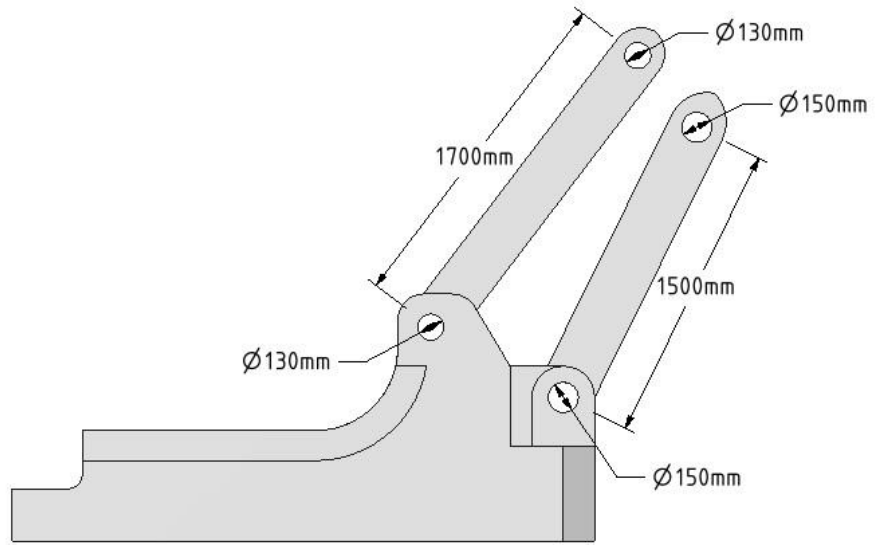
Şekil 7.15 Hidrolik silindirlere ait ölçüler

7.6 Ön ve Arka Lemniskat Bağlantılarının Modellenmesi

Lemniskat bağlantılara ait katı modelin görüntüsü Şekil 7.16'de verilmiştir. Katı modeli oluşturulan yürüyen tahkimatın önde 2, arkada 1 adet olmak üzere toplam üç adet lemniskat bağlantısı vardır. Oluşturulan modelde ön lemniskatların bağlantı pimi yuvası 13 cm çapında , arka lemniskatın bağlantı pimi yuvası ise 15 cm çapında modellenmiştir. Ön lemniskatların uzunluğu 170 cm, arka lemniskat bağlantısının uzunluğu 150 cm olarak modellenmiştir (Şekil 7.17).



Şekil 7.16 Ön ve arka lemniskat bağlantılara ait katı modelin görüntüsü

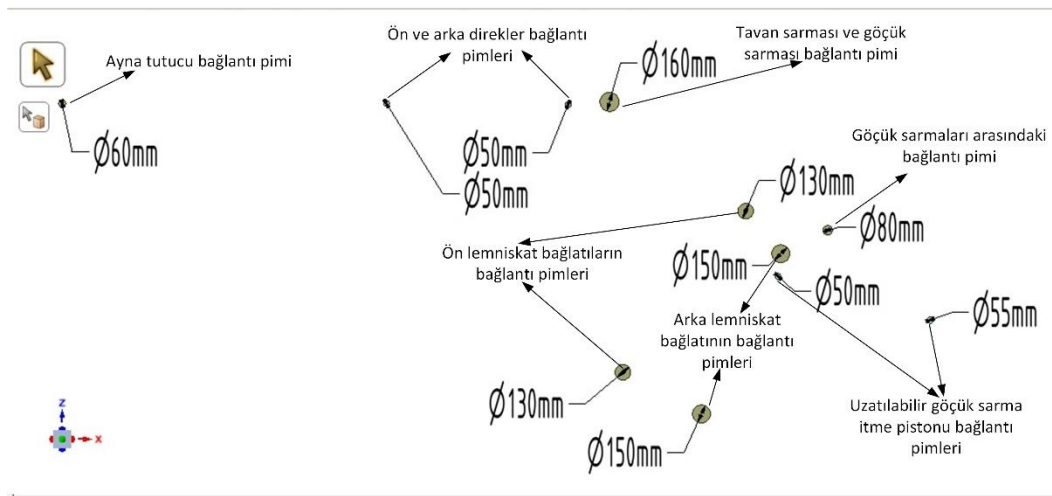


Şekil 7.17 Lemniskat bağlantıların ve bağlantı pimi yuvalarının ölçüleri

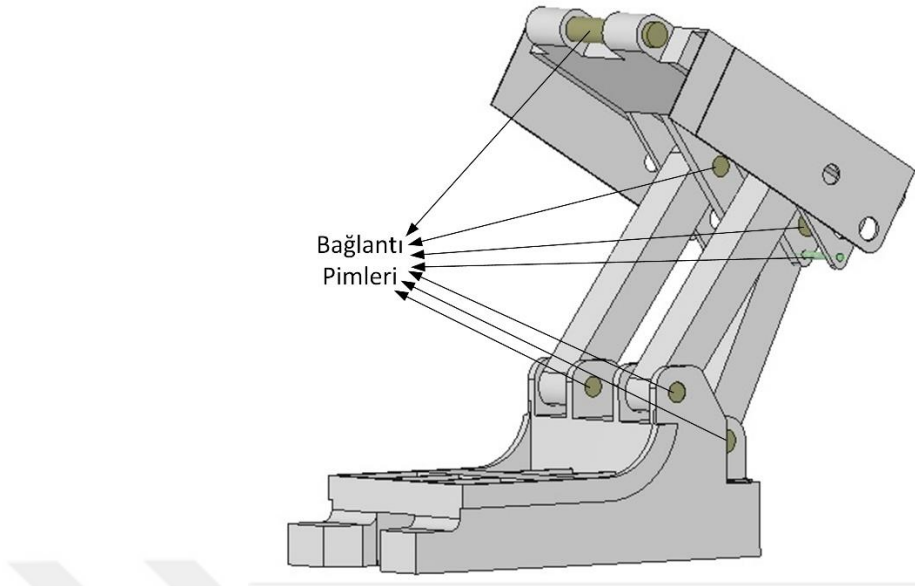
7.7 Bağlantı Pimlerinin Modellenmesi

Yürüyen tahkimatın katı modeli, toplamda 18 adet bağlantı pimi olacak şekilde oluşturulmuştur. Bağlantı pimleri, yürüyen tahkimat elemanları arasındaki bağlantıyı sağlayan ve parçaların birbirine göre relatif hareket etmesini olası kılan parçalardır.

Oluşturulan yürüyen tahkimatın katı modelinde, tavan sarması üzerinde ayna tutucu ile tavan sarması arasındaki bağlantıyı sağlayan 6 cm çapında 2 adet, ön ve arka hidrolik direklerle tavan sarması arasındaki bağlantıyı sağlayan 5 cm çapında 4 adet ve tavan sarması ile göçük sarması arasındaki bağlantıyı sağlayan 16 cm çapında 1 adet bağlantı pimi bulunmaktadır. Ana göçük sarması üzerinde ön lemniskat bağlantılar ile bağlantıyı sağlayan 13 cm çapında 2 adet, arka lemniskat bağlantı ile bağlantıyı sağlayan 15 cm çapında 1 adet, uzatılabilir göçük sarmasının itme pistonlarıyla bağlantıyı sağlayan 5 cm çapında 2 adet ve hareketli göçük sarmasıyla bağlantıyı sağlayan 8 cm çapında 1 adet bağlantı pimi bulunmaktadır. Hareketli göçük sarması üzerinde, uzatılabilir göçük sarmasının itme pistonlarıyla bağlantıyı sağlayan 5 cm çapında 2 adet bağlantı pimi vardır. Taban şasisi üzerinde ise ön lemniskat bağlantılar ile bağlantıyı sağlayan 13 cm çapında 2 adet ve arka lemniskat bağlantı ile bağlantıyı sağlayan 15 cm çapında 1 adet bağlantı pimi bulunmaktadır (Şekil 7.18, Şekil 7.19).



Şekil 7.18 Bağlantı pimlerinin model üzerindeki bölgeleri ve çapları



Şekil 7.19 Bağlantı pimlerinin model üzerinde görüntüsü

7.8 Tahkimat Elemanlarının Montajlanması

SpaceClaim modelleme yazılımında tahkimata ait elemanların çizimleri tamamlandıktan sonra bu elemanları montajlama işlemine geçilmiştir. Bu işlem sırasında, tavan sarması, ayna tutucu, göçük sarmaları, taban şasisi, hidrolik direkler, lemniskat bağlantılar ve pimlerden oluşan elemanlar programda ilgili komutlar (Tangent-Align-Orient-Anchor) kullanılarak montajlanmıştır. Montajlama işlemi sonunda tüm tahkimat ünitesi elemanları birbirine bağlanmakta ve sistem bir bütün olarak davranabilmektedir. Şekil 7.1’de montaj işleminin tamamlanmasından sonra yürüyen tahkimatın katı modelinin görüntüsü verilmiştir.

7.9 Malzeme Özelliklerinin Modele Girilmesi

Yürüyen tahkimatın üretici firmasının mühendisiyle yapılan yazışmalar sonucunda, tahkimatın hangi elemanında hangi tür çeliğin kullanıldığı bilgisi elde edilmiştir. Yürüyen tahkimatın elemanlarına göre kullanılan çelik tipleri Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1 Tahkimat elemanlarında kullanılan çelik tipleri

Tahkimat Elemanı	Çelik Tipi
Tavan Sarması	Q460
Taban Şasisi	Q460
Göçük Sarması	Q460
Yan Kalkanlar	Q550
Ön ve Arka Lemniskatlar	Q550
Hidrolik Direkler	Q550
Pimler	Q550

Gerilme analizi işlemine geçilmeden önce, daha hassas ve doğru bir analiz için, tahkimat elemanlarına göre kullanılan çelik malzemelerin elastisite modülü, Poisson oranı ve yoğunluk değerleri bilgisayar programına girilmiştir. Bu işlem öncesinde program üzerinde çelik tipleri, kullanıldıkları parçalara atanmış ve çelik tiplerine göre veriler programa girilmiştir. Bu değerler, bu konularda yapılmış olan çeşitli makalelerden elde edilmiş olan değerlerdir (Xue ve diğer., 2012, Wang ve diğer., 2013). Tablo 7.2’de modele girilen çelik malzemelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 7.2 Modelde kullanılan çelik malzeme özellikleri

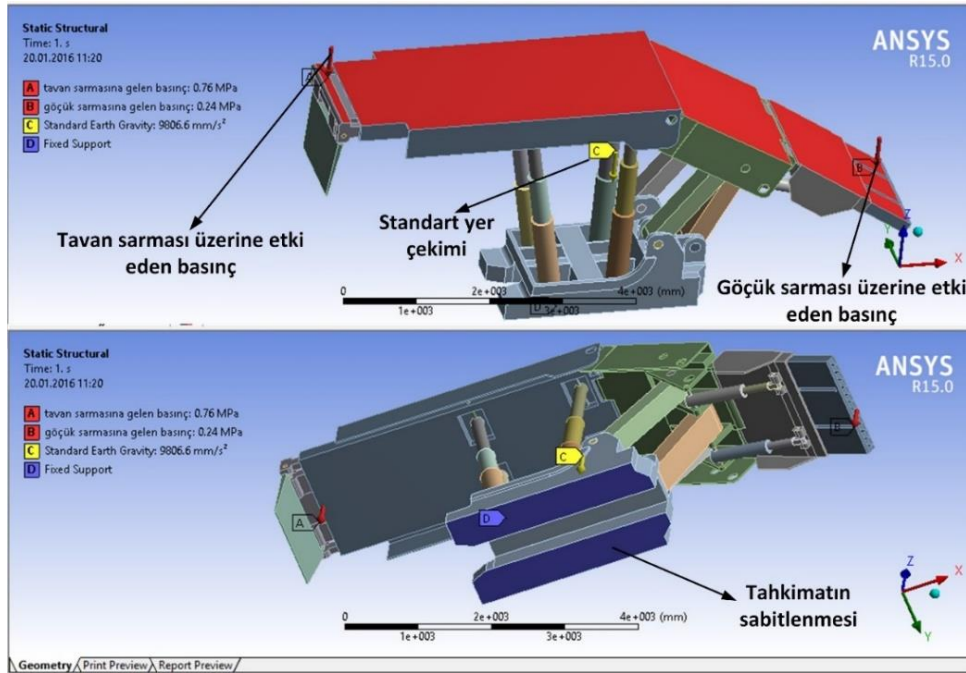
Çelik Tipi	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Yoğunluk (kg/m³)
Q460	209,67	0,30	7850
Q550	210,00	0,30	7850

BÖLÜM SEKİZ

TAHKİMAT ELEMANLARINDA MEYDANA GELEN GERİLMELERİN BELİRLENMESİ

8.1 Giriş

Phase^{2D} saha modelleme programı kullanılarak oluşturulan 27 adet uzun ayak modelinden elde edilmiş olan ve Tablo 6.5’te verilen gerilme değerleri, ANSYS gerilme analizi yazılımında yürüyen tahkimatın tavan sarmasına ve göçük sarmasına dik olacak şekilde uygulanarak meydana gelen gerilmelerin tahkimat elemanları üzerindeki dağılımları analiz edilmiştir. Yapılan gerilme analizi, tavan sarması, taban şasisi, ana göçük sarması, hareketli göçük sarması, uzatılabilir göçük sarması, ön direkler, arka direkler, ayna tutucu, tavan sarması bağlantı pimleri, göçük sarması bağlantı pimleri, taban şasisi bağlantı pimleri, ön ve arka lemniskat bağlantılar olmak üzere tahkimatın 13 elemanı dikkate alınarak yapılmış ve bu 13 tahkimat elemanında meydana gelen minimum ve maksimum gerilmeler hesaplanmıştır. Tahkimatın ANSYS gerilme analizi programındaki görüntüsü ve basınç uygulama bölgeleri Şekil 8.1’de verilmiştir.



Şekil 8.1 Tahkimat modelinin ANSYS programındaki görüntüsü

Yapılan gerilme analizi sırasında aşağıdaki adımlar izlenmiştir;

- 1- SpaceClaim programında oluşturulan yürüyen tahkimat modelinin ANSYS programına aktarılması,
- 2- Meshleme işlemi,
- 3- Tahkimatın sabitlenmesi,
- 4- Tahkimat elemanlarına etki eden basınçların tanımlanması,
- 5- Sonuçlar ve değerlendirme.

Bu adımlar aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

8.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi, Katı Model Oluşturma ve ANSYS Programı

Sonlu elemanlar yöntemi, bir tasarım üzerindeki yükleri simüle ederek tasarımın bu duruma vereceği cevabı belirlemek üzerine geliştirilmiş bir yöntemdir. Yapı, her birinin söz konusu yüklere cevabı kesin eşitliklerle ifade edilebilen parçalara ayrılır ve tasarımın toplam davranışı bu elemanların toplamı olarak değerlendirilir. Her bir eleman sonlu sayıda bilinmeyene sahiptir. Bu nedenle sonsuz sayıda bilinmeyene sahip fiziksel bir sistem ancak yaklaşık olarak sonlu sayıda bilinmeyene sahip elemanlarla temsil edilebilir (Adams ve Askenazi, 1999).

Sonlu elemanlar yöntemiyle analiz yapılırken ilk adım, hazırlanacak sonlu elemanlar modelinin mümkün olan en yakın şekilde fiziksel sistemi ifade etmesini sağlamaktır. Öncelikle tüm yükler, çevre elemanlar, malzemeler ve bağlantılar ayrıntılı bir şekilde belirlenmelidir. Bilinmeyen bazı yükler için varsayımlar, bazı ihmallere ve sadeleştirmelerin yapılması gerekebilir. Bir sonraki adım, tanımlanan sistem için analizin türü, kullanılacak eleman ve analize yönelik modelin saptanmasıdır. Burada mümkün olan en basit şekilde, gereksiz görülen tüm ayrıntılar ihmal edilerek çözüm zamanının oldukça kısaltılması amaçlanmıştır. Bununla birlikte tekliği ortadan kaldırmaya yönelik değişiklikler de saptanmalıdır. Örneğin ağ yapısının oldukça sıkı olmasına neden olacak küçük deliklerin gereksizse modelden temizlenmesi, uygun olan yerlerde simetrik model kullanılması veya temas

yüzeylerinin farklı analiz seçenekleriyle temsil edilmesi çözüm zamanını oldukça azaltacaktır. Bu adım henüz model hazırlanmadan önce temel bazı kararların alınmasını gerektirdiği için oldukça önemlidir (Chandrupetla ve Belegunda, 1997).

Bir sonraki adım, kararlaştırılan tüm varsayımların, ihmallerin ve sadeleştirmelerin ışığında geometrik modelin hazırlanmasıdır. Geometrik model, ya bilgisayar destekli tasarım programı vasıtasıyla hazırlanarak sonlu elemanlar analiz programına aktarılır ya da doğrudan sonlu elemanlar analiz programında oluşturulur. Daha sonra, malzeme özellikleri saptanarak bunlar geometrik bileşenlere atanır ve kararlaştırılan elemana ait seçenekler değerlendirilir. Takip eden adım, ağ yapısının oluşturulmasıdır (meshleme). Burada eleman büyüklükleri kontrol edilerek kritik bölgelerde sık bir ağ yapısı oluşturulmaya çalışılır. Buna ek olarak, eleman ve düğüm sayıları doğrudan çözüm zamanını ve bellek gereksinimini etkilediği için tekrarlayan bir biçimde en uygun ağ yapısı oluşturulmaya çalışılır (Hunter ve Pullan, 2002).

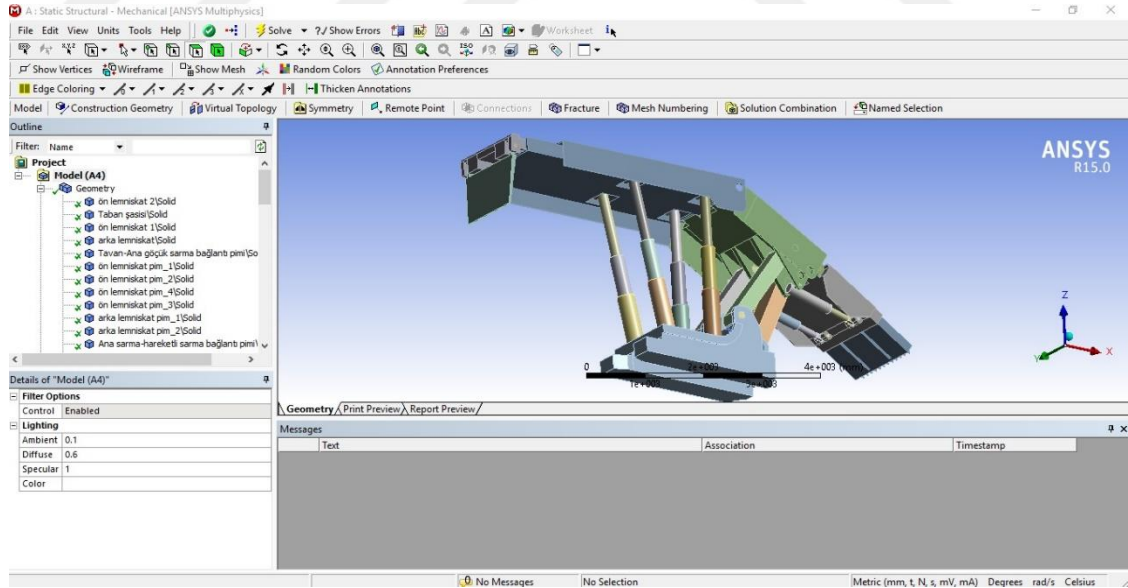
Son olarak, belirlenen yükler ve sınır şartları uygulanır, temas yüzeyleri modellenir ve uygulanması gereken hareket kısıtları modele aktarılır. Birden fazla yük adımı olması ya da aynı sistemin birkaç yük koşuluna uğraması durumları değerlendirilir. Daha sonra, çözüm alınarak sonuçların değerlendirilmesi adımına geçilir. Analiz programı sayesinde şekil değiştirme ve gerilme değerleri görsel olarak incelenebilir. Programdan sağlanan tepki kuvvetleri çıktısıyla uygulanan kuvvetlerin denetimi ve genel gerilme dağılımının beklenen dağılımla uyumlu olması analizin doğruluğunun denetimi açısından önemlidir. Mümkün olan durumlarda mevcut deneysel veri ya da hesaba elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak analiz sonuçlandırılır (Liu ve Quek, 2003; Bursoy, 2010).

Farklı yüklerde yapısal elemanlarda meydana gelen gerilme dağılımının hesaplanmasında en çok kullanılan sonlu elemanlar analiz programı, ilk defa 1971 yılında kullanılmaya başlanan ANSYS'tir. ANSYS programı, 100000'den fazla kod içeren, geniş kapsamlı ve genel amaçlı bir sonlu elemanlar yazılımıdır. ANSYS, statik, dinamik, ısı transferi, akışkanlar mekaniği ve elektromanyetizma analizleri yapabilmektedir ve 20 yılı aşkın bir süre en çok kullanılan sonlu elemanlar analiz

programı olmuştur. ANSYS'in son versiyonları, grafik kullanıcı ara yüzü, menüleri, çoklu pencereleri, diyalog kutuları ve araçlar menüsüyle yeni bir görünüm kazanmıştır. Günümüzde, ANSYS, havacılık, otomotiv, elektronik ve nükleer alanlarında kullanılmaktadır. ANSYS'i veya ANSYS benzeri başka bir sonlu elemanlar analiz programını tam anlamıyla ve bilerek kullanabilmek için sonlu elemanlar yönteminin altında yatan temel konseptleri ve sınırlamaları iyi bilmek gerekir (Moaveni, 2003). ANSYS, birçok problemi çözmeye yarayan çok güçlü ve önemli bir araçtır ve bir çok mühendislik alanında uygulaması vardır.

8.3 Yürüyen Tahkimat Modelinin ANSYS Programına Aktarılması

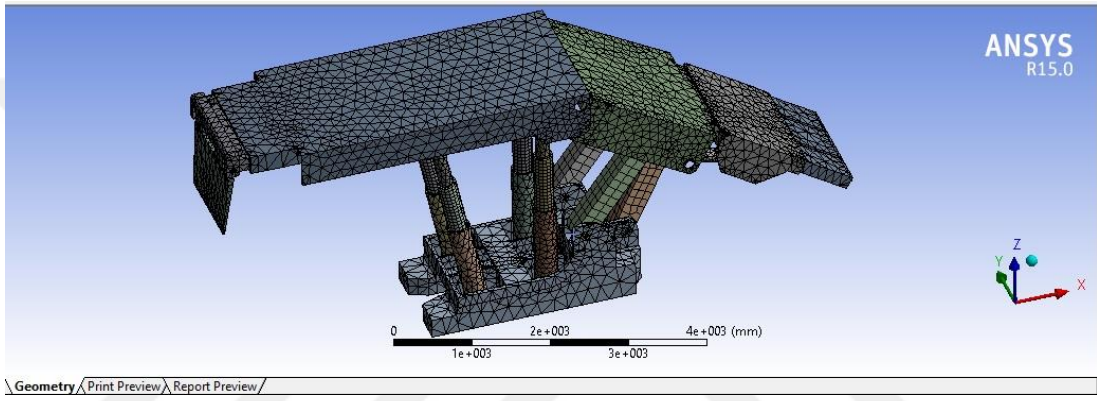
SpaceClaim ve ANSYS yazılımları birbirleri ile bağlantılı olarak çalışan tasarım ve analiz programlarıdır. SpaceClaim programında modele atanan malzeme özellikleri otomatik olarak ANSYS programında da elemanlara aktarılmıştır. Bu işlemlerden sonra model gerilme analizi işlemi için hazır hale gelmiştir. Tahkimatın katı modelinin ANSYS gerilme analizi programındaki görüntüsü Şekil 8.2'de verilmiştir.



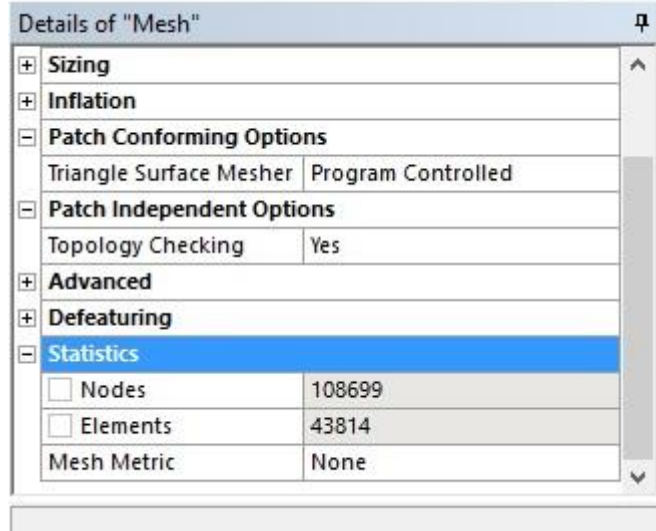
Şekil 8.2 Tahkimat katı modelinin ANSYS programına aktarılması

8.4 Meshleme İşlemi

Model üzerinde gerilme analizi yapılabilmesi için modelin her bir parçasının küçük elemanlara ayrılması gerekmektedir. Bu amaçla oluşturulan model meshleme işlemine tabi tutulmuş ve tahkimat program tarafından küçük parçalara ayrılmıştır. Meshleme işlemi sonucunda tahkimat, program tarafından 108699 adet düğüm noktasına ve 43814 adet elemana bölünmüştür. Şekil 8.3 ve Şekil 8.4'te meshleme işlemine ait görseller verilmiştir.



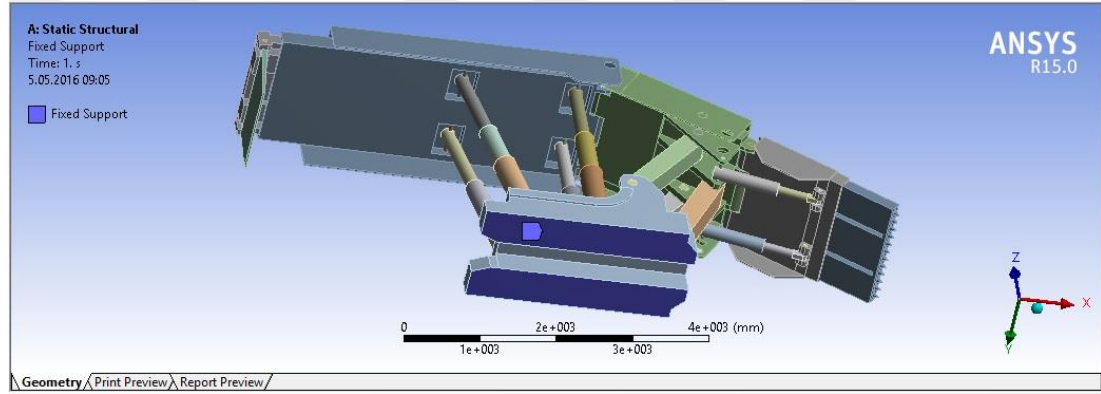
Şekil 8.3 Meshleme işlemi sonrası yürüyen tahkimatın katı modelinin görüntüsü



Şekil 8.4 Meshleme işlemi detayları

8.5 Tahkimatın Sabitlenmesi

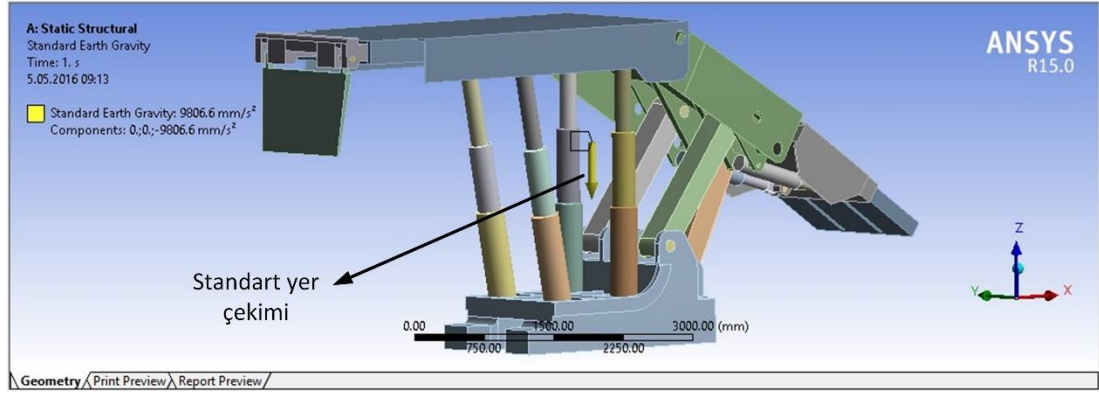
Meshleme işleminden sonraki aşama, tahkimatın sabitlenmesi ve sonrasında tahkimat elemanlarına etki eden gerilmelerin tanımlanmasıdır. Tahkimat elemanlarına etki eden gerilmelerin tanımlanması için, ilk olarak tahkimatın gelen yükleri karşılayarak iletebilmesi için belirli bir bölgeden sabitlenmesi gerekmektedir. Bu işlem için yürüyen tahkimat ANSYS programında “fixed support” komutu kullanılarak, üzerine gelen basıncı taşıması ve elemanlara yayması için taban şasisinden yere sabitlenmiştir. Şekil 8.5’de tahkimatın sabitlenmesi işlemi görülmektedir.



Şekil 8.5 Tahkimatın taban şasisinden yere sabitlenmesi işlemi

8.6 Tahkimat Elemanlarına Etki Eden Basınçların Tanımlanması

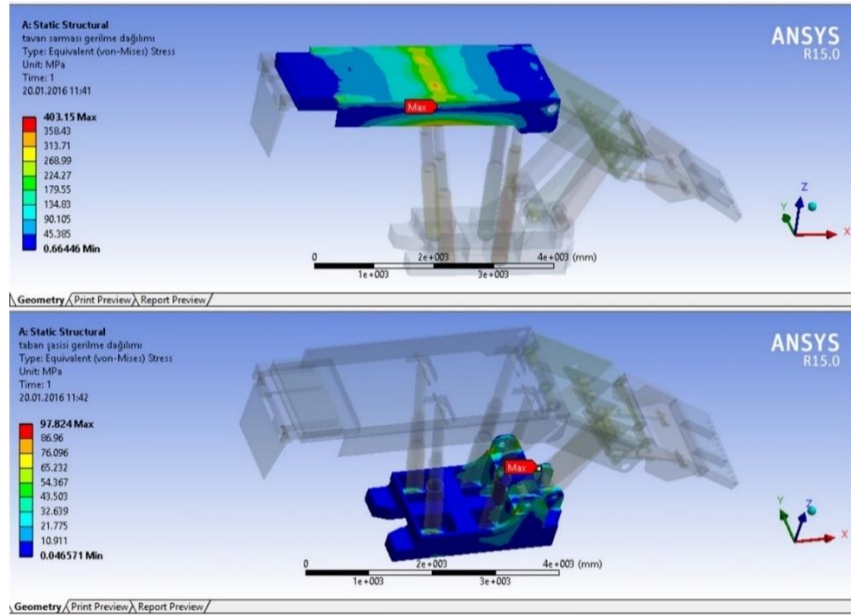
Yürüyen tahkimatın taban şasisinden yere sabitlenmesinden sonraki aşama tahkimat elemanlarına etki eden basınçların tanımlanması işlemidir. Tavan sarması ve göçük sarması üzerinde meydana gelen ve Tablo 6.5’te verilen ortalama gerilme değerleri, tahkimatın tavan sarması ve göçük sarması üzerine dik etki edecek şekilde uygulanmış ve tahkimat elemanlarında meydana gelen minimum ve maksimum gerilmeler hesaplanmıştır. Ayrıca yerçekimi nedeniyle meydana gelen basınç da tabana dik etki edecek şekilde analizde dikkate alınmıştır (Şekil 8.6).



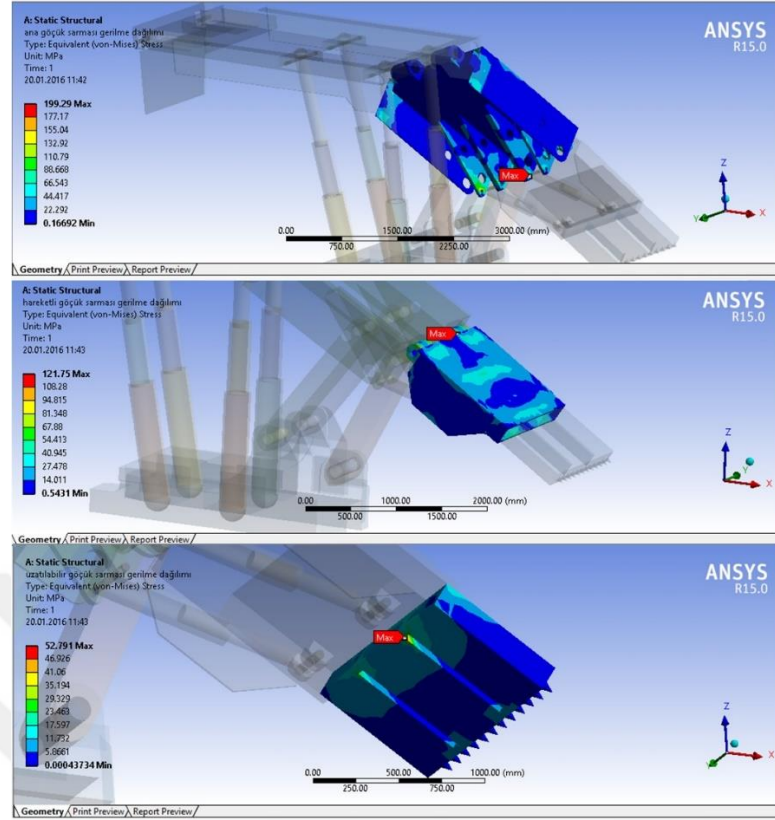
Şekil 8.6 Standart yerçekiminin model üzerinde tanımlanması

8.7 Gerilme Analizinden Elde Edilen Sonuçlar

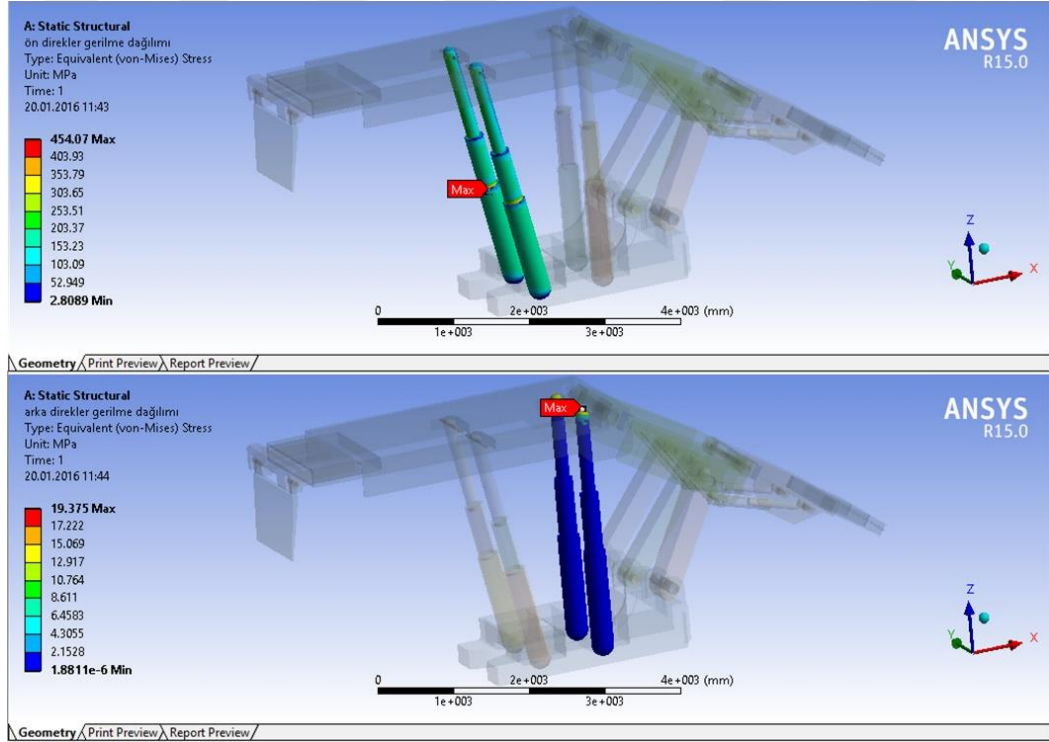
Gerilme analizi sonucunda 27 adet farklı durumda 13 adet tahkimat elemanı üzerinde meydana gelen minimum ve maksimum gerilme değerleri Tablo 8.1’de verilmiştir. Tahkimat elemanları üzerinde meydana gelen gerilmelerin ekran görüntüleri, tavan sarması ve taban şasisi için Şekil 8.7, ana göçük sarması, hareketli göçük sarması ve uzatılabilir göçük sarması için Şekil 8.8, ön ve arka direkler için Şekil 8.9, ön ve arka lemniskatlar için Şekil 8.10, tavan sarması ve göçük sarması bağlantı pimleri için Şekil 8.11, taban şasisi bağlantı pimleri ve ayna tutucu için Şekil 8.12’te verilmiştir.



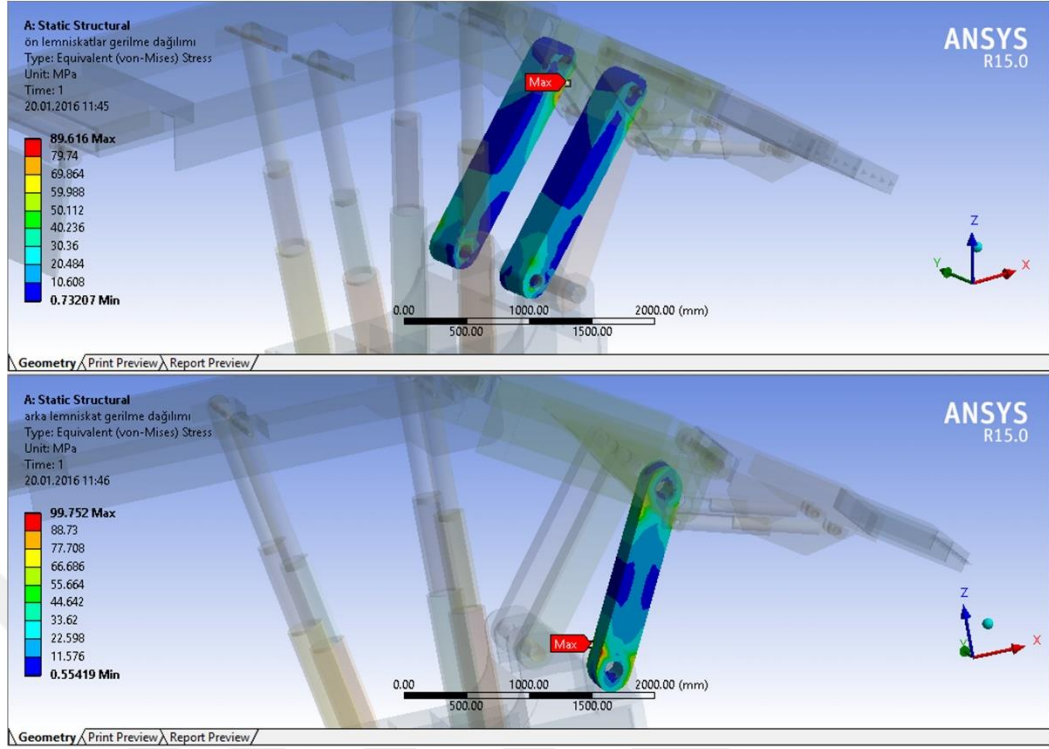
Şekil 8.7 Tavan sarması ve taban şasisinde meydana gelen gerilmeler



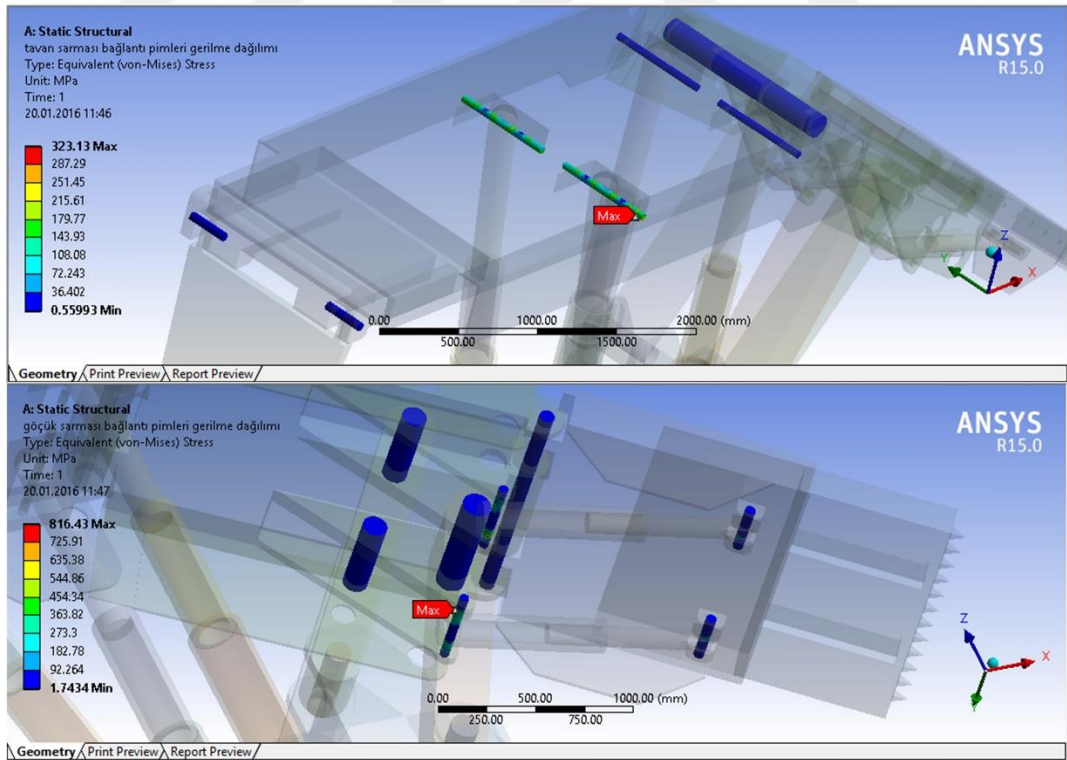
Şekil 8.8 Ana göçük, hareketli göçük ve uzatılabilir göçük sarmalarında meydana gelen gerilmeler



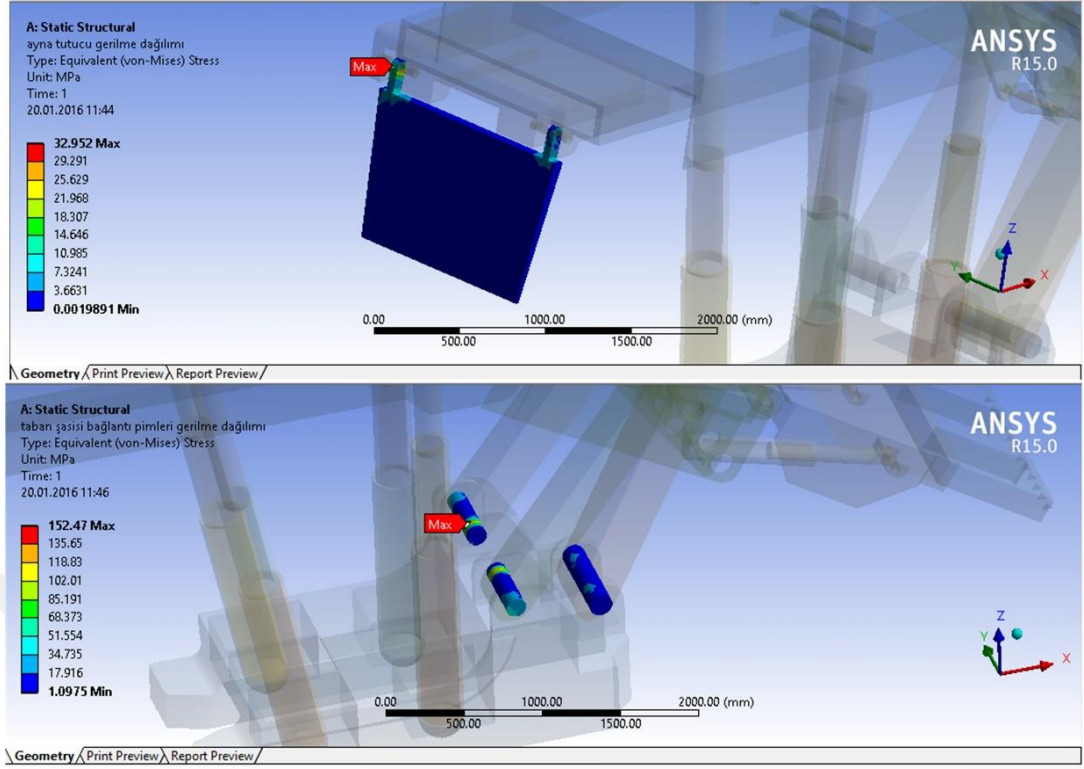
Şekil 8.9 Ön ve arka direklerde meydana gelen gerilmeler



Şekil 8.10 Ön ve arka lemniskat bağlantılarda meydana gelen gerilmeler



Şekil 8.11 Tavan sarması ve göçük sarması bağlantı pimlerinde meydana gelen gerilmeler



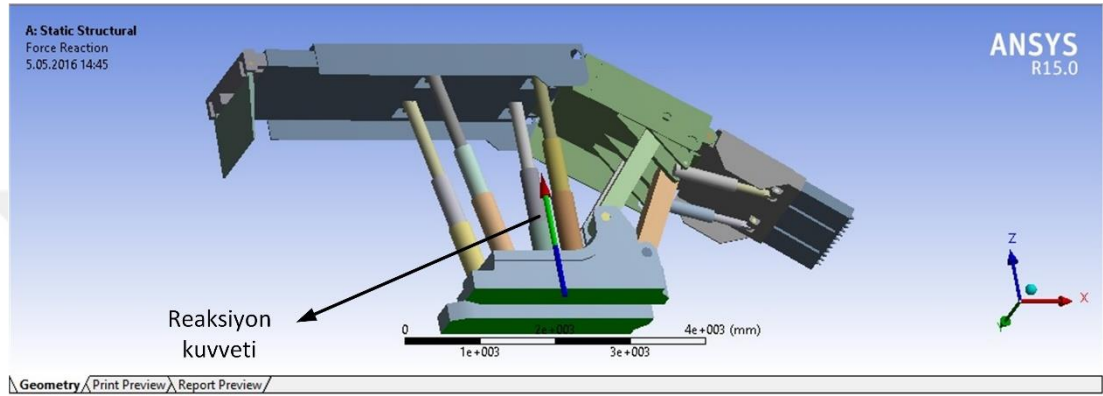
Şekil 8.12 Ayna tutucu ve taban şasisi bağlantı pimlerinde meydana gelen gerilmeler

Tablo 8.1 Tahkimat elemanlarında meydana gelen minimum ve maksimum gerilmeler

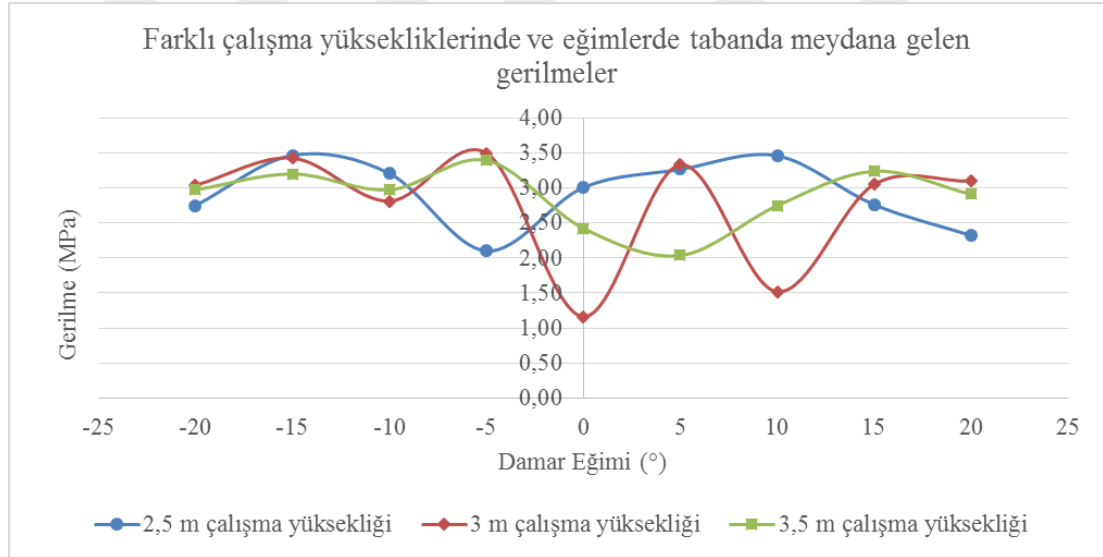
Tahkimat Elemanı		1.Durum	2.Durum	3.Durum	4.Durum	5.Durum	6.Durum	7.Durum	8.Durum	9.Durum	10.Durum	11.Durum	12.Durum	13.Durum	14.Durum	15.Durum	16.Durum	17.Durum	18.Durum	19.Durum	20.Durum	21.Durum	22.Durum	23.Durum	24.Durum	25.Durum	26.Durum	27.Durum
		Gerilme (MPa)																										
Tavan Sarması	Maks.	428,28	462,01	463,54	323,57	448,45	468,62	456,62	330,51	268,00	416,72	545,44	422,97	496,38	174,15	486,15	232,49	384,14	378,55	461,29	413,70	461,29	528,78	373,03	310,73	424,95	403,15	429,92
	Min.	0,79	0,85	0,85	0,59	0,67	0,86	0,84	0,62	0,51	0,76	0,99	0,77	0,90	0,31	0,88	0,43	0,71	0,69	0,86	0,71	0,86	0,99	0,70	0,59	0,79	0,66	0,81
Taban Şasisi	Maks.	133,75	70,32	67,91	97,01	94,10	68,88	69,82	115,75	118,95	67,64	217,94	130,34	100,35	60,84	121,29	85,53	56,94	56,86	211,91	105,35	211,91	244,21	169,66	139,85	194,51	97,82	172,00
	Min.	0,03	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,05	0,04	0,05	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	0,05	0,05	0,05	0,06	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05
Ana Göçük Sarması	Maks.	70,04	180,60	91,78	50,97	75,05	100,67	189,47	215,84	197,94	146,93	176,36	108,81	142,80	49,98	110,75	69,84	208,64	232,10	151,57	171,06	151,57	174,65	121,39	100,08	139,14	199,29	123,22
	Min.	0,07	0,20	0,22	0,05	0,10	0,22	0,19	0,08	0,12	0,16	0,14	0,14	0,19	0,04	0,19	0,05	0,04	0,10	0,18	0,16	0,18	0,19	0,16	0,14	0,17	0,17	0,19
Hareketli Göçük Sarması	Maks.	10,68	105,28	53,88	8,32	33,44	59,02	110,42	125,53	115,05	87,57	22,84	33,56	81,53	8,84	59,41	11,02	132,56	149,42	21,90	102,23	21,90	25,35	17,39	14,22	20,04	121,75	30,24
	Min.	0,01	0,69	0,22	0,00	0,13	0,21	0,71	0,75	0,67	0,46	0,07	0,08	0,31	0,00	0,17	0,02	0,85	0,93	0,06	0,41	0,06	0,08	0,05	0,04	0,06	0,54	0,08
Uzatılabilir Göçük Sarması	Maks.	2,47	47,97	23,98	2,46	14,39	26,38	50,37	57,60	52,81	33,38	5,74	15,85	36,54	3,28	27,45	3,65	56,31	63,08	3,05	44,38	3,05	3,45	2,52	2,38	2,83	52,79	12,83
	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ön Direkler	Maks.	564,52	591,97	603,03	426,03	586,68	608,85	583,94	414,44	333,56	469,12	629,80	481,67	560,72	199,52	550,83	267,14	428,20	420,45	530,66	467,83	530,66	608,41	428,99	357,23	488,80	454,07	492,53
	Min.	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	2,56	3,95	2,94	3,29	1,24	3,29	1,67	2,37	1,29	3,43	2,93	3,43	3,94	2,78	2,32	3,16	2,81	3,22
Arka Direkler	Maks.	57,93	48,23	56,01	43,19	56,94	55,97	46,73	26,89	19,69	20,13	28,24	21,36	24,39	8,80	24,21	11,85	17,73	17,18	22,13	19,88	22,13	25,39	17,87	14,87	20,38	19,38	20,63
	Min.	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ön Lemniskatlar	Maks.	91,29	29,87	56,65	67,10	72,17	53,08	28,44	41,24	46,07	77,24	189,88	122,36	109,44	54,86	122,39	76,08	49,06	43,42	191,61	106,66	191,61	220,52	153,80	127,12	176,04	89,62	161,87
	Min.	0,21	0,11	0,56	0,16	0,45	0,49	0,08	0,24	0,29	0,58	1,35	0,94	0,80	0,40	0,98	0,54	0,16	0,13	1,10	0,77	1,10	1,25	0,91	0,79	1,02	0,73	0,97
Arka Lemniskat	Maks.	149,69	47,44	67,15	108,52	104,04	58,45	53,89	135,47	138,59	80,74	253,18	156,20	125,73	71,55	150,06	100,09	69,31	79,88	231,09	104,94	231,09	266,26	185,09	152,62	212,15	99,75	188,83
	Min.	0,78	0,97	0,49	0,64	0,59	0,66	0,89	0,89	0,91	0,62	1,24	0,92	0,97	0,44	1,32	0,47	0,34	1,95	2,31	0,91	2,31	2,74	1,73	1,33	2,07	0,55	0,99
Tavan Sarması Bağlantı Pimleri	Maks.	329,43	354,82	356,30	248,87	344,80	360,18	350,64	253,53	205,49	322,23	422,22	327,29	383,93	134,76	376,09	179,93	296,83	292,44	370,01	331,64	370,01	424,15	299,21	249,23	340,86	323,13	344,80
	Min.	0,41	0,44	0,44	0,32	0,43	0,45	0,44	0,22	0,27	0,32	0,41	0,33	0,39	0,15	0,39	0,19	0,29	0,28	0,64	0,59	0,64	0,73	0,53	0,43	0,59	0,56	0,60
Göçük Sarması Bağlantı Pimleri	Maks.	69,49	610,40	315,04	59,12	196,76	344,69	639,81	725,14	664,34	536,19	416,28	279,51	533,26	116,77	426,92	163,81	733,65	809,60	134,23	695,66	134,23	150,49	113,07	98,24	125,50	816,43	248,28
	Min.	0,07	0,32	0,54	0,03	0,35	0,67	0,33	1,21	1,21	0,91	0,19	0,45	0,47	0,05	0,79	0,08	0,28	1,10	0,21	1,53	0,21	0,25	0,15	0,12	0,18	1,74	0,43
Taban Şasisi Bağlantı Pimleri	Maks.	186,16	21,61	111,84	136,32	145,14	104,14	23,25	93,63	103,07	124,66	346,67	219,75	186,73	99,73	216,30	138,53	30,42	25,28	343,83	185,03	343,83	395,64	276,09	228,27	315,94	152,47	289,19
	Min.	2,49	0,22	1,56	1,83	1,97	1,46	0,12	1,05	1,19	1,42	3,38	2,19	1,98	0,99	2,21	1,36	0,15	0,16	2,75	1,60	2,75	3,16	2,22	1,84	2,53	1,09	2,34
Ayna Tutucu	Maks.	30,92	33,53	33,52	23,54	32,40	33,89	33,17	24,32	19,89	30,85	39,95	31,26	36,52	13,54	35,77	17,69	28,57	28,18	37,42	33,76	37,42	42,66	30,56	25,71	34,59	32,95	34,99
	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

8.8 Tahkimat Tabanında Oluşan Gerilmeler

Gerilme analizi sonuçlarına göre 27 adet çalışma durumu için tahkimatın tabanında meydana gelen tepki kuvveti hesaplanarak, tahkimatın taban alanına bölünmüş ve tabanda meydana gelen gerilmeler hesaplanmıştır. Sonuçlar ve grafikler aşağıda verilmiştir.



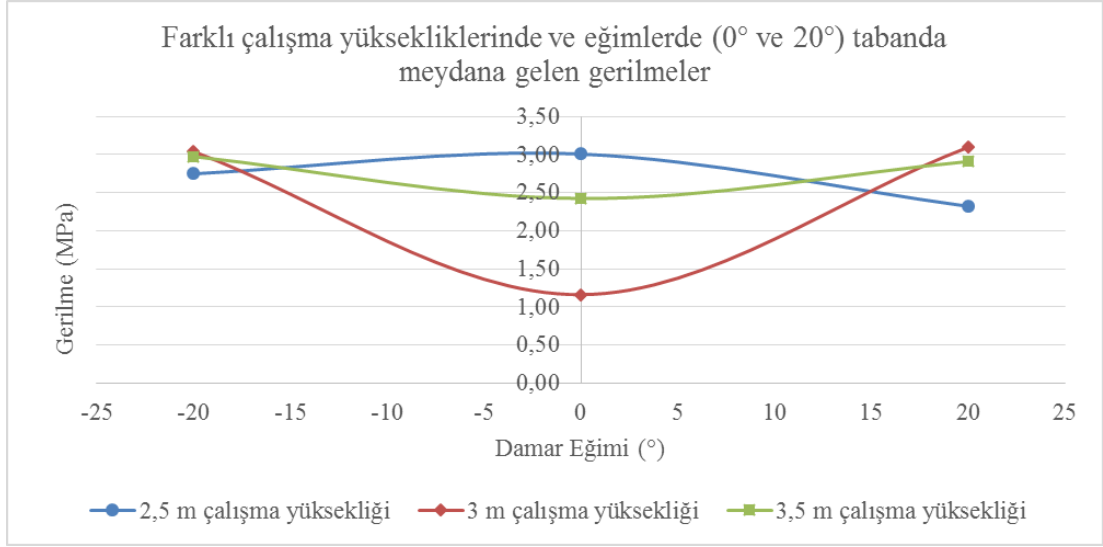
Şekil 8.13 Tahkimat tabanında oluşan reaksiyon kuvveti



Şekil 8.14 Farklı çalışma yüksekliklerinde ve eğimlerde tabanda meydana gelen gerilmeler

Tablo 8.2 Tahkimat tabanında meydana gelen gerilmeler

Durum	Çalışma Yüksekliği (m)	Eğim (°)	Tahkimat Taban Alanı (mm ²)	Reaksiyon Kuvveti (N)	Tabana Gelen Basınç (MPa)
1	2,5	-20	2638637,2998	7254600	2,75
2		-15		9151700	3,47
3		-10		8468000	3,21
4		-5		5546200	2,10
5		0		7938200	3,01
6		5		8621800	3,27
7		10		9134700	3,46
8		15		7289700	2,76
9		20		6127800	2,32
10	3	-20		8024000	3,04
11		-15		9048500	3,43
12		-10		7425700	2,81
13		-5		9236900	3,50
14		0		3069000	1,16
15		5		8792600	3,33
16		10		4008600	1,52
17		15		8058500	3,05
18		20		8178200	3,10
19	3,5	-20		7852600	2,98
20		-15		8451300	3,20
21		-10		7852600	2,98
22		-5		8963100	3,40
23		0		6400400	2,43
24		5		5375400	2,04
25		10		7254600	2,75
26		15		8553900	3,24
27		20		7681900	2,91



Şekil 8.15 Meyil aşağı-meyil yukarı çalışma koşullarında 0° ve 20° eğimlerde tabanda meydana gelen gerilmeler

Gerilme analizleri sonucunda 3 m ve 3,5 m çalışma yüksekliklerinde meyil alçalma ve meyil yükselme yönlerinde tabanda oluşan gerilmelerin ilk duruma (0°) göre arttığı, 2,5 m çalışma yüksekliğinde ise tabanda oluşan gerilmenin ilk duruma göre azaldığı görülmektedir.

8.9 Tahkimat Elemanlarında Meydana Gelen Gerilmelerin Yüzdesel Gösterimi

Yürüyen tahkimat elemanlarında kullanılan çelik tipleri Tablo 7.1’de verilmiştir. Çeşitli kaynaklardan ve çelik standartlarından yapılan araştırmalar sonucunda Q460 tip çelik malzemenin akma dayanımı 585 MPa, Q550 tip çelik malzemenin akma dayanımı 600 MPa olarak belirlenmiştir (Wang ve diğer., 2015; Fan ve diğer., 2011). Yapılan gerilme analizleri sonucunda elde edilen gerilme değerleri ile çelik tiplerinin akma dayanımları karşılaştırılmış ve Tablo 6.5’te verilen 27 durum için her bir tahkimat elemanının akma dayanımının yüzdesel olarak ulaştığı seviye belirlenmiştir. Sonuçlar aşağıda verilen tablolarda sunulmuştur.

Tablo 8.3 Tavan sarmasında meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri

Durum	Maks. gerilme (MPa)	%
1	428,28	73,21
2	462,01	78,98
3	463,54	79,24
4	323,57	55,31
5	448,45	76,66
6	468,62	80,11
7	456,62	78,05
8	330,51	56,50
9	268,00	45,81
10	416,72	71,23
11	545,44	93,24
12	422,97	72,30
13	496,38	84,85
14	174,15	29,77
15	486,15	83,10
16	232,49	39,74
17	384,14	65,66
18	378,55	64,71
19	461,29	78,85
20	413,70	70,72
21	461,29	78,85
22	528,78	90,39
23	373,03	63,77
24	310,73	53,12
25	424,95	72,64
26	403,15	68,91
27	429,92	73,49

Tablo 8.4 Taban şasisinde meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri

Durum	Maks. gerilme (MPa)	%
1	133,75	22,86
2	70,32	12,02
3	67,91	11,61
4	97,01	16,58
5	94,10	16,09
6	68,88	11,77
7	69,82	11,94
8	115,75	19,79
9	118,95	20,33
10	67,64	11,56
11	217,94	37,25
12	130,34	22,28
13	100,35	17,15
14	60,84	10,40
15	121,29	20,73
16	85,53	14,62
17	56,94	9,73
18	56,86	9,72
19	211,91	36,22
20	105,35	18,01
21	211,91	36,22
22	244,21	41,75
23	169,66	29,00
24	139,85	23,91
25	194,51	33,25
26	97,82	16,72
27	172,00	29,40

Tablo 8.5 Ana göçük sarmasında meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri

Durum	Maks. gerilme (MPa)	%
1	70,04	11,97
2	180,60	30,87
3	91,78	15,69
4	50,97	8,71
5	75,05	12,83
6	100,67	17,21
7	189,47	32,39
8	215,84	36,90
9	197,94	33,84
10	146,93	25,12
11	176,36	30,15
12	108,81	18,60
13	142,80	24,41
14	49,98	8,54
15	110,75	18,93
16	69,84	11,94
17	208,64	35,66
18	232,10	39,68
19	151,57	25,91
20	171,06	29,24
21	151,57	25,91
22	174,65	29,85
23	121,39	20,75
24	100,08	17,11
25	139,14	23,78
26	199,29	34,07
27	123,22	21,06

Tablo 8.6 Hareketli göçük sarmasında meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri

Durum	Maks. gerilme (MPa)	%
1	10,68	1,83
2	105,28	18,00
3	53,88	9,21
4	8,32	1,42
5	33,44	5,72
6	59,02	10,09
7	110,42	18,88
8	125,53	21,46
9	115,05	19,67
10	87,57	14,97
11	22,84	3,90
12	33,56	5,74
13	81,53	13,94
14	8,84	1,51
15	59,41	10,16
16	11,02	1,88
17	132,56	22,66
18	149,42	25,54
19	21,90	3,74
20	102,23	17,48
21	21,90	3,74
22	25,35	4,33
23	17,39	2,97
24	14,22	2,43
25	20,04	3,43
26	121,75	20,81
27	30,24	5,17

Tablo 8.7 Uzatılabilir göçük sarmasında meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri

Durum	Maks. gerilme (MPa)	%
1	2,47	0,42
2	47,97	8,20
3	23,98	4,10
4	2,46	0,42
5	14,39	2,46
6	26,38	4,51
7	50,37	8,61
8	57,60	9,85
9	52,81	9,03
10	33,38	5,71
11	5,74	0,98
12	15,85	2,71
13	36,54	6,25
14	3,28	0,56
15	27,45	4,69
16	3,65	0,62
17	56,31	9,63
18	63,08	10,78
19	3,05	0,52
20	44,38	7,59
21	3,05	0,52
22	3,45	0,59
23	2,52	0,43
24	2,38	0,41
25	2,83	0,48
26	52,79	9,02
27	12,83	2,19

Tablo 8.8 Ön direklerde meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri

Durum	Maks. gerilme (MPa)	%
1	564,52	94,09
2	591,97	98,66
3	603,03	100,51
4	426,03	71,01
5	586,68	97,78
6	608,85	101,48
7	583,94	97,32
8	414,44	69,07
9	333,56	55,59
10	469,12	78,19
11	629,80	104,97
12	481,67	80,28
13	560,72	93,45
14	199,52	33,25
15	550,83	91,81
16	267,14	44,52
17	428,20	71,37
18	420,45	70,08
19	530,66	88,44
20	467,83	77,97
21	530,66	88,44
22	608,41	101,40
23	428,99	71,50
24	357,23	59,54
25	488,80	81,47
26	454,07	75,68
27	492,53	82,09

Tablo 8.9 Arka direklerde meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri

Durum	Maks. gerilme (MPa)	%
1	57,93	9,66
2	48,23	8,04
3	56,01	9,34
4	43,19	7,20
5	56,94	9,49
6	55,97	9,33
7	46,73	7,79
8	26,89	4,48
9	19,69	3,28
10	20,13	3,36
11	28,24	4,71
12	21,36	3,56
13	24,39	4,07
14	8,80	1,47
15	24,21	4,04
16	11,85	1,98
17	17,73	2,96
18	17,18	2,86
19	22,13	3,69
20	19,88	3,31
21	22,13	3,69
22	25,39	4,23
23	17,87	2,98
24	14,87	2,48
25	20,38	3,40
26	19,38	3,23
27	20,63	3,44

Tablo 8.10 Ön lemniskatlarda meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri

Durum	Maks. gerilme (MPa)	%
1	91,29	15,22
2	29,87	4,98
3	56,65	9,44
4	67,10	11,18
5	72,17	12,03
6	53,08	8,85
7	28,44	4,74
8	41,24	6,87
9	46,07	7,68
10	77,24	12,87
11	189,88	31,65
12	122,36	20,39
13	109,44	18,24
14	54,86	9,14
15	122,39	20,40
16	76,08	12,68
17	49,06	8,18
18	43,42	7,24
19	191,61	31,94
20	106,66	17,78
21	191,61	31,94
22	220,52	36,75
23	153,80	25,63
24	127,12	21,19
25	176,04	29,34
26	89,62	14,94
27	161,87	26,98

Tablo 8.11 Arka lemniskatda meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri

Durum	Maks. gerilme (MPa)	%
1	149,69	24,95
2	47,44	7,91
3	67,15	11,19
4	108,52	18,09
5	104,04	17,34
6	58,45	9,74
7	53,89	8,98
8	135,47	22,58
9	138,59	23,10
10	80,74	13,46
11	253,18	42,20
12	156,20	26,03
13	125,73	20,96
14	71,55	11,93
15	150,06	25,01
16	100,09	16,68
17	69,31	11,55
18	79,88	13,31
19	231,09	38,52
20	104,94	17,49
21	231,09	38,52
22	266,26	44,38
23	185,09	30,85
24	152,62	25,44
25	212,15	35,36
26	99,75	16,63
27	188,83	31,47

Tablo 8.12 Tavan sarması bağlantı pimlerinde meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri

Durum	Maks. gerilme (MPa)	%
1	329,43	54,91
2	354,82	59,14
3	356,30	59,38
4	248,87	41,48
5	344,80	57,47
6	360,18	60,03
7	350,64	58,44
8	253,53	42,26
9	205,49	34,25
10	322,23	53,71
11	422,22	70,37
12	327,29	54,55
13	383,93	63,99
14	134,76	22,46
15	376,09	62,68
16	179,93	29,99
17	296,83	49,47
18	292,44	48,74
19	370,01	61,67
20	331,64	55,27
21	370,01	61,67
22	424,15	70,69
23	299,21	49,87
24	249,23	41,54
25	340,86	56,81
26	323,13	53,86
27	344,80	57,47

Tablo 8.13 Göçük sarması bağlantı pimlerinde meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri

Durum	Maks. gerilme (MPa)	%
1	69,49	11,58
2	610,40	101,73
3	315,04	52,51
4	59,12	9,85
5	196,76	32,79
6	344,69	57,45
7	639,81	106,64
8	725,14	120,86
9	664,34	110,72
10	536,19	89,37
11	416,28	69,38
12	279,51	46,59
13	533,26	88,88
14	116,77	19,46
15	426,92	71,15
16	163,81	27,30
17	733,65	122,28
18	809,60	134,93
19	134,23	22,37
20	695,66	115,94
21	134,23	22,37
22	150,49	25,08
23	113,07	18,85
24	98,24	16,37
25	125,50	20,92
26	816,43	136,07
27	248,28	41,38

Tablo 8.14 Taban şasisi bağlantı pimlerinde meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri

Durum	Maks. gerilme (MPa)	%
1	186,16	31,03
2	21,61	3,60
3	111,84	18,64
4	136,32	22,72
5	145,14	24,19
6	104,14	17,36
7	23,25	3,88
8	93,63	15,61
9	103,07	17,18
10	124,66	20,78
11	346,67	57,78
12	219,75	36,63
13	186,73	31,12
14	99,73	16,62
15	216,30	36,05
16	138,53	23,09
17	30,42	5,07
18	25,28	4,21
19	343,83	57,31
20	185,03	30,84
21	343,83	57,31
22	395,64	65,94
23	276,09	46,02
24	228,27	38,05
25	315,94	52,66
26	152,47	25,41
27	289,19	48,20

Tablo 8.15 Ayna tutucuda meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve esneme dayanımı seviyesine ulaşma yüzdeleri

Durum	Maks. gerilme (MPa)	%
1	30,92	5,29
2	33,53	5,73
3	33,52	5,73
4	23,54	4,02
5	32,40	5,54
6	33,89	5,79
7	33,17	5,67
8	24,32	4,16
9	19,89	3,40
10	30,85	5,27
11	39,95	6,83
12	31,26	5,34
13	36,52	6,24
14	13,54	2,31
15	35,77	6,11
16	17,69	3,02
17	28,57	4,88
18	28,18	4,82
19	37,42	6,40
20	33,76	5,77
21	37,42	6,40
22	42,66	7,29
23	30,56	5,22
24	25,71	4,39
25	34,59	5,91
26	32,95	5,63
27	34,99	5,98

8.10 Sonuçların Değerlendirilmesi ve Öneriler

Tablo 8.3’de verilen sonuçlara bakıldığında, tavan sarmasında meydana gelen maksimum gerilmelerin 27 adet farklı çalışma koşulunda, esneme dayanımının altında kaldığı görülmektedir. Bu gerilmeler 11. ve 22. durumlarda esneme dayanımının % 90’ ının üstüne çıkmıştır. Phase^{2D} saha modellerinden elde edilen ve Tablo 6.5’de verilen tavan sarması ve göçük sarması üzerinde meydana gelen gerilmelere göre, 11. ve 22. durumlarda tavan sarmasının üstünde meydana gelen gerilmeler sırasıyla 1,01 MPa ve 1,00 MPa’dır. Bu değerlerin tahkimatın esneme çalışma basıncının (0,94 MPa) üzerinde olması nedeniyle, bu durumlarda tavan sarmasında meydana gelen gerilmelerin çeliğin esneme dayanım sınırına yakın olması olasılıkları yüksektir.

Tablo 8.4’de verilen sonuçlara göre taban şasisinde meydana gelen maksimum gerilmelerin 27 adet farklı çalışma koşulu için çelik malzemenin esneme dayanımının altında kaldığı görülmektedir. Taban şasisinin esneme dayanımına yüzdesel olarak en fazla yaklaştığı durum % 41,75 ile 22. durumdur (3,5 m çalışma yüksekliği, meyil alçalma yönünde 5° ayak eğimi). Bu durumu % 37,25 ile 11. durum izlemektedir. 11. ve 22. durumlarda tavan sarması üstünde meydana gelen gerilmelerin tahkimatın esneme çalışma basıncının üzerinde olması nedeniyle bu durum olağandır.

Tablo 8.5’de ana göçük sarmasında meydana gelen maksimum gerilme değerlerine göre, gerilmelerin tüm durumlarda çelik malzemenin esneme dayanımının altında olduğu görülmektedir. Ana göçük sarmasının esneme dayanımına yüzdesel olarak en fazla % 39,68 ile 18. durum ve % 36,90 ile 8. durumda yaklaştığı görülmektedir. 18. durum ve 8. durumda göçük sarması üstünde meydana gelen gerilmeler sırasıyla 0,26 MPa ve 0,23 MPa’dır. Göçük sarmasına etki eden gerilmeler bu durumlarda, diğer durumlara göre daha yüksektir. Bu nedenle, 18. ve 8. durumda ana göçük sarması esneme dayanımına yüzdesel olarak daha fazla yaklaşmıştır.

Tablo 8.6’da verilen değerlere göre hareketli göçük sarmasında meydana gelen maksimum gerilme değerlerinin tüm durumlarda esneme dayanımının altında olduğu

görülmektedir. Ana göçük sarması esneme gerilmesine en fazla % 25,54 ile 18. durumda ve % 22,66 ile 17. durumda yaklaşmıştır.

Uzatılabilir göçük sarmasında meydana gelen ve Tablo 8.7’de verilen maksimum gerilmelere bakıldığında, gerilmelerin tüm durumlarda çelik malzemenin esneme dayanımının oldukça altında olduğu görülmektedir. Göçük tarafından gelen gerilmelerin 18. ve 8. durumlarda fazla olması nedeniyle, uzatılabilir göçük sarması en fazla bu durumlarda esneme dayanımına yüzdesel olarak sırasıyla % 10,78 ve % 9,85 olacak şekilde yaklaşmıştır.

Tablo 8.8’de verilen maksimum gerilme değerlerine göre ön direklerde meydana gelen gerilmelerin 3, 6, 11. ve 22. durumlardaki esneme dayanımının üstüne çıktığı görülmektedir. Tablo 6.5’de verilen değerlere göre 3. durumda tavan gerilmesi 0,87 MPa, göçük gerilmesi 0,09 MPa, 6. durumda tavan gerilmesi 0,88 MPa, göçük gerilmesi 0,10 MPa, 11. durumda tavan gerilmesi 1,01 MPa, göçük gerilmesi 0 MPa ve 22. durumda tavan gerilmesi 1 MPa, göçük gerilmesi 0 MPa’dır. 3. ve 6. durumlarda tavan sarması üzerinde meydana gelen gerilmeler 13. ve 15. durumlarda daha fazla olmasına karşın ön direklerde meydana gelen gerilmeler bu durumlardaki esneme dayanımına ulaşmamışlardır. Bu durum çalışma yüksekliğine bağlı olarak açıklanabilir. 3. ve 6. durumlar 2,5 metre çalışma yüksekliği, 13. ve 15. durumlar ise 3 metre çalışma yüksekliğinin olduğu durumlardır. 11. ve 22. durumlarda tavan sarması üstünde meydana gelen gerilmeler tahkimatın esneme çalışma basıncının (0,94 MPa) üstünde olmasından dolayı, bu durumlarda ön direklerde esneme dayanımının üstüne çıkılması normaldir. Ön direklerde meydana gelen gerilmelerin bu çalışma koşullarında esneme dayanımının altında kalması için kullanılacak olan tahkimatlarda söz konusu elemanların çelik tipleri daha dayanıklı olan tip ile üretilmeli veya hidrolik direk çapları tahkimat ağırlığının minimum olması, maliyet gibi kısıtlamalarda dikkate alınarak ve katı modelleme programları yardımıyla en uygun düzeyde artırılmalıdır.

Tablo 8.9’da arka direkler için verilen maksimum gerilme değerlerine bakıldığında tüm durumlarda meydana gelen gerilmelerin çeliğin esneme dayanımının oldukça

görülmektedir. Tavan sarması üzerinde meydana gelen gerilmelerin 22. durumda ve 11. durumda maksimum seviyede olması nedeniyle, pimlerde meydana gelen gerilmeler en fazla bu durumlarda yüzdesel olarak sırasıyla % 70,69 ve % 70,37 oranında esneme dayanımına yaklaşmışlardır.

Tablo 8.13’de verilen ve göçük sarması ile lemniskat bağlantıları, hareketli göçük sarmasını, uzatılabilir göçük sarmasını ve uzatılabilir göçük sarmasının itme pistonlarını birbirine bağlayan göçük sarması pimlerinde meydana gelen maksimum gerilmelerin 2, 7, 8, 9, 17, 18, 20. ve 26. durumlarda çelik malzemenin esneme dayanımının üzerine çıktığı görülmektedir. Tahkimat üreticisi firmayla yapılan yazışmalarda, yürüyen tahkimat için en zayıf bölgelerin göçük kısmında yer alan bağlantı pimleri olduğu üretim mühendisleri tarafından belirtilmiştir. Phase^{2D} programında oluşturulan 27 adet uzun ayak modeli içinde yukarıda belirtilen durumlarda göçük sarması üzerinde meydana gelen gerilmeler maksimum seviyededir (Tablo 6.5). Dolayısıyla bu çalışma koşullarında kullanılacak olan yürüyen tahkimatların göçük sarması bağlantı pimlerinin çelik malzeme tipi değiştirilerek pimlerin dayanımı arttırılmalı veya pim çapları tahkimat katı modeli üzerinde çeşitli çaplarda olacak şekilde değiştirilip gerilme analizi işlemi yapıldıktan sonra sonuçlara göre en uygun şekilde arttırılmalıdır.

Tablo 8.14’de verilen ve taban şasisi ile lemniskat bağlantıları birbirine bağlayan bağlantı pimlerinde meydana gelen maksimum gerilmelerin tüm durumlarda çelik malzemenin esneme dayanımının altında kaldığı görülmektedir. Tavan sarması üzerinde oluşan gerilmeler 11. ve 22. durumlarda maksimum değerlerde olduğu için, taban şasisi bağlantı pimleri de yük aktarma bölgeleri üzerinde yer almalarından dolayı en fazla bu durumlarda yüzdesel olarak % 57,78 ve % 65,94 ile esneme dayanımına yaklaşmışlardır.

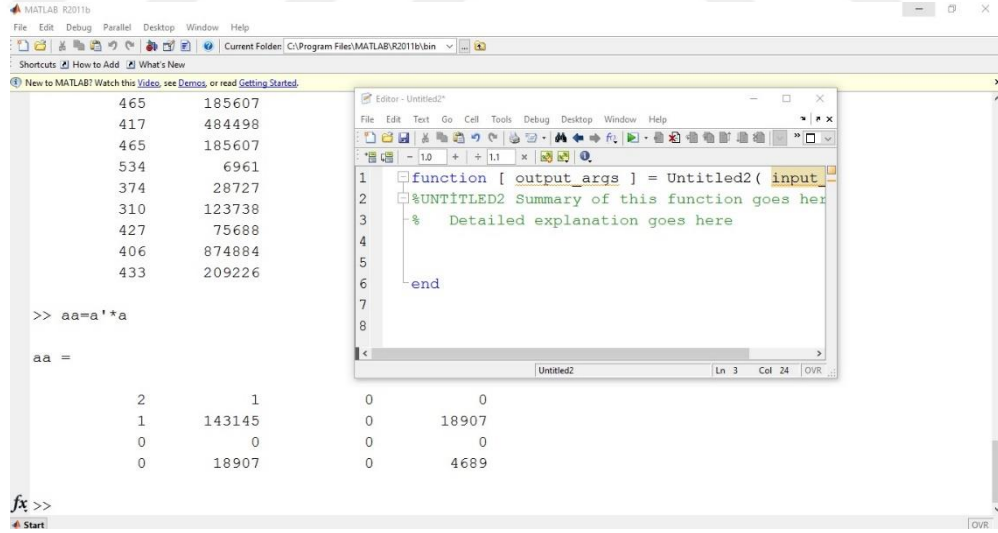
Tablo 8.15’de verilen gerilme değerlerine göre, ayna tutucuda meydana gelen maksimum gerilmelerin tüm durumlarda çelik malzemenin esneme dayanımının altında kaldığı görülmektedir. Ayna tutucu yürüyen tahkimat üzerinde yer aldığı bölge itibariyle direkt basınç altında olan bir parça olmadığı için bu durum olağandır.

BÖLÜM DOKUZ

GERİLME SONUÇLARININ MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

9.1 Giriş

Matematiksel modelleme çalışmalarında Matlab sayısal çözümleme programı kullanılmıştır. MATLAB, bilim insanları ve mühendislerin, matrislere dayalı problemleri program yazmaksızın çözebilmelerini sağlamak amacıyla tasarlanmış bir sayısal çözümleme programıdır. İsmi, MATris LABoratuvarı kelimelerinin ilk hecelerinin birleştirilmesiyle oluşmuştur. Temelde sayısal ve analitik olarak matematiksel fonksiyonların ifadelerinin kullanıldığı, başta mühendislik alanında olmak üzere bir çok disiplinde sayısal analiz yöntemleri son yıllarda oldukça sık kullanılan bir yazılım paketidir. Özellikle yüksek performans gerektiren algoritma hazırlama ve geliştirme, sayısal analiz, benzetim, mühendislik sorunlarının sayısal ve grafik çözüm tekniklerinde etkin olarak kullanılmaktadır (Uzunoğlu ve diğer., 2003). Matlab programının ekran görüntüsü Şekil 9.1’de verilmiştir.



Şekil 9.1 Matlab programı veri giriş ekranı

Gerilme analizi sonuçları, Matlab matematiksel modelleme programıyla formüle edilerek 22 adet matematiksel model ve sayısal eşitlik üretilmiştir. Her bir matematiksel model için ANSYS programından elde edilen tahkimat elemanlarında meydana gelen gerilmeler ile matematiksel modellemeler sonucunda elde edilen

gerilme değerleri karşılaştırılmış ve aralarındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Tahkimat elemanlarında meydana gelen gerilmeler, oluşturulan matematiksel modeller yardımıyla gerçeğe en yakın olacak şekilde hesaplanmış ve sonuçlar aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

9.2 Matematiksel Modelin Hazırlanması

Matematiksel modellerin hazırlanmasında (ANSYS gerilme analizi sonucunda) tahkimat elemanlarında meydana gelen gerilme değerlerinin dağılımları esas alınmıştır. Bu dağılımlara uygun matematiksel eşitlikler üretilmiş ve Matlab programında bu eşitliklere ait katsayılar hesaplanmıştır. Hesaplanan katsayılar daha sonra eşitliklerde yerlerine konulmuş ve parçalarda meydana gelen gerilme değerleri hesaplanmıştır.

rnek olarak: $z = ax + by$ eşitliğinde;

z = Tahkimat elemanında meydana gelen gerilme (MPa) (ANSYS programı gerilme analizi çalışmaları sonucunda elde edilen)

x = Tavan sarması üzerinde meydana gelen gerilme (MPa) (Phase^{2D} nümerik saha modelleme çalışmaları sonucunda elde edilen)

y = Gk sarması üzerinde meydana gelen gerilme (MPa) (Phase^{2D} nümerik saha modelleme çalışmaları sonucunda elde edilen) olarak Matlab programına tanıtılmış ve program yardımıyla a ve b katsayıları elde edilmiştir. Daha sonra a ve b katsayıları eşitlikte yerlerine konularak farklı tavan ve gk gerilmelerinde tahkimatın ilgili parçasında meydana gelmesi beklenen maksimum gerilme değeri matematiksel olarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yazılan her matematiksel model 13 adet tahkimat elemanı üzerinde denenmiş ve matematiksel modelden elde edilen gerilme değerleriyle gerçekte meydana gelen gerilme değerleri arasındaki korelasyon katsayıları dikkate alınarak oluşturulan modellerin geçerliliği belirlenmiştir.

27 farklı uzun ayak modelinden elde edilen tavan ve gk bölgelerinde oluşmuş ortalama gerilme değerleri sırasıyla x ve y değişkenleri olarak Matlab yazılımında A matrisi içinde girilmektedir. ıktı olarak ANSYS gerilme analizi programından elde

edilen ve ilgili tahkimat elemanında meydana gelen maksimum gerilme değerleri ise z değişkeni olarak B matrisi içinde programa girilmektedir. Bu işlemlerden sonra eşitlikte bulunan a ve b katsayıları, Matlab yazılımında aşağıdaki eşitlikler yardımıyla elde edilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ x_{27} & y_{27} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \dots \\ \dots \\ z_{27} \end{bmatrix} \quad (9.1)$$

$$A \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = B \quad (9.2)$$

$$A^T \cdot A \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = A^T \cdot B \quad (9.3)$$

$$A^T \cdot A = AA, A^T \cdot B = BB \quad (9.4)$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (AA)^{-1} \cdot BB \quad (9.5)$$

9.3 Çalışmada Kullanılan Matematiksel Modeller

Çalışmada kullanılan matematiksel modeller Tablo 9.1’de verilmiştir. Ayrıca modellere ait yüzey grafiklerini çizdirmek için yazılan Matlab komutları ve grafikler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Tablo 9.1 Matematiksel modeller

Model no	Formül
1	$z = ax + by$
2	$z = ax^2 + by^2$
3	$z = ax^3 + by^3$
4	$z = ax^4 + by^4$
5	$z = e^{ax+by}$
6	$z = e^{ax+by+c}$
7	$z = ae^{bx+cy}$
8	$z = ae^{bx^2+cy^2}$
9	$z = ae^{bx^3+cy^3}$
10	$z = asinx + bcosy$
11	$z = asinx + bcosy + c$
12	$z = asinx^{-1} + bcosy^{-1}$

Tablo 9.1 Matematiksel modeller (devamı)

13	$z = a \sin x^{-1} + b \cos y^{-1} + c$
14	$z = (ax + by + c)^{-2}$
15	$z = (ax + by + c)^{-3}$
16	$z = (ax + by + c)^{-4}$
17	$z = (ax + by + c)^{-5}$
18	$z = (ax + by + c)^{-10}$
19	$z = ax + by + c$
20	$z = ax^2 + by^2 + c$
21	$z = ax^3 + by^3 + c$
22	$z = (ax^2 + by^2 + c)^{-1}$

9.4 Yüzey Grafiklerinin Çizilmesinde Kullanılan Komutlar

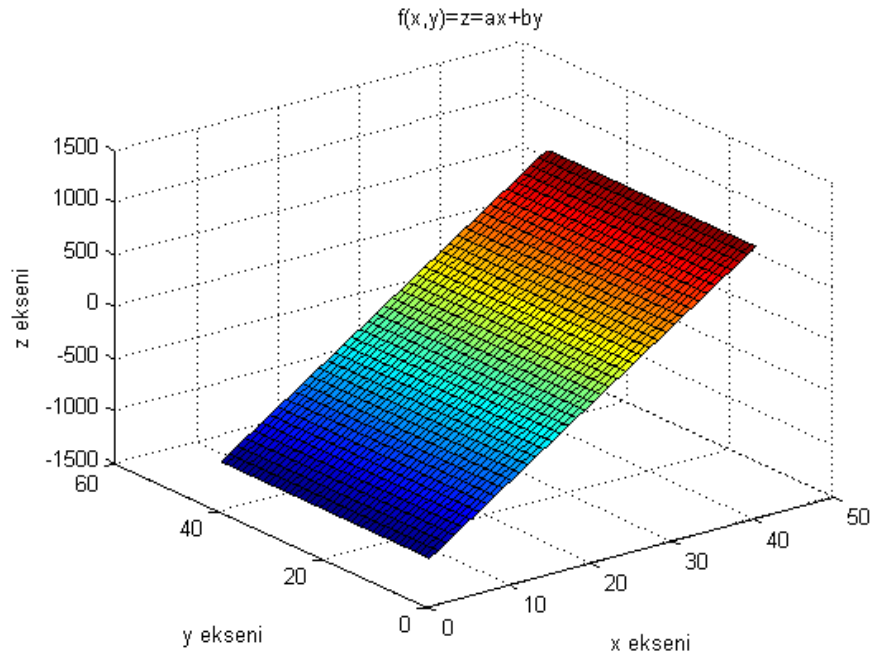
Matlab programında oluşturulan modellerin yüzey grafiklerinin çizdirilmesinde kullanılan komutlar ve yüzey grafikleri Tablo 9.2 ve aşağıda yer alan şekillerde verilmiştir.

Tablo 9.2 Yüzey grafiği çiziminde kullanılan komutlar

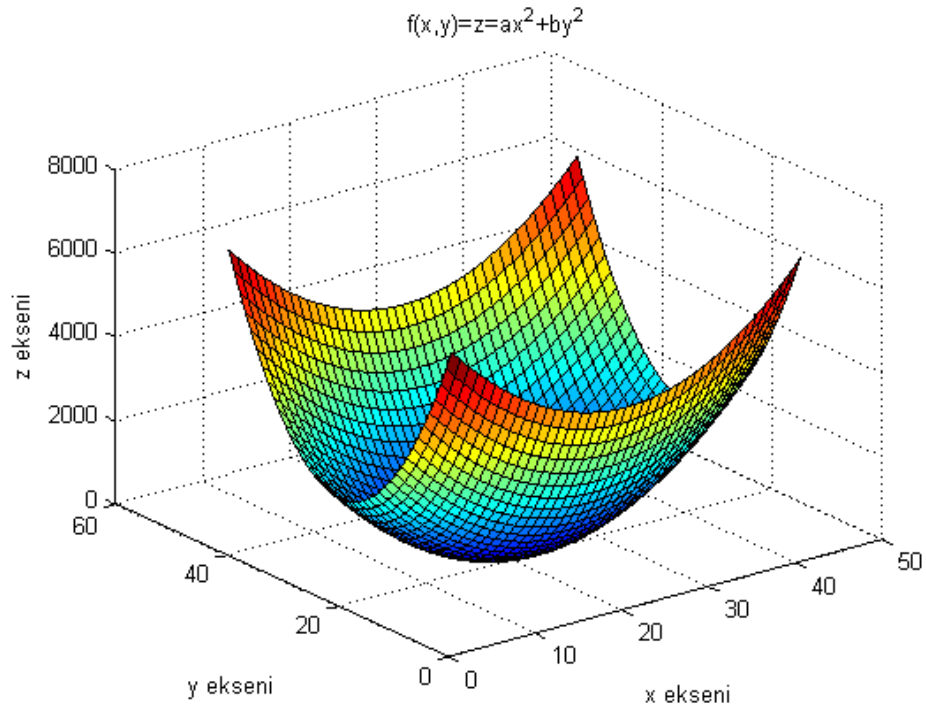
1. model	2. model
<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(534.6961.*x+2.1077.*y); surf(z) >> title('f(x,y)=z=ax+by')</pre>	<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(609.*x.^2+1176.9.*y.^2); surf(z) >> title('f(x,y)=z=ax^2+by^2')</pre>
3. model	4. model
<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(681.4.*x.^3+9170.2.*y.^3); surf(z) >> title('f(x,y)=z=ax^3+by^3')</pre>	<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(733.*x.^4+57617.*y.^4); surf(z) >> title('f(x,y)=z=ax^4+by^4')</pre>
5. model	6. model
<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=exp(1.7659.*x+12.8674.*y); surf(z) >> title('f(x,y)=z=e^(ax+by)')</pre>	<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=exp(1.5206.*x+0.1556.*y+4.8107); surf(z) title('f(x,y)=z=e^(ax+by+c)')</pre>
7. model	8. model
<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=exp(4.8107)*exp(1.52.*x+0.163.*y); surf(z) title('f(x,y)=ae^(bx+cy)')</pre>	<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=exp(5.303)*exp(1.083.*x.^2+1.3084.*y.^2); surf(z) title('f(x,y)=ae^(bx^2+cy^2)')</pre>

Tablo 9.2 Yüzey grafiği çiziminde kullanılan komutlar (devamı)

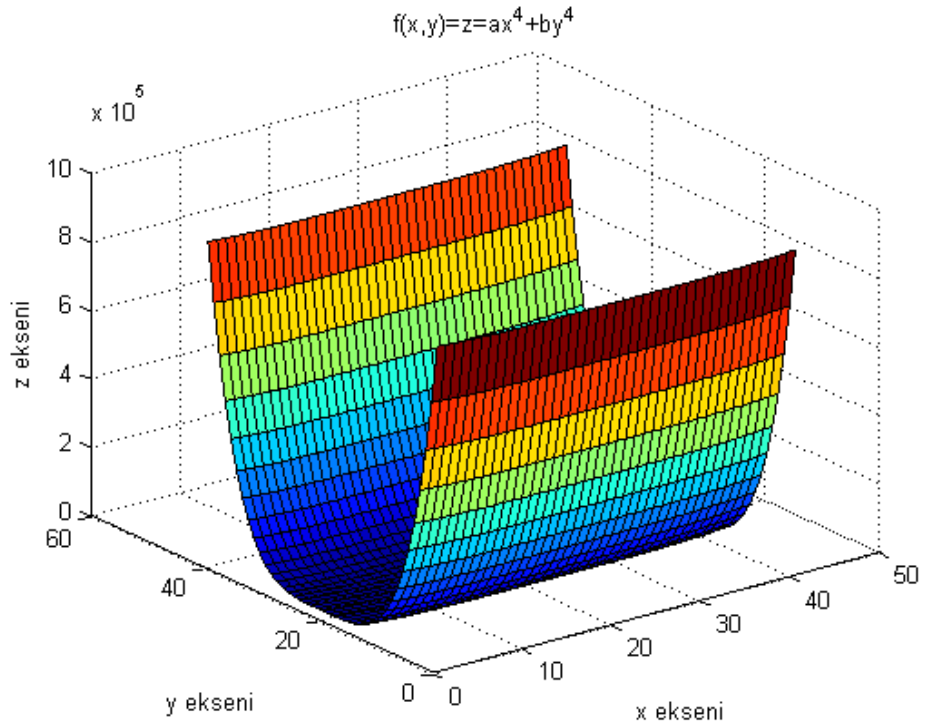
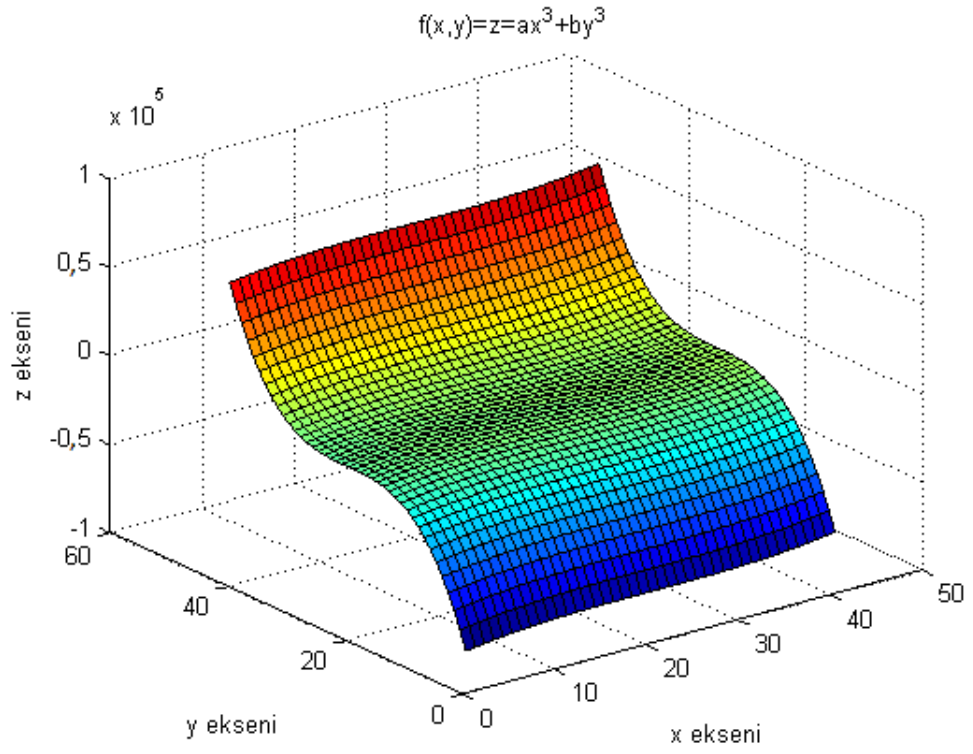
9. model	10. model
<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=exp(5.4922)*exp(0.9448.*x.^3+5.9972.*y.^3); surf(z) title('f(x,y)=ae^(bx^3+cy^3)')</pre>	<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(679.8133.*sin(x)-55.262.*cos(y)); surf(z) title('f(x,y)=asinx+bcosy')</pre>
11. model	12. model
<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(678.8101.*sin(x)+283.8128.*cos(y)-335.6756); surf(z) title('f(x,y)=asinx+bcosy+c')</pre>	<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(-177.4653./sin(x)+675.4225./cos(y)); surf(z) title('f(x,y)=asinx^-1+bcosy^-1')</pre>
13. model	14. model
<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(-10.50./sin(x)+3822.9./cos(y)-3782); surf(z) title('f(x,y)=asinx^-1+bcosy^-1+c')</pre>	<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(-0.0473.*x-0.0111.*y+0.0892).^2 surf(z) title('f(x,y)=1/(ax+by+c)^2')</pre>
15. model	16. model
<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(-0.0765.*x-0.0038.*y+0.1952).^3 surf(z) title('f(x,y)=1/(ax+by+c)^3')</pre>	<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(-0.0932.*x-0.0205.*y+0.2987).^4 surf(z) title('f(x,y)=1/(ax+by+c)^4')</pre>
17. model	18. model
<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(-0.1023.*x-0.0177.*y+0.382).^5 surf(z) title('f(x,y)=1/(ax+by+c)^5')</pre>	<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(-0.0869.*x-0.0101.*y+0.617).^10 surf(z) title('f(x,y)=1/(ax+by+c)^10')</pre>
19. model	20. model
<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=523.2649.*x-2.2077.*y+9.4926 surf(z) title('f(x,y)=ax+by+c')</pre>	<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=379.4804.*x.^2+212.9302.*y.^2+173.5994 surf(z) title('f(x,y)=ax^2+by^2+c')</pre>
21. model	22. model
<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=336.70.*x.^3+1211.40.*y.^3+235.9 surf(z) title('f(x,y)=ax^3+by^3+c')</pre>	<pre>>> [x,y]=meshgrid(-2:.1:2,-2:.1:2); z=(-0.0042.*x.^2-0.0091.*y.^2+0.0061).^1 surf(z) title('f(x,y)=1/(ax^2+by^2+c)')</pre>

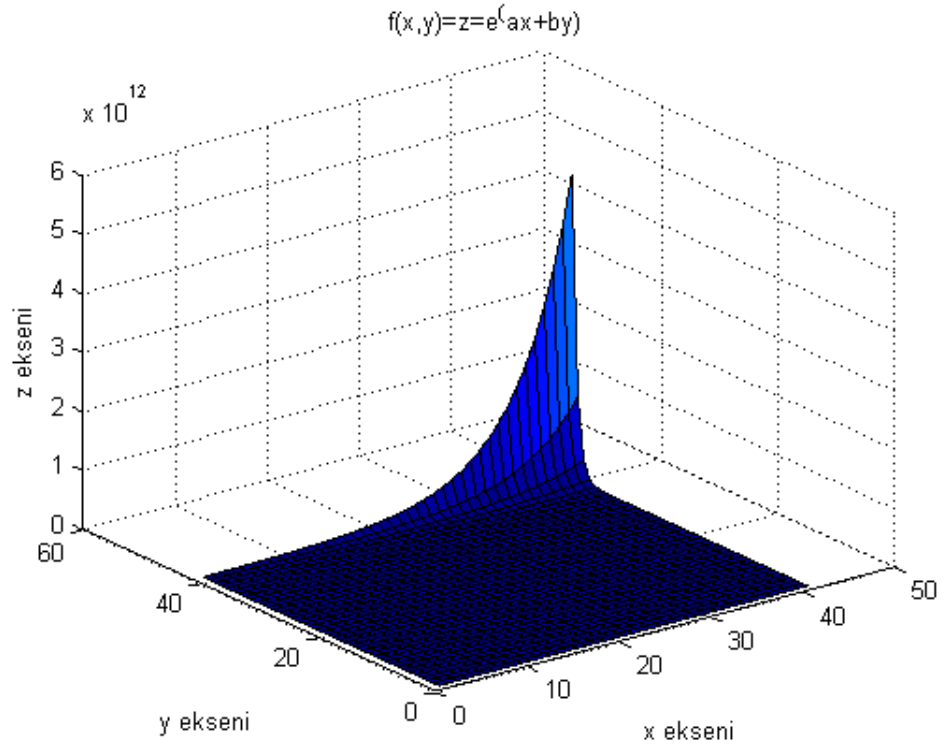


Şekil 9.2 1.model ($z = ax + by$) yüzey grafiği

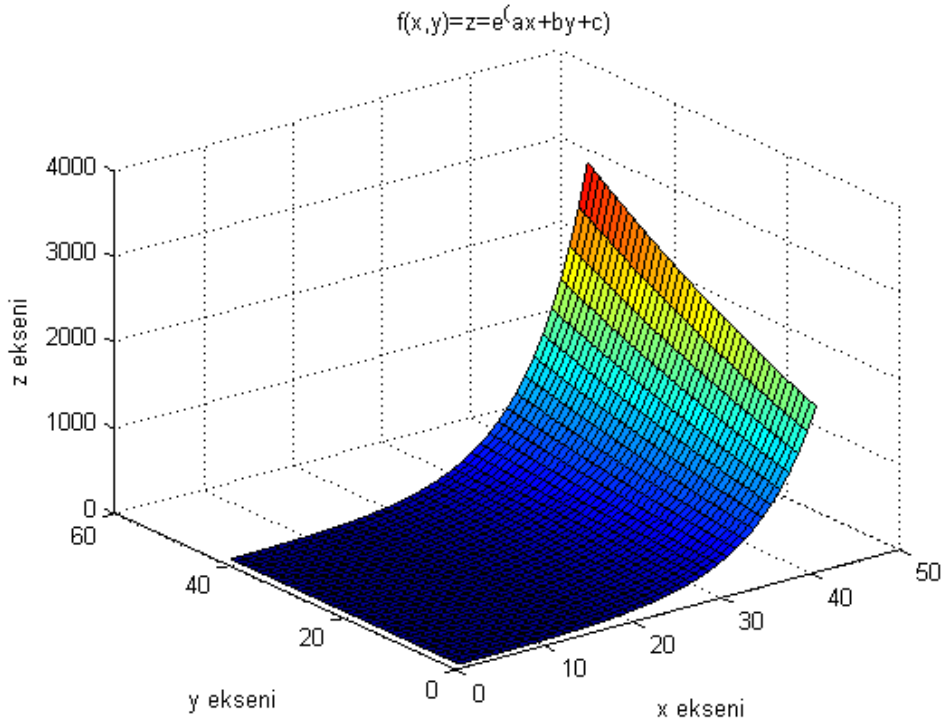


Şekil 9.3 2. model ($z = ax^2 + by^2$) yüzey grafiği

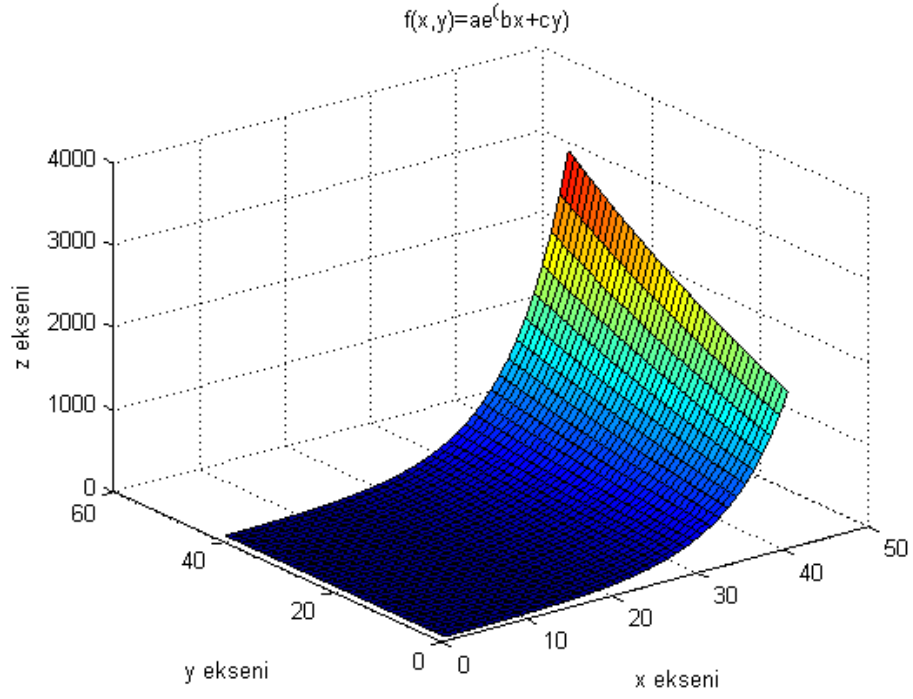




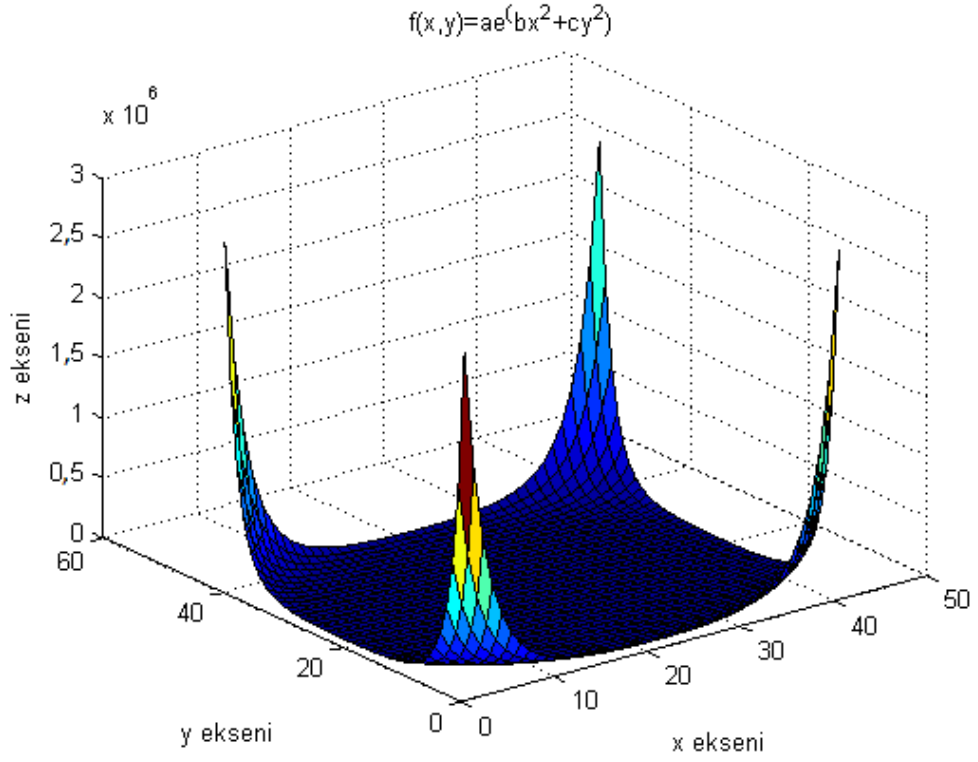
Şekil 9.6 5. model ($z = e^{ax+by}$) yüzey grafiğı



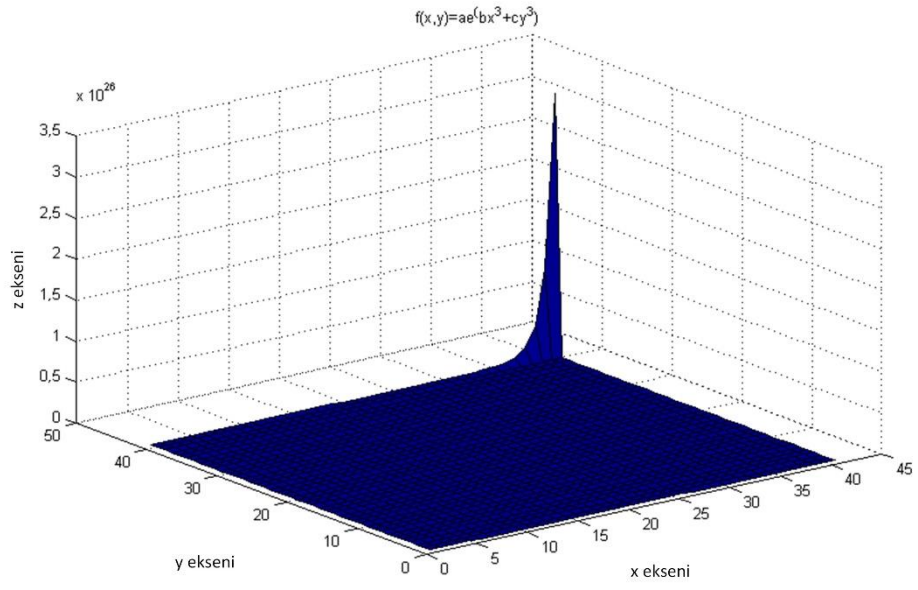
Şekil 9.7 6. model ($z = e^{ax+by+c}$) yüzey grafiğı



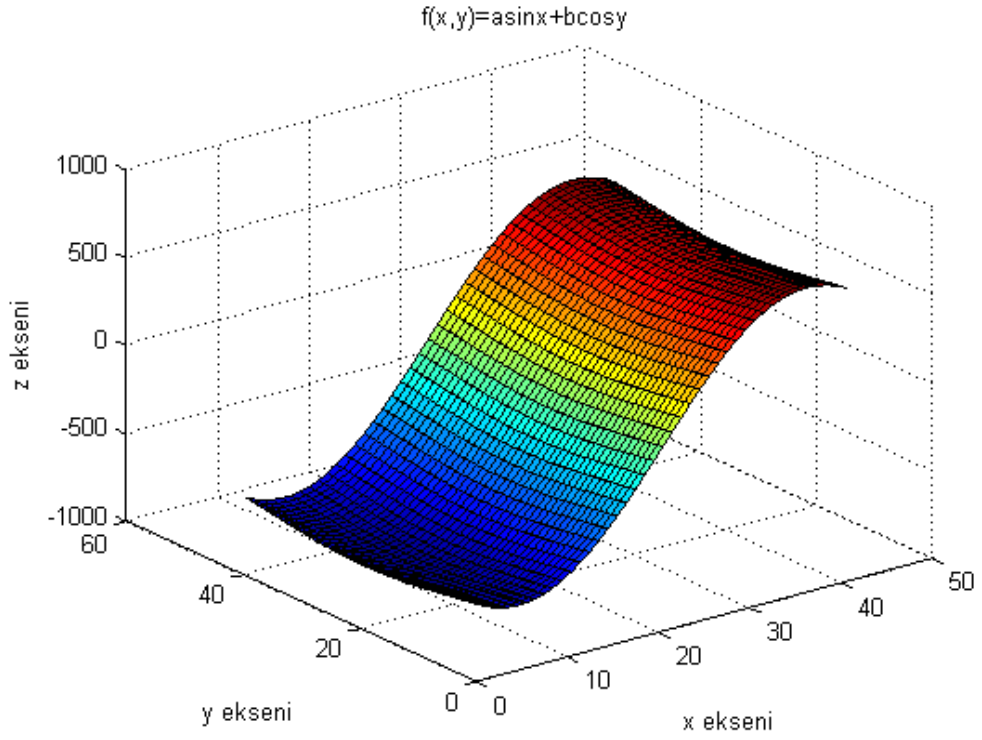
Şekil 9.8 7. model ($z = ae^{bx+cy}$) yüzey grafiği



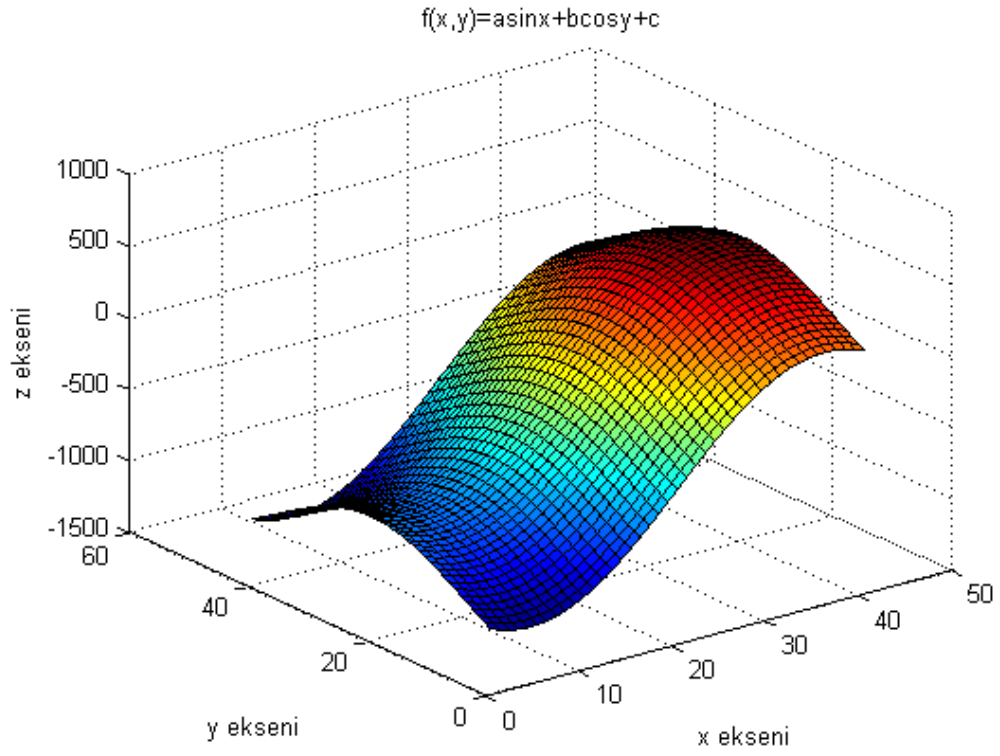
Şekil 9.9 8. model ($z = ae^{bx^2+cy^2}$) yüzey grafiği



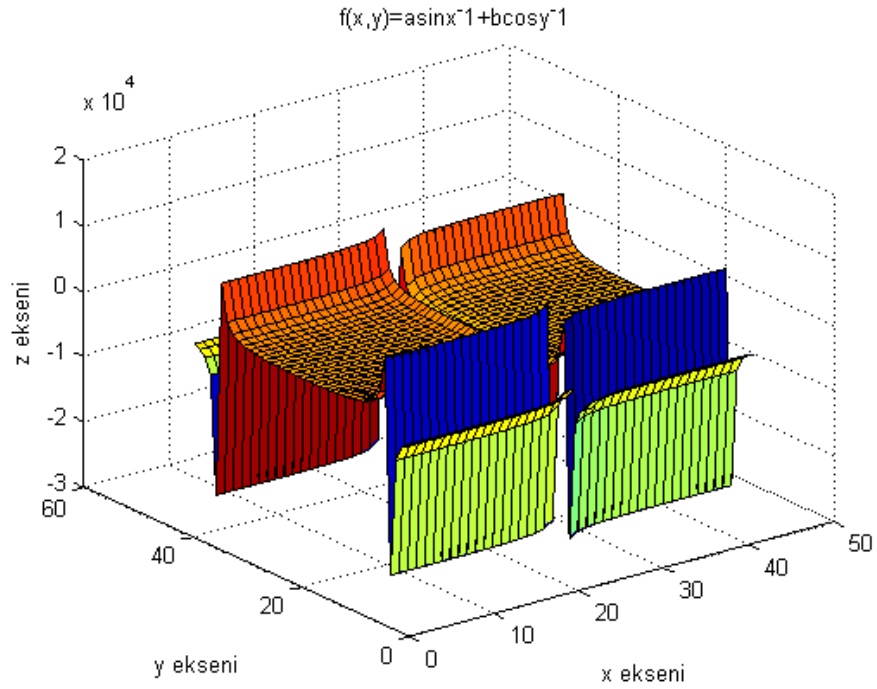
Şekil 9.10 9. model ($z = ae^{bx^3+cy^3}$) yüzey grafiği



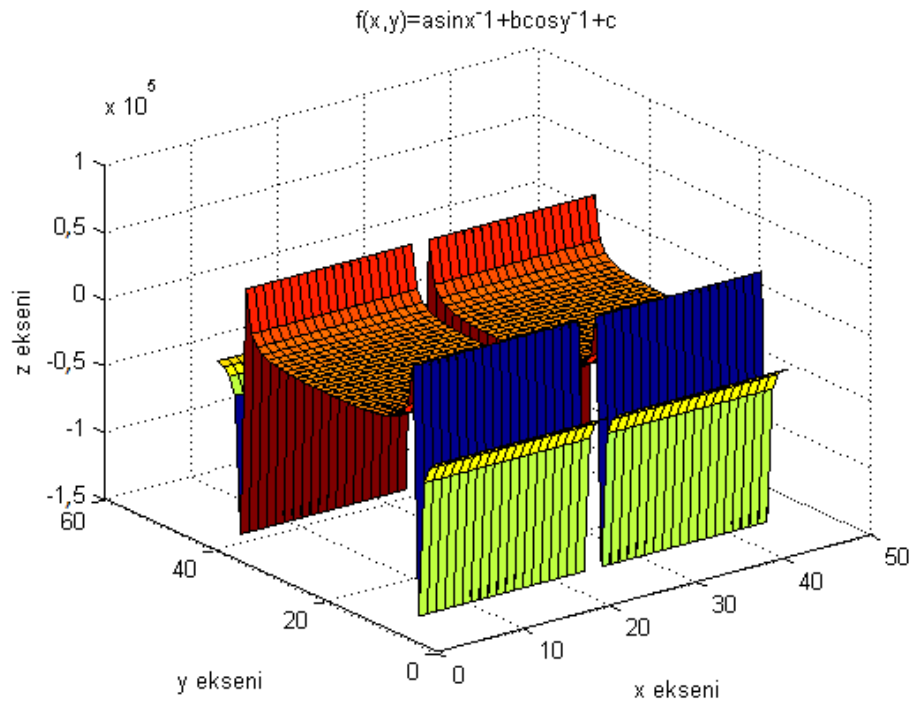
Şekil 9.11 10. model ($z = asinx + bcosy$) yüzey grafiği



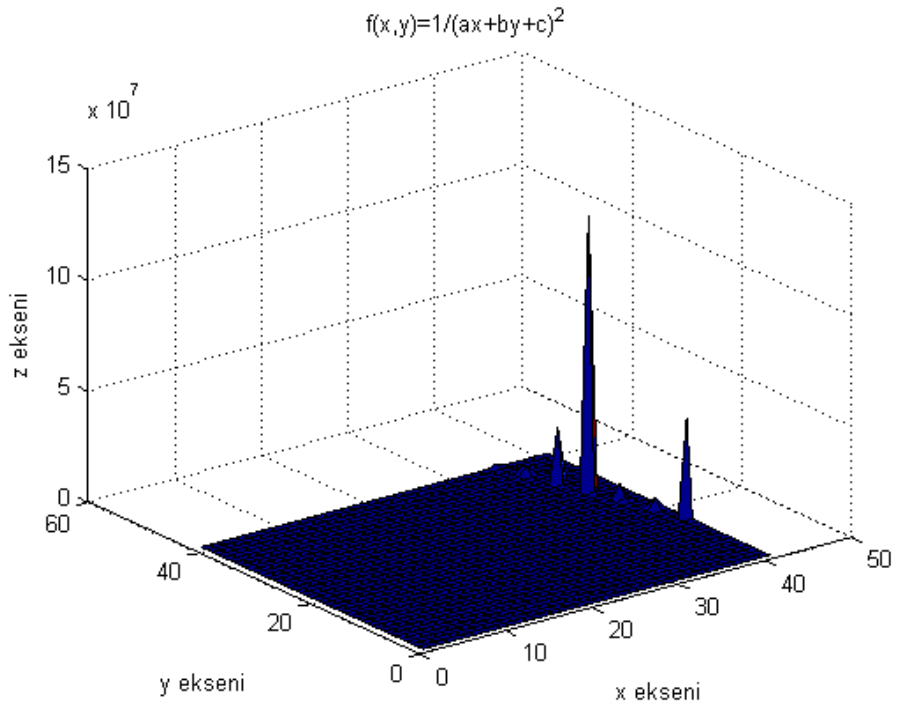
Şekil 9.12 11. model ($z = a\sin x + b\cos y + c$) yüzey grafiği



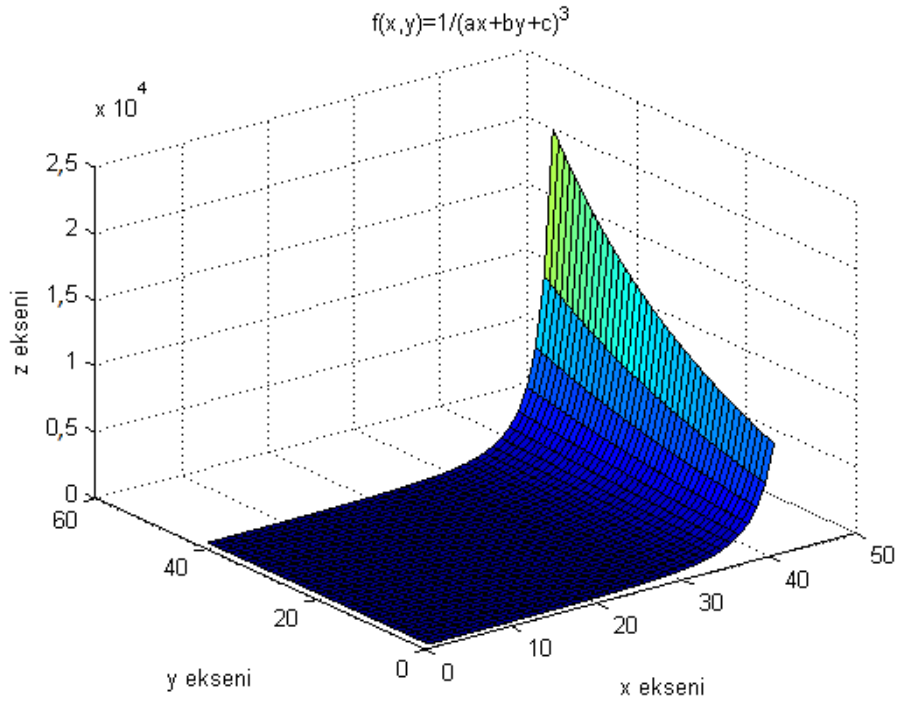
Şekil 9.13 12. model ($z = a\sin x^{-1} + b\cos y^{-1}$) yüzey grafiği



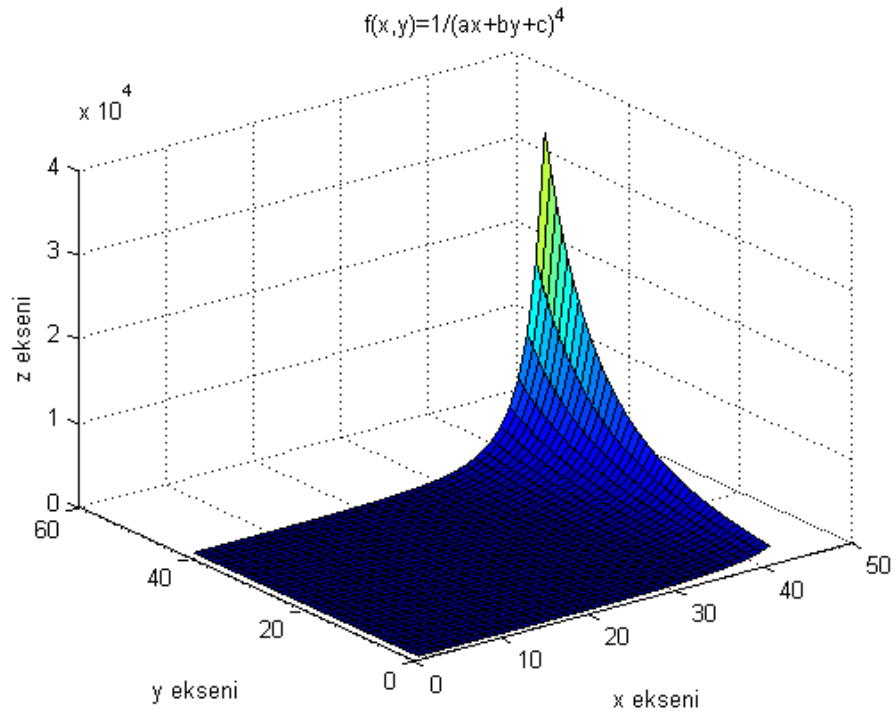
Şekil 9.14 13. model ($z = a\sin x^{-1} + b\cos y^{-1} + c$) yüzey grafiği



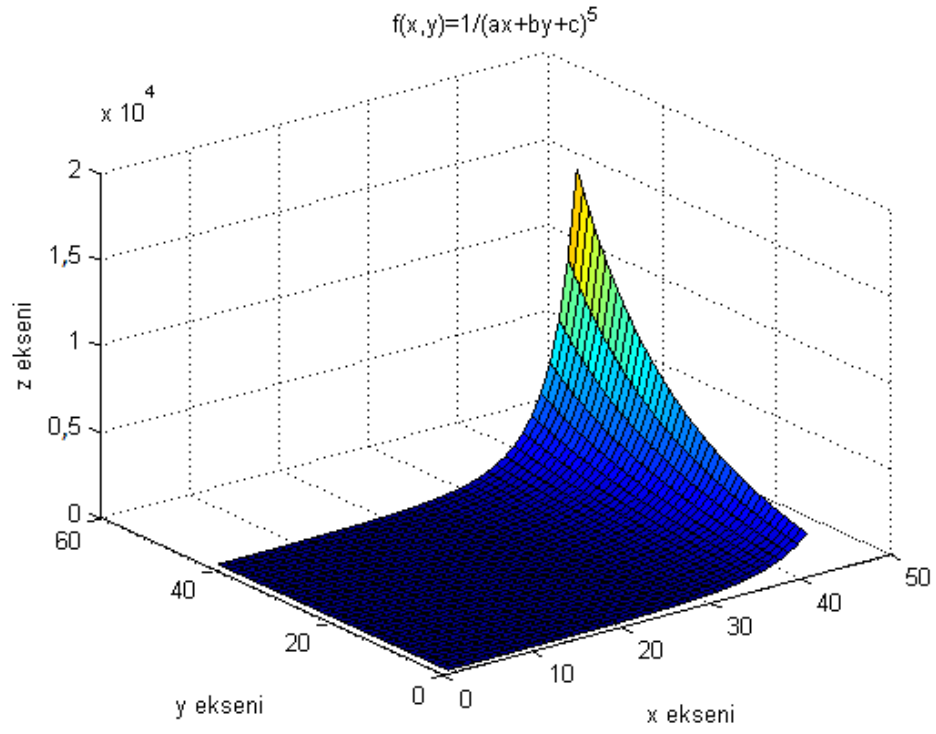
Şekil 9.15 14. model ($z = (ax + by + c)^{-2}$) yüzey grafiği



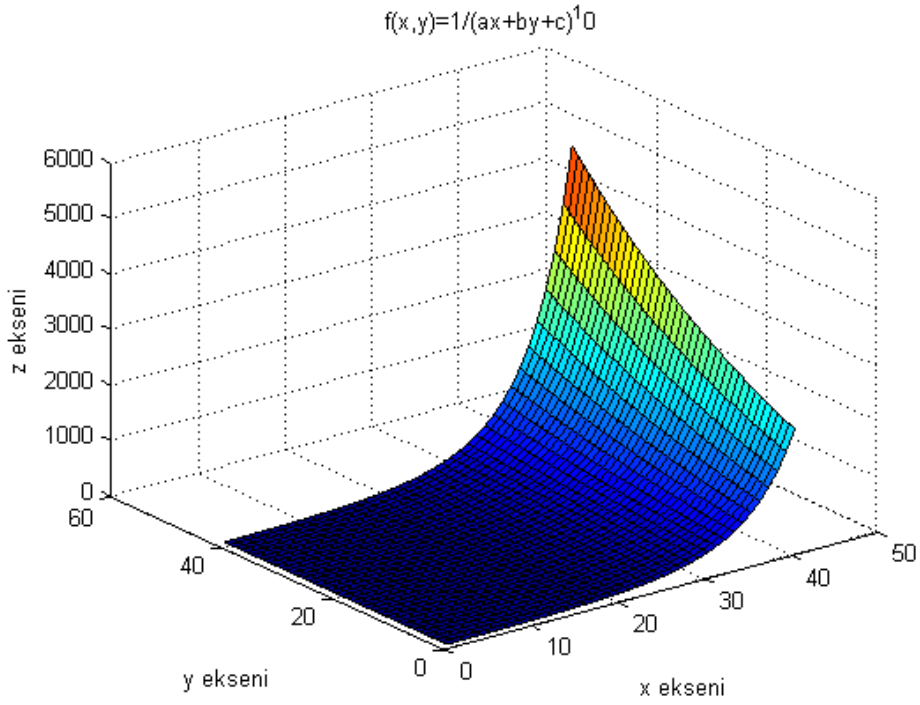
Şekil 9.16 15. model $(z = (ax + by + c)^{-3})$ yüzey grafiği



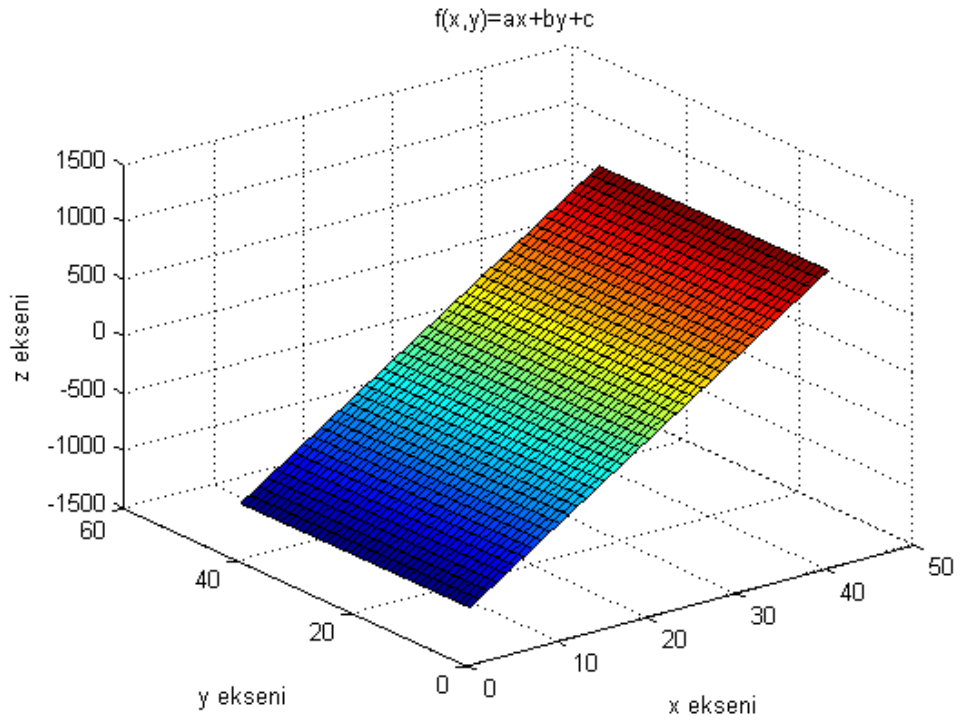
Şekil 9.17 16. model $(z = (ax + by + c)^{-4})$ yüzey grafiği



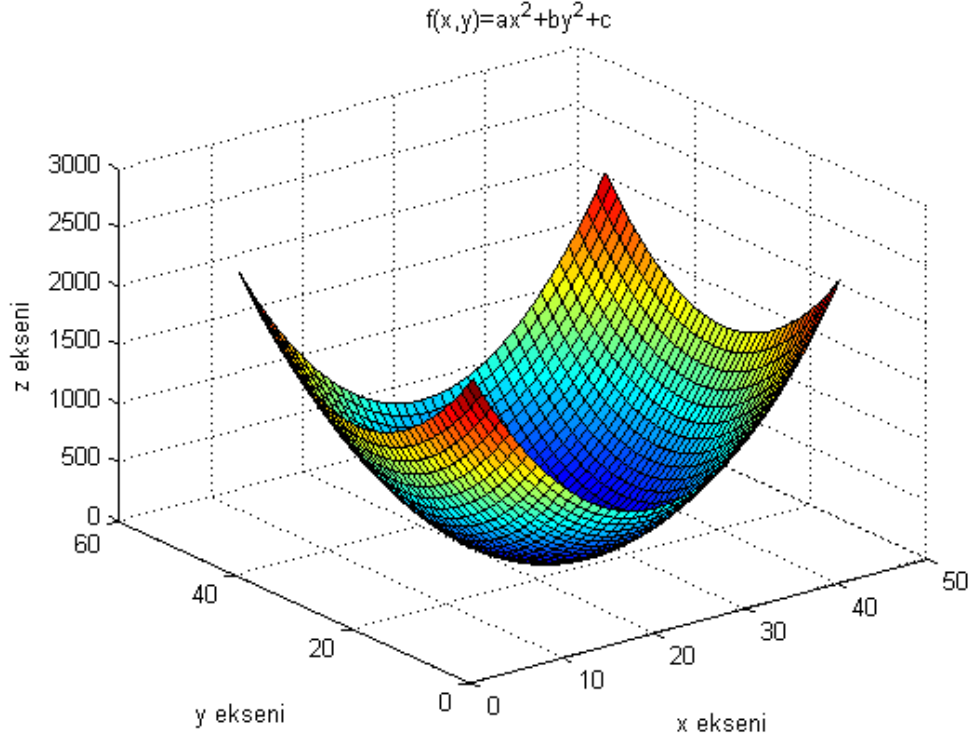
Şekil 9.18 17. model $(z = (ax + by + c)^{-5})$ yüzey grafiği



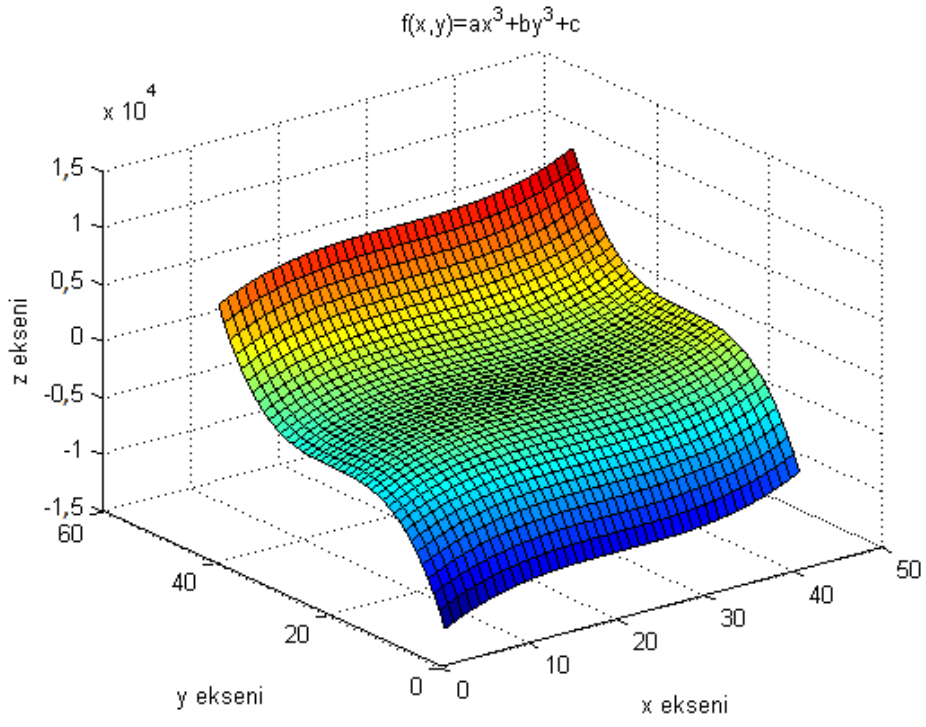
Şekil 9.19 18. model $(z = (ax + by + c)^{-10})$ yüzey grafiği



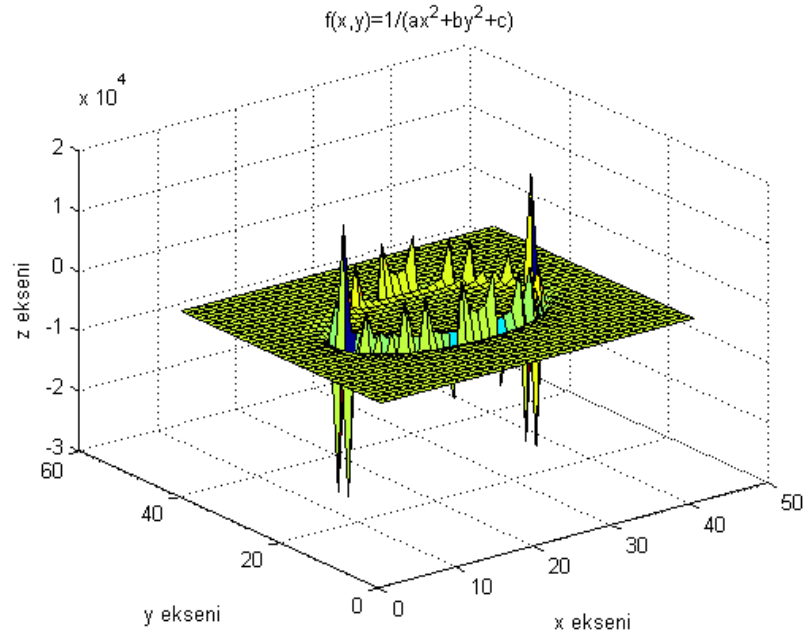
Şekil 9.20 19. model ($z = ax + by + c$) yüzey grafiği



Şekil 9.21 20. model ($z = ax^2 + by^2 + c$) yüzey grafiği



Şekil 9.22 21. model ($z = ax^3 + by^3 + c$) yüzey grafiği



Şekil 9.23 22. model ($z = (ax^2 + by^2 + c)^{-1}$) yüzey grafiği

9.5 Matematiksel Modellerden ve ANSYS Programından Elde Edilen Gerilmeler Arasındaki İlişki

Bu bölümde Matlab programında üretilen matematiksel modeller yardımıyla hesaplanan gerilme değerleri ile ANSYS programından elde edilen gerilme değerlerinin karşılaştırılması sunulmuştur. Sayısal modelleme çalışmaları sonucunda 286 adet grafik / çizelge ve 286 adet matematiksel formül üretilmiştir. Grafik ve çizelge sayısının çok fazla olması nedeniyle bu bölümde sadece 2 adet matematiksel model incelenmiş ve sonuçları sunulmuştur.

9.5.1 1. Modelden Elde Edilen Gerilme Değerleriyle ANSYS Programından Elde Edilen Gerilme Değerleri Arasındaki İlişki

1.model ($z = ax + by$) matematiksel formülü kullanılarak üretilen katsayılar ile hesaplanan gerilme değerleri 13 adet tahkimat elemanı için teker teker hesaplanmış ve ANSYS programından elde edilen gerilme değerleri ile aralarındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuç çizelgeleri ve korelasyon katsayılarını gösteren şekiller aşağıda sunulmuştur.

1.Model ($z = ax + by$) eşitliğinde;

z = Tahkimat elemanında meydana gelen gerilme (MPa)

x = Tavan sarması üstündeki bölgede meydana gelen gerilme (MPa)

y = Göçük sarması üstündeki bölgede meydana gelen gerilme (MPa) olarak tanımlanmıştır. Kullanılan tüm matematiksel modellerde z , x ve y değerleri bu şekilde tanımlanmıştır.

Tablo 9.3 Tavan sarması için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Tavan Sarması	
1	0,80	0,00	428,28	427,76
2	0,87	0,19	462,01	465,59
3	0,87	0,09	463,54	465,38
4	0,60	0,00	323,57	320,82
5	0,84	0,05	448,45	449,25
6	0,88	0,10	468,62	470,74
7	0,86	0,20	456,62	460,26
8	0,62	0,23	330,51	332,00
9	0,50	0,21	268,00	267,79
10	0,77	0,15	416,72	412,03
11	1,01	0,00	545,44	540,04
12	0,78	0,05	422,97	417,17
13	0,92	0,14	496,38	492,22
14	0,31	0,00	174,15	165,76
15	0,90	0,10	486,15	481,44
16	0,42	0,00	232,49	224,57
17	0,71	0,23	384,14	380,12
18	0,70	0,26	378,55	374,84
19	0,87	0,00	461,29	465,19
20	0,78	0,20	413,70	417,48
21	0,87	0,00	461,29	465,19
22	1,00	0,00	528,78	534,70
23	0,70	0,00	373,03	374,29
24	0,58	0,00	310,73	310,12
25	0,80	0,00	424,95	427,76
26	0,76	0,24	403,15	406,87
27	0,81	0,05	429,92	433,21

Tablo 9.4 Taban şasisi için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Taban Şasisi	
1	0,80	0,00	133,75	156,30
2	0,87	0,19	70,32	109,64
3	0,87	0,09	67,91	141,40
4	0,60	0,00	97,01	117,23
5	0,84	0,05	94,10	148,24
6	0,88	0,10	68,88	140,18
7	0,86	0,20	69,82	104,51
8	0,62	0,23	115,75	48,10
9	0,50	0,21	118,95	31,00
10	0,77	0,15	67,64	102,81
11	1,01	0,00	217,94	197,33
12	0,78	0,05	130,34	136,52
13	0,92	0,14	100,35	135,29
14	0,31	0,00	60,84	60,57
15	0,90	0,10	121,29	144,09
16	0,42	0,00	85,53	82,06
17	0,71	0,23	56,94	65,68
18	0,70	0,26	56,86	54,20
19	0,87	0,00	211,91	169,98
20	0,78	0,20	105,35	88,88
21	0,87	0,00	211,91	169,98
22	1,00	0,00	244,21	195,38
23	0,70	0,00	169,66	136,77
24	0,58	0,00	139,85	113,32
25	0,80	0,00	194,51	156,30
26	0,76	0,24	97,82	72,27
27	0,81	0,05	172,00	142,38

Tablo 9.5 Ana göçük sarması için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Ana Göçük Sarması	
1	0,80	0,00	70,04	104,19
2	0,87	0,19	180,60	192,05
3	0,87	0,09	91,78	150,61
4	0,60	0,00	50,97	78,14
5	0,84	0,05	75,05	130,12
6	0,88	0,10	100,67	156,05
7	0,86	0,20	189,47	194,90
8	0,62	0,23	215,84	176,07
9	0,50	0,21	197,94	152,16
10	0,77	0,15	146,93	162,45
11	1,01	0,00	176,36	131,54
12	0,78	0,05	108,81	122,31
13	0,92	0,14	142,80	177,84
14	0,31	0,00	49,98	40,37
15	0,90	0,10	110,75	158,66
16	0,42	0,00	69,84	54,70
17	0,71	0,23	208,64	187,80
18	0,70	0,26	232,10	198,93
19	0,87	0,00	151,57	113,31
20	0,78	0,20	171,06	184,48
21	0,87	0,00	151,57	113,31
22	1,00	0,00	174,65	130,24
23	0,70	0,00	121,39	91,17
24	0,58	0,00	100,08	75,54
25	0,80	0,00	139,14	104,19
26	0,76	0,24	199,29	198,45
27	0,81	0,05	123,22	126,21

Tablo 9.6 Hareketli göçük sarması için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Hareketli Göçük Sarması	
1	0,80	0,00	10,68	14,78
2	0,87	0,19	105,28	107,36
3	0,87	0,09	53,88	59,32
4	0,60	0,00	8,32	11,09
5	0,84	0,05	33,44	39,55
6	0,88	0,10	59,02	64,31
7	0,86	0,20	110,42	111,98
8	0,62	0,23	125,53	121,96
9	0,50	0,21	115,05	110,14
10	0,77	0,15	87,57	86,30
11	1,01	0,00	22,84	18,66
12	0,78	0,05	33,56	38,44
13	0,92	0,14	81,53	84,27
14	0,31	0,00	8,84	5,73
15	0,90	0,10	59,41	64,68
16	0,42	0,00	11,02	7,76
17	0,71	0,23	132,56	123,63
18	0,70	0,26	149,42	137,86
19	0,87	0,00	21,90	16,08
20	0,78	0,20	102,23	110,51
21	0,87	0,00	21,90	16,08
22	1,00	0,00	25,35	18,48
23	0,70	0,00	17,39	12,93
24	0,58	0,00	14,22	10,72
25	0,80	0,00	20,04	14,78
26	0,76	0,24	121,75	129,36
27	0,81	0,05	30,24	38,99

Tablo 9.7 Uzatılabilir göçük sarması için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Uzatılabilir Göçük Sarması	
1	0,80	0,00	2,47	3,15
2	0,87	0,19	47,97	46,70
3	0,87	0,09	23,98	23,92
4	0,60	0,00	2,46	2,36
5	0,84	0,05	14,39	14,70
6	0,88	0,10	26,38	26,24
7	0,86	0,20	50,37	48,94
8	0,62	0,23	57,60	54,83
9	0,50	0,21	52,81	49,80
10	0,77	0,15	33,38	37,20
11	1,01	0,00	5,74	3,98
12	0,78	0,05	15,85	14,46
13	0,92	0,14	36,54	35,51
14	0,31	0,00	3,28	1,22
15	0,90	0,10	27,45	26,32
16	0,42	0,00	3,65	1,65
17	0,71	0,23	56,31	55,18
18	0,70	0,26	63,08	61,97
19	0,87	0,00	3,05	3,43
20	0,78	0,20	44,38	48,62
21	0,87	0,00	3,05	3,43
22	1,00	0,00	3,45	3,94
23	0,70	0,00	2,52	2,76
24	0,58	0,00	2,38	2,28
25	0,80	0,00	2,83	3,15
26	0,76	0,24	52,79	57,65
27	0,81	0,05	12,83	14,58

Tablo 9.8 Ön direkler için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Ön Direkler	
1	0,80	0,00	564,52	509,75
2	0,87	0,19	591,97	553,30
3	0,87	0,09	603,03	553,85
4	0,60	0,00	426,03	382,31
5	0,84	0,05	586,68	534,96
6	0,88	0,10	608,85	560,17
7	0,86	0,20	583,94	546,87
8	0,62	0,23	414,44	393,78
9	0,50	0,21	333,56	317,43
10	0,77	0,15	469,12	489,80
11	1,01	0,00	629,80	643,56
12	0,78	0,05	481,67	496,73
13	0,92	0,14	560,72	585,44
14	0,31	0,00	199,52	197,53
15	0,90	0,10	550,83	572,91
16	0,42	0,00	267,14	267,62
17	0,71	0,23	428,20	451,13
18	0,70	0,26	420,45	444,59
19	0,87	0,00	530,66	554,35
20	0,78	0,20	467,83	495,90
21	0,87	0,00	530,66	554,35
22	1,00	0,00	608,41	637,19
23	0,70	0,00	428,99	446,03
24	0,58	0,00	357,23	369,57
25	0,80	0,00	488,80	509,75
26	0,76	0,24	454,07	482,93
27	0,81	0,05	492,53	515,84

Tablo 9.9 Arka direkler için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Arka Direkler	
1	0,80	0,00	57,93	30,14
2	0,87	0,19	48,23	32,46
3	0,87	0,09	56,01	32,63
4	0,60	0,00	43,19	22,61
5	0,84	0,05	56,94	31,57
6	0,88	0,10	55,97	32,99
7	0,86	0,20	46,73	32,06
8	0,62	0,23	26,89	22,97
9	0,50	0,21	19,69	18,48
10	0,77	0,15	20,13	28,76
11	1,01	0,00	28,24	38,06
12	0,78	0,05	21,36	29,30
13	0,92	0,14	24,39	34,43
14	0,31	0,00	8,80	11,68
15	0,90	0,10	24,21	33,74
16	0,42	0,00	11,85	15,83
17	0,71	0,23	17,73	26,36
18	0,70	0,26	17,18	25,93
19	0,87	0,00	22,13	32,78
20	0,78	0,20	19,88	29,05
21	0,87	0,00	22,13	32,78
22	1,00	0,00	25,39	37,68
23	0,70	0,00	17,87	26,38
24	0,58	0,00	14,87	21,85
25	0,80	0,00	20,38	30,14
26	0,76	0,24	19,38	28,23
27	0,81	0,05	20,63	30,43

Tablo 9.10 Ön lemniskatlar için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Ön Lemniskatlar	
1	0,80	0,00	91,29	141,50
2	0,87	0,19	29,87	84,55
3	0,87	0,09	56,65	121,04
4	0,60	0,00	67,10	106,13
5	0,84	0,05	72,17	130,33
6	0,88	0,10	53,08	119,16
7	0,86	0,20	28,44	79,13
8	0,62	0,23	41,24	25,73
9	0,50	0,21	46,07	11,81
10	0,77	0,15	77,24	81,46
11	1,01	0,00	189,88	178,65
12	0,78	0,05	122,36	119,72
13	0,92	0,14	109,44	111,64
14	0,31	0,00	54,86	54,83
15	0,90	0,10	122,39	122,70
16	0,42	0,00	76,08	74,29
17	0,71	0,23	49,06	41,65
18	0,70	0,26	43,42	28,93
19	0,87	0,00	191,61	153,88
20	0,78	0,20	106,66	64,98
21	0,87	0,00	191,61	153,88
22	1,00	0,00	220,52	176,88
23	0,70	0,00	153,80	123,81
24	0,58	0,00	127,12	102,59
25	0,80	0,00	176,04	141,50
26	0,76	0,24	89,62	46,85
27	0,81	0,05	161,87	125,02

Tablo 9.11 Arka lemniskat için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Arka Lemniskat	
1	0,80	0,00	149,69	172,55
2	0,87	0,19	47,44	119,96
3	0,87	0,09	67,15	155,59
4	0,60	0,00	108,52	129,41
5	0,84	0,05	104,04	163,36
6	0,88	0,10	58,45	154,18
7	0,86	0,20	53,89	114,24
8	0,62	0,23	135,47	51,79
9	0,50	0,21	138,59	33,03
10	0,77	0,15	80,74	112,64
11	1,01	0,00	253,18	217,84
12	0,78	0,05	156,20	150,42
13	0,92	0,14	125,73	148,56
14	0,31	0,00	71,55	66,86
15	0,90	0,10	150,06	158,49
16	0,42	0,00	100,09	90,59
17	0,71	0,23	69,31	71,20
18	0,70	0,26	79,88	58,36
19	0,87	0,00	231,09	187,65
20	0,78	0,20	104,94	96,99
21	0,87	0,00	231,09	187,65
22	1,00	0,00	266,26	215,69
23	0,70	0,00	185,09	150,98
24	0,58	0,00	152,62	125,10
25	0,80	0,00	212,15	172,55
26	0,76	0,24	99,75	78,42
27	0,81	0,05	188,83	156,89

Tablo 9.12 Tavan sarması bağlantı pimleri için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Tavan Sarması Pimleri	
1	0,80	0,00	329,43	336,46
2	0,87	0,19	354,82	362,11
3	0,87	0,09	356,30	364,11
4	0,60	0,00	248,87	252,35
5	0,84	0,05	344,80	352,29
6	0,88	0,10	360,18	368,11
7	0,86	0,20	350,64	357,70
8	0,62	0,23	253,53	256,16
9	0,50	0,21	205,49	206,09
10	0,77	0,15	322,23	320,85
11	1,01	0,00	422,22	424,79
12	0,78	0,05	327,29	327,05
13	0,92	0,14	383,93	384,13
14	0,31	0,00	134,76	130,38
15	0,90	0,10	376,09	376,52
16	0,42	0,00	179,93	176,64
17	0,71	0,23	296,83	294,01
18	0,70	0,26	292,44	289,21
19	0,87	0,00	370,01	365,90
20	0,78	0,20	331,64	324,05
21	0,87	0,00	370,01	365,90
22	1,00	0,00	424,15	420,58
23	0,70	0,00	299,21	294,41
24	0,58	0,00	249,23	243,94
25	0,80	0,00	340,86	336,46
26	0,76	0,24	323,13	314,84
27	0,81	0,05	344,80	339,67

Tablo 9.13 Göçük sarması bağlantı pimleri için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları

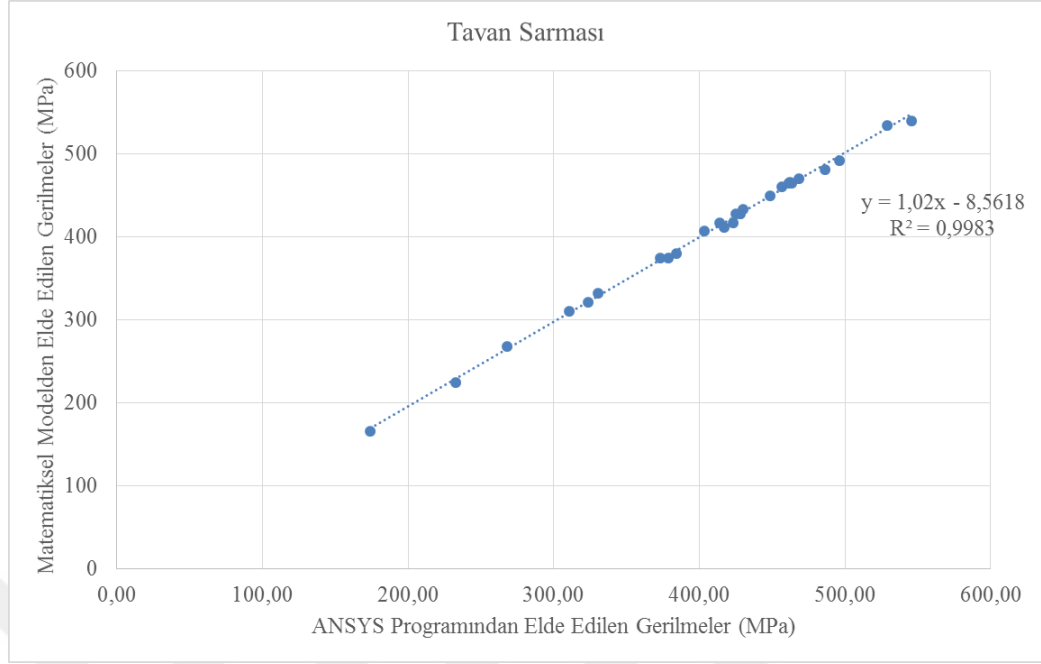
Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Göçük Sarması Pimleri	
1	0,80	0,00	69,49	138,16
2	0,87	0,19	610,40	650,60
3	0,87	0,09	315,04	387,26
4	0,60	0,00	59,12	103,62
5	0,84	0,05	196,76	276,74
6	0,88	0,10	344,69	415,32
7	0,86	0,20	639,81	675,20
8	0,62	0,23	725,14	712,76
9	0,50	0,21	664,34	639,36
10	0,77	0,15	536,19	527,99
11	1,01	0,00	416,28	174,43
12	0,78	0,05	279,51	266,38
13	0,92	0,14	533,26	527,56
14	0,31	0,00	116,77	53,54
15	0,90	0,10	426,92	418,77
16	0,42	0,00	163,81	72,53
17	0,71	0,23	733,65	728,30
18	0,70	0,26	809,60	805,57
19	0,87	0,00	134,23	150,25
20	0,78	0,20	695,66	661,39
21	0,87	0,00	134,23	150,25
22	1,00	0,00	150,49	172,70
23	0,70	0,00	113,07	120,89
24	0,58	0,00	98,24	100,17
25	0,80	0,00	125,50	138,16
26	0,76	0,24	816,43	763,27
27	0,81	0,05	248,28	271,56

Tablo 9.14 Taban şasisi bağlantı pimleri için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları

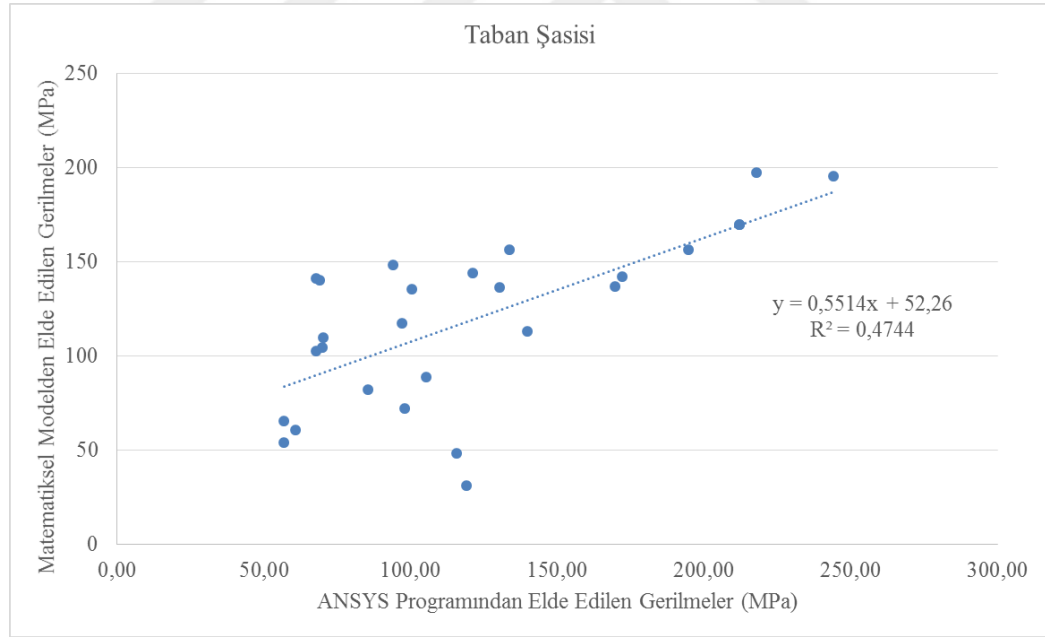
Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Taban Şasisi Pimleri	
1	0,80	0,00	186,16	259,52
2	0,87	0,19	21,61	138,55
3	0,87	0,09	111,84	214,17
4	0,60	0,00	136,32	194,64
5	0,84	0,05	145,14	234,68
6	0,88	0,10	104,14	209,85
7	0,86	0,20	23,25	127,74
8	0,62	0,23	93,63	27,20
9	0,50	0,21	103,07	3,40
10	0,77	0,15	124,66	136,36
11	1,01	0,00	346,67	327,64
12	0,78	0,05	219,75	215,22
13	0,92	0,14	186,73	192,58
14	0,31	0,00	99,73	100,56
15	0,90	0,10	216,30	216,34
16	0,42	0,00	138,53	136,25
17	0,71	0,23	30,42	56,40
18	0,70	0,26	25,28	30,47
19	0,87	0,00	343,83	282,22
20	0,78	0,20	185,03	101,79
21	0,87	0,00	343,83	282,22
22	1,00	0,00	395,64	324,39
23	0,70	0,00	276,09	227,08
24	0,58	0,00	228,27	188,15
25	0,80	0,00	315,94	259,52
26	0,76	0,24	152,47	65,06
27	0,81	0,05	289,19	224,95

Tablo 9.15 Ayna tutucu için 1. matematiksel model ($z = ax + by$) sonuçları

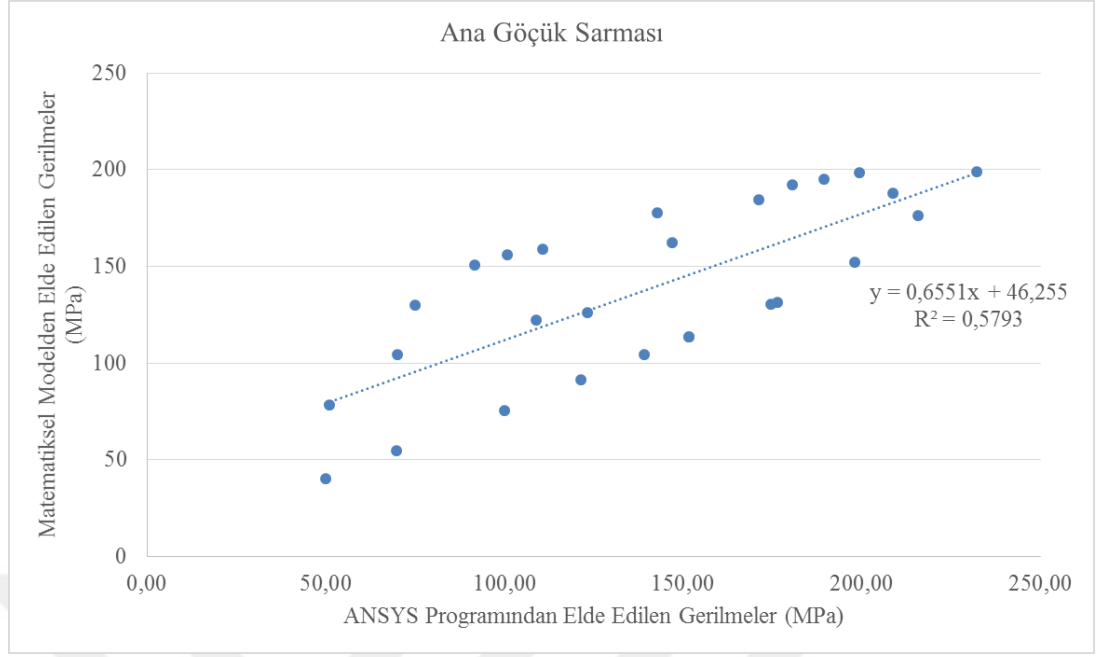
Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Taban Şasisi Pimleri	
1	0,80	0,00	30,92	32,95
2	0,87	0,19	33,53	35,07
3	0,87	0,09	33,52	35,47
4	0,60	0,00	23,54	24,71
5	0,84	0,05	32,40	34,40
6	0,88	0,10	33,89	35,84
7	0,86	0,20	33,17	34,62
8	0,62	0,23	24,32	24,61
9	0,50	0,21	19,89	19,75
10	0,77	0,15	30,85	31,11
11	1,01	0,00	39,95	41,60
12	0,78	0,05	31,26	31,92
13	0,92	0,14	36,52	37,33
14	0,31	0,00	13,54	12,77
15	0,90	0,10	35,77	36,67
16	0,42	0,00	17,69	17,30
17	0,71	0,23	28,57	28,32
18	0,70	0,26	28,18	27,79
19	0,87	0,00	37,42	35,83
20	0,78	0,20	33,76	31,32
21	0,87	0,00	37,42	35,83
22	1,00	0,00	42,66	41,19
23	0,70	0,00	30,56	28,83
24	0,58	0,00	25,71	23,89
25	0,80	0,00	34,59	32,95
26	0,76	0,24	32,95	30,34
27	0,81	0,05	34,99	33,16



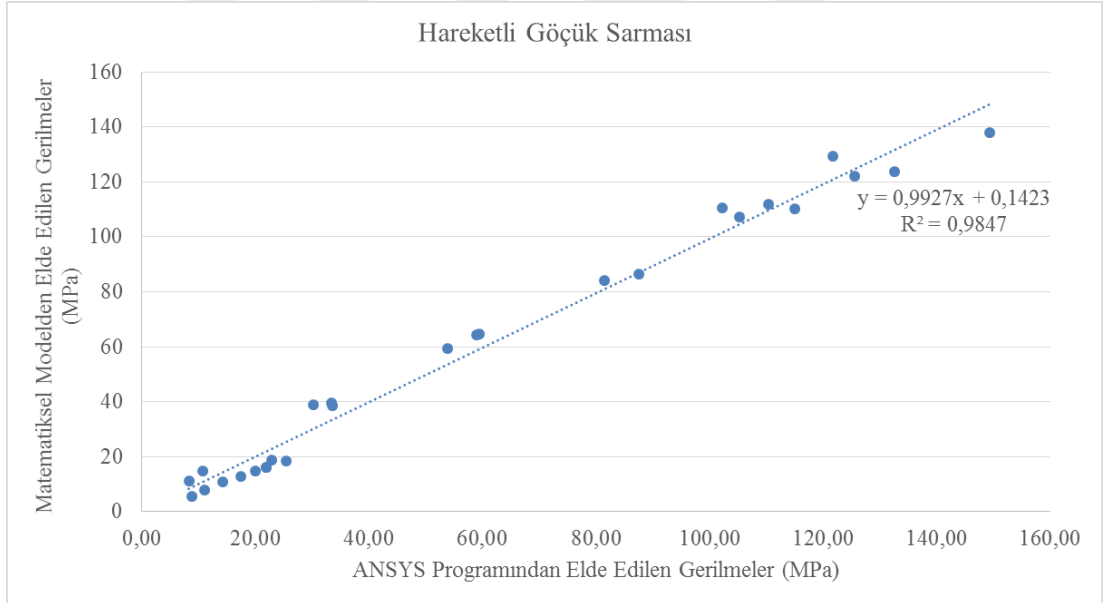
Şekil 9.24 Tavan sarması için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



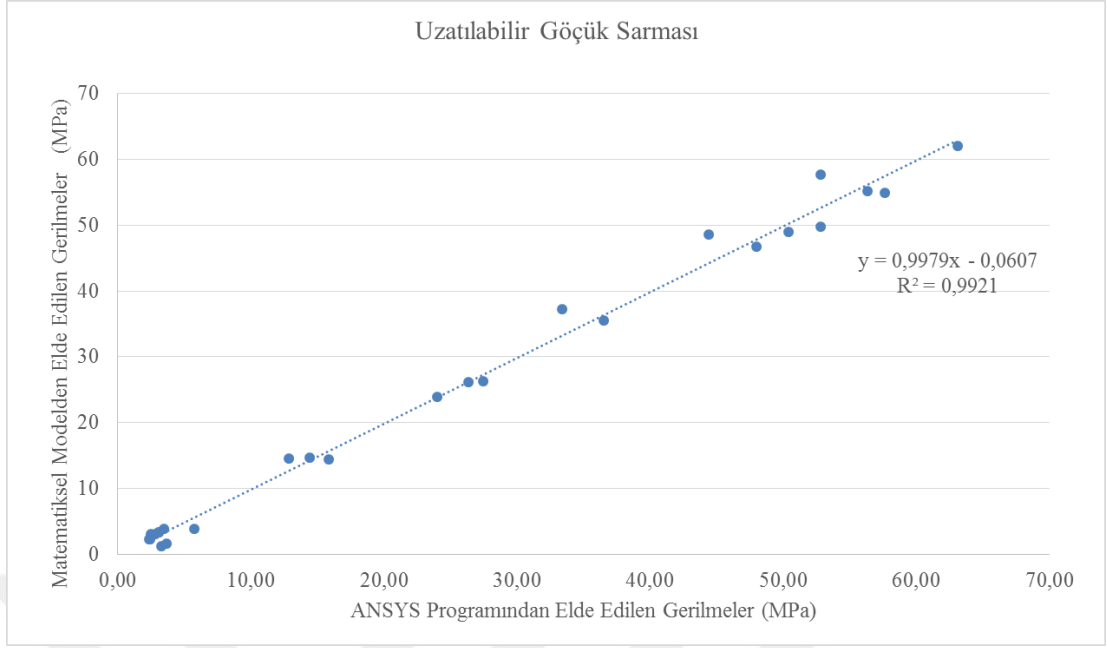
Şekil 9.25 Taban şasisi için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



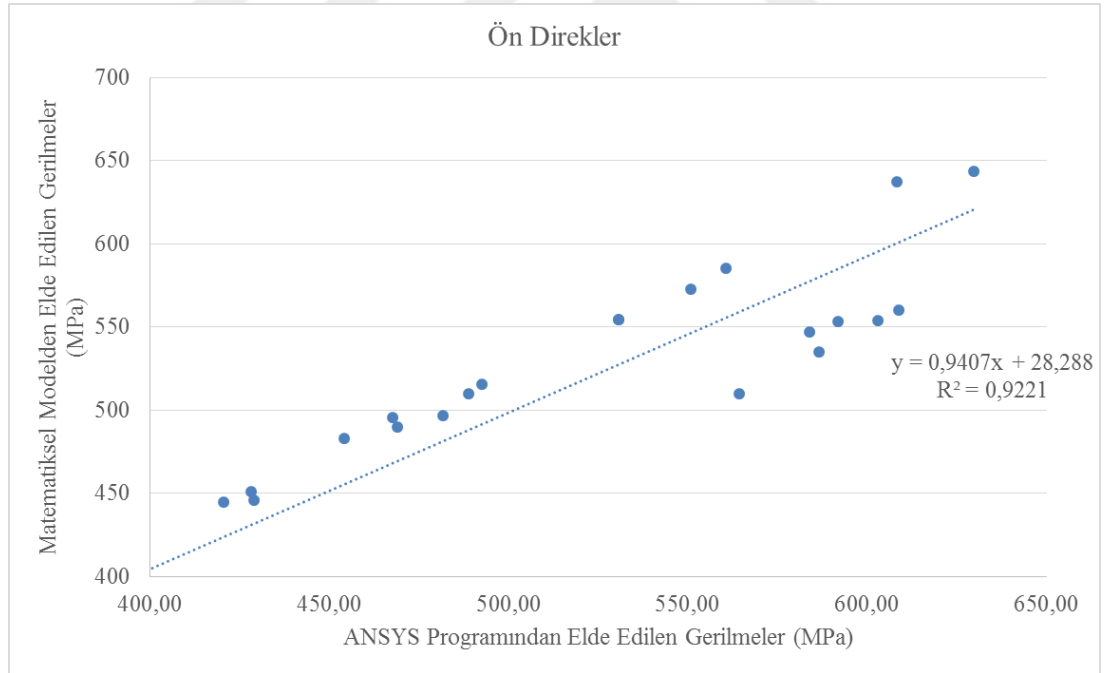
Şekil 9.26 Ana göçük sarması için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



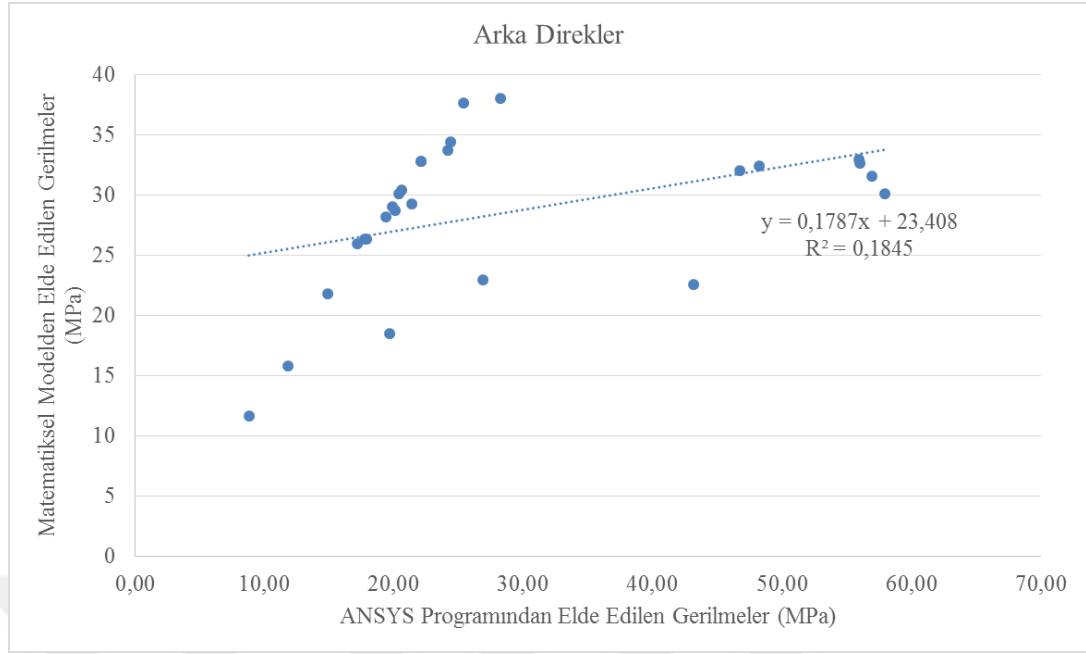
Şekil 9.27 Hareketli göçük sarması için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



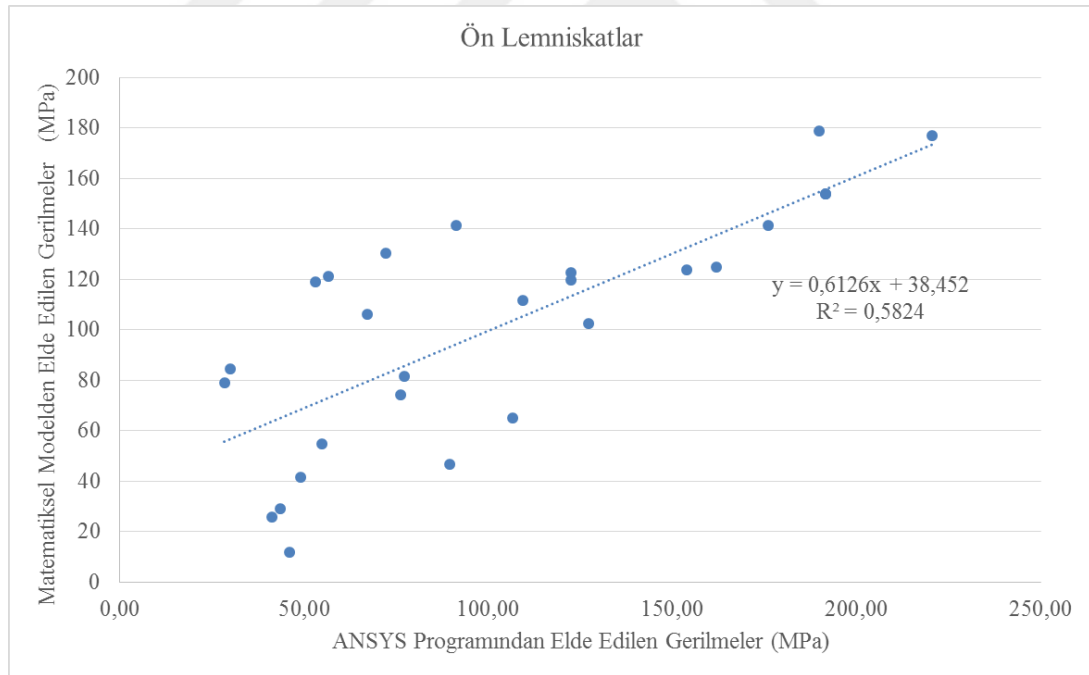
Şekil 9.28 Uzatılabilir göçük sarması için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



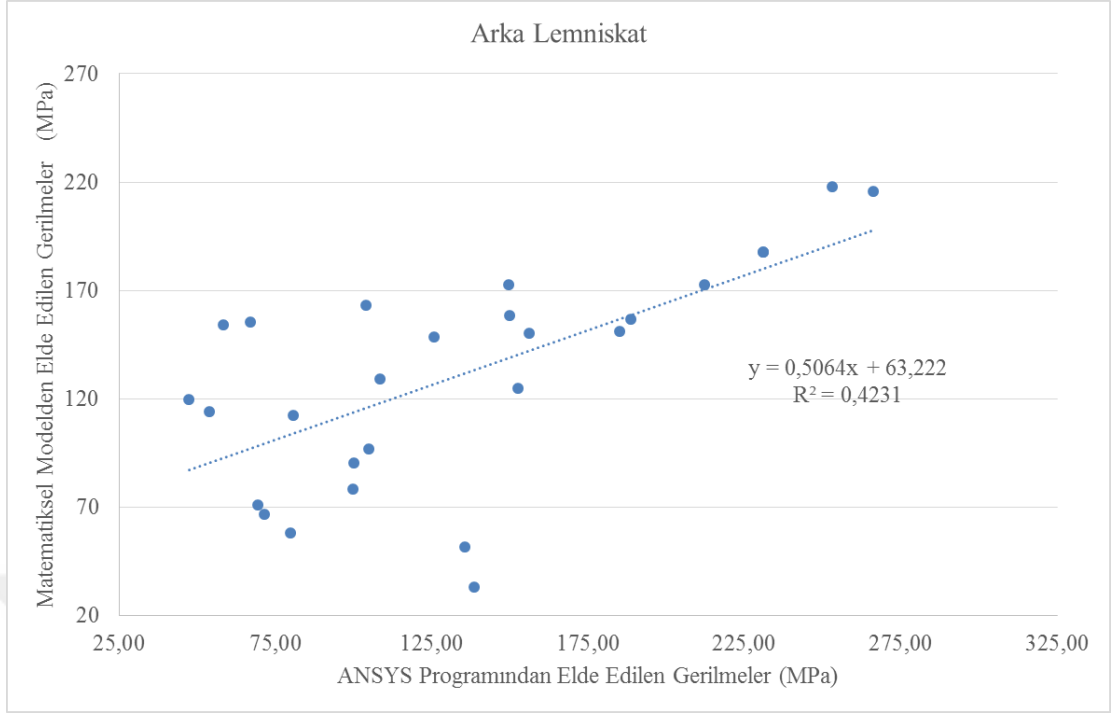
Şekil 9.29 Ön direkler için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



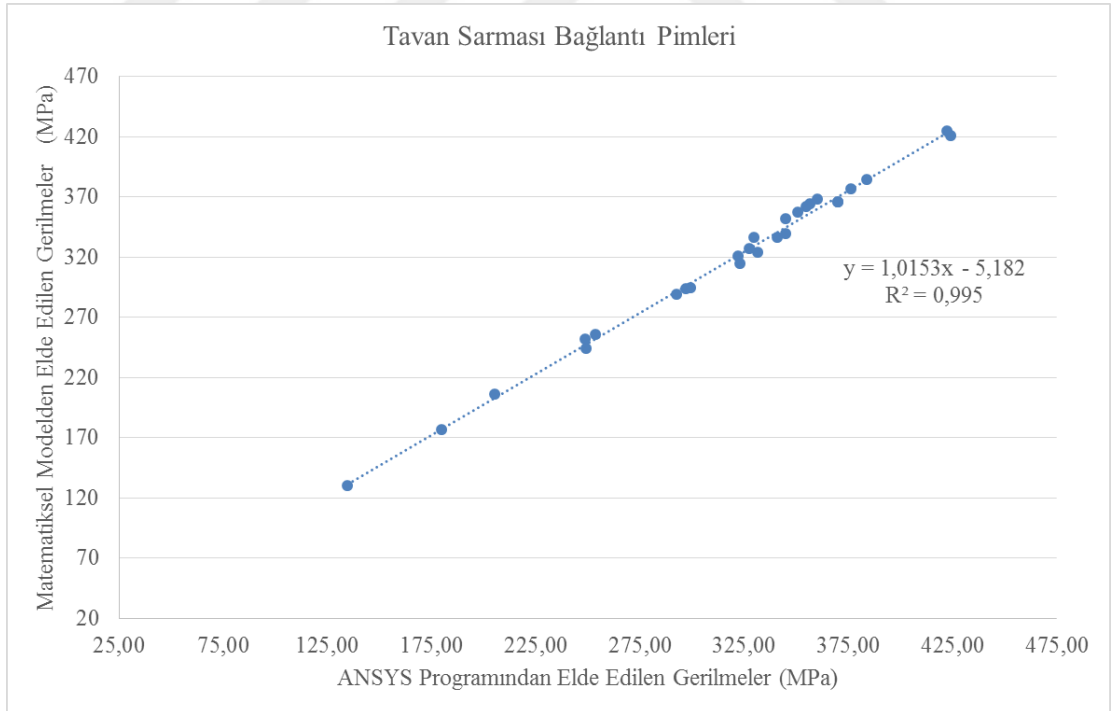
Şekil 9.30 Arka direkler için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



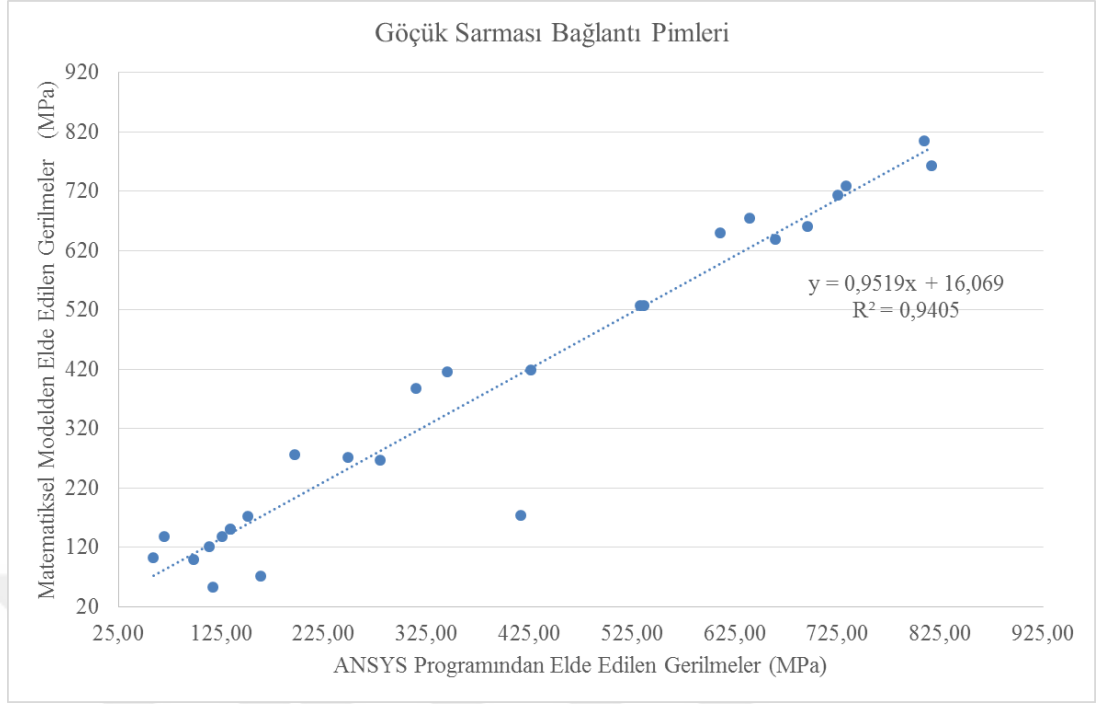
Şekil 9.31 Ön lemniskatlar için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



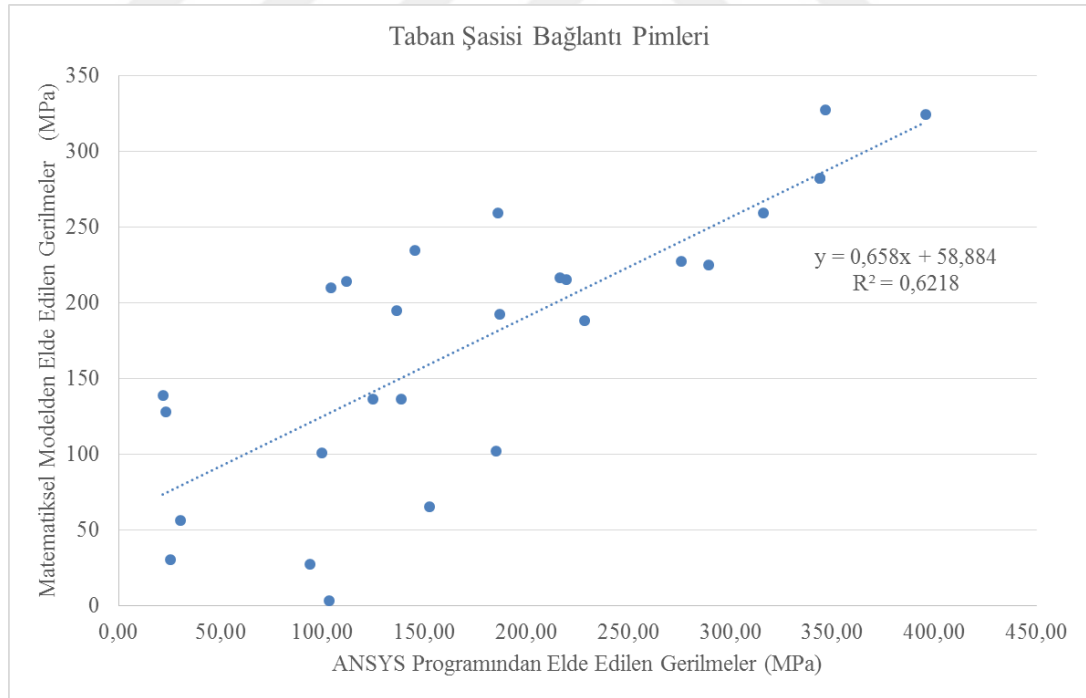
Şekil 9.32 Arka lemniskatlar için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



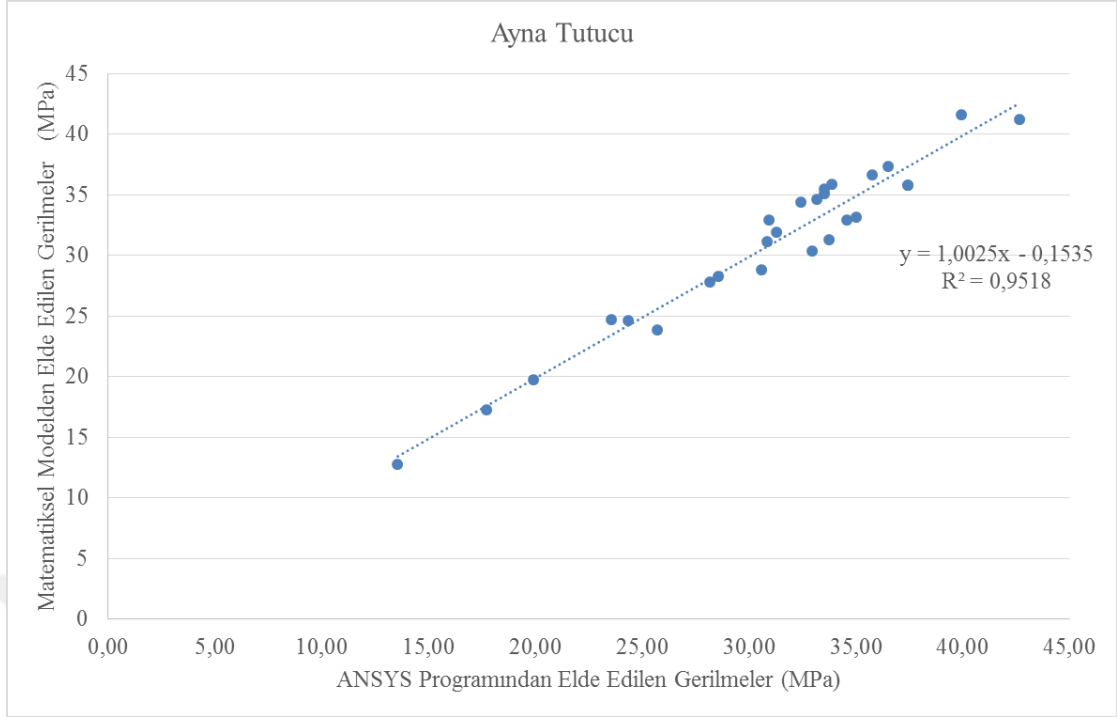
Şekil 9.33 Tavan sarması bağlantı pimleri için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



Şekil 9.34 Göçük sarması bağlantı pimleri için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



Şekil 9.35 Taban şasisi bağlantı pimleri için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



Şekil 9.36 Ayna tutucu için 1. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki

9.5.2 2. Modelden Elde Edilen Gerilme Değerleri ile ANSYS Programından Elde Edilen Gerilme Değerleri Arasındaki İlişki

2.model ($z = ax^2 + by^2$) matematiksel formülü kullanılarak üretilen katsayılar ile hesaplanan gerilme değerleri 13 adet tahkimat elemanı için teker teker hesaplanmış ve ANSYS programından elde edilen gerilme değerleri ile aralarındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuç çizelgeleri ve korelasyon katsayılarını gösteren şekiller aşağıda sunulmuştur.

Tablo 9.16 Tavan sarması için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Tavan Sarması	
1	0,64	0,00	428,28	389,76
2	0,76	0,04	462,01	503,44
3	0,76	0,01	463,54	470,48
4	0,36	0,00	323,57	219,24
5	0,71	0,00	448,45	432,65
6	0,77	0,01	468,62	483,38
7	0,74	0,04	456,62	497,49
8	0,38	0,05	330,51	296,36
9	0,25	0,04	268,00	204,15
10	0,59	0,02	416,72	387,56
11	1,02	0,00	545,44	621,24
12	0,61	0,00	422,97	373,46
13	0,85	0,02	496,38	538,52
14	0,10	0,00	174,15	58,52
15	0,81	0,01	486,15	505,06
16	0,18	0,00	232,49	107,43
17	0,50	0,05	384,14	369,25
18	0,49	0,07	378,55	377,97
19	0,76	0,00	461,29	460,95
20	0,61	0,04	413,70	417,59
21	0,76	0,00	461,29	460,95
22	1,00	0,00	528,78	609,00
23	0,49	0,00	373,03	298,41
24	0,34	0,00	310,73	204,87
25	0,64	0,00	424,95	389,76
26	0,58	0,06	403,15	419,55
27	0,66	0,00	429,92	402,51

Tablo 9.17 Taban şasisi için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Taban Şasisi	
1	0,64	0,00	133,75	130,65
2	0,76	0,04	70,32	130,43
3	0,76	0,01	67,91	149,11
4	0,36	0,00	97,01	73,49
5	0,71	0,00	94,10	142,38
6	0,77	0,01	68,88	151,42
7	0,74	0,04	69,82	124,29
8	0,38	0,05	115,75	43,17
9	0,25	0,04	118,95	21,61
10	0,59	0,02	67,64	106,02
11	1,02	0,00	217,94	208,25
12	0,61	0,00	130,34	122,53
13	0,85	0,02	100,35	159,71
14	0,10	0,00	60,84	19,62
15	0,81	0,01	121,29	158,68
16	0,18	0,00	85,53	36,01
17	0,50	0,05	56,94	67,61
18	0,49	0,07	56,86	54,92
19	0,76	0,00	211,91	154,52
20	0,61	0,04	105,35	97,51
21	0,76	0,00	211,91	154,52
22	1,00	0,00	244,21	204,14
23	0,49	0,00	169,66	100,03
24	0,34	0,00	139,85	68,67
25	0,64	0,00	194,51	130,65
26	0,58	0,06	97,82	79,47
27	0,66	0,00	172,00	132,27

Tablo 9.18 Ana göçük sarması için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Ana Göçük Sarması	
1	0,64	0,00	70,04	99,52
2	0,76	0,04	180,60	199,23
3	0,76	0,01	91,78	135,99
4	0,36	0,00	50,97	55,98
5	0,71	0,00	75,05	115,37
6	0,77	0,01	100,67	143,00
7	0,74	0,04	189,47	205,34
8	0,38	0,05	215,84	179,24
9	0,25	0,04	197,94	138,47
10	0,59	0,02	146,93	143,01
11	1,02	0,00	176,36	158,63
12	0,61	0,00	108,81	100,25
13	0,85	0,02	142,80	175,88
14	0,10	0,00	49,98	14,94
15	0,81	0,01	110,75	148,54
16	0,18	0,00	69,84	27,43
17	0,50	0,05	208,64	197,86
18	0,49	0,07	232,10	228,86
19	0,76	0,00	151,57	117,70
20	0,61	0,04	171,06	184,94
21	0,76	0,00	151,57	117,70
22	1,00	0,00	174,65	155,50
23	0,49	0,00	121,39	76,20
24	0,34	0,00	100,08	52,31
25	0,64	0,00	139,14	99,52
26	0,58	0,06	199,29	219,90
27	0,66	0,00	123,22	107,67

Tablo 9.19 Hareketli göçük sarması için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Hareketli Göçük Sarması	
1	0,64	0,00	10,68	23,36
2	0,76	0,04	105,28	102,60
3	0,76	0,01	53,88	44,45
4	0,36	0,00	8,32	13,14
5	0,71	0,00	33,44	30,95
6	0,77	0,01	59,02	49,03
7	0,74	0,04	110,42	110,07
8	0,38	0,05	125,53	123,90
9	0,25	0,04	115,05	100,72
10	0,59	0,02	87,57	68,37
11	1,02	0,00	22,84	37,23
12	0,61	0,00	33,56	27,40
13	0,85	0,02	81,53	71,60
14	0,10	0,00	8,84	3,51
15	0,81	0,01	59,41	50,33
16	0,18	0,00	11,02	6,44
17	0,50	0,05	132,56	128,27
18	0,49	0,07	149,42	158,28
19	0,76	0,00	21,90	27,63
20	0,61	0,04	102,23	105,28
21	0,76	0,00	21,90	27,63
22	1,00	0,00	25,35	36,50
23	0,49	0,00	17,39	17,89
24	0,34	0,00	14,22	12,28
25	0,64	0,00	20,04	23,36
26	0,58	0,06	121,75	140,71
27	0,66	0,00	30,24	29,14

Tablo 9.20 Uzatılabilir göçük sarması için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Uzatılabilir Göçük Sarması	
1	0,64	0,00	2,47	7,84
2	0,76	0,04	47,97	43,82
3	0,76	0,01	23,98	17,02
4	0,36	0,00	2,46	4,41
5	0,71	0,00	14,39	11,03
6	0,77	0,01	26,38	19,05
7	0,74	0,04	50,37	47,34
8	0,38	0,05	57,60	55,33
9	0,25	0,04	52,81	45,26
10	0,59	0,02	33,38	28,79
11	1,02	0,00	5,74	12,49
12	0,61	0,00	15,85	9,84
13	0,85	0,02	36,54	29,12
14	0,10	0,00	3,28	1,18
15	0,81	0,01	27,45	19,49
16	0,18	0,00	3,65	2,16
17	0,50	0,05	56,31	56,80
18	0,49	0,07	63,08	70,69
19	0,76	0,00	3,05	9,27
20	0,61	0,04	44,38	45,73
21	0,76	0,00	3,05	9,27
22	1,00	0,00	3,45	12,25
23	0,49	0,00	2,52	6,00
24	0,34	0,00	2,38	4,12
25	0,64	0,00	2,83	7,84
26	0,58	0,06	52,79	62,19
27	0,66	0,00	12,83	10,43

Tablo 9.21 Ön direkler için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Ön Direkler	
1	0,64	0,00	564,52	465,15
2	0,76	0,04	591,97	597,17
3	0,76	0,01	603,03	560,67
4	0,36	0,00	426,03	261,65
5	0,71	0,00	586,68	516,09
6	0,77	0,01	608,85	575,87
7	0,74	0,04	583,94	589,68
8	0,38	0,05	414,44	348,33
9	0,25	0,04	333,56	239,18
10	0,59	0,02	469,12	460,25
11	1,02	0,00	629,80	741,41
12	0,61	0,00	481,67	445,44
13	0,85	0,02	560,72	640,71
14	0,10	0,00	199,52	69,85
15	0,81	0,01	550,83	601,74
16	0,18	0,00	267,14	128,21
17	0,50	0,05	428,20	435,33
18	0,49	0,07	420,45	444,24
19	0,76	0,00	530,66	550,11
20	0,61	0,04	467,83	494,32
21	0,76	0,00	530,66	550,11
22	1,00	0,00	608,41	726,80
23	0,49	0,00	428,99	356,13
24	0,34	0,00	357,23	244,50
25	0,64	0,00	488,80	465,15
26	0,58	0,06	454,07	494,88
27	0,66	0,00	492,53	480,11

Tablo 9.22 Arka direkler için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Arka Direkler	
1	0,64	0,00	57,93	27,84
2	0,76	0,04	48,23	34,53
3	0,76	0,01	56,01	33,28
4	0,36	0,00	43,19	15,66
5	0,71	0,00	56,94	30,80
6	0,77	0,01	55,97	34,13
7	0,74	0,04	46,73	33,95
8	0,38	0,05	26,89	19,07
9	0,25	0,04	19,69	12,83
10	0,59	0,02	20,13	26,79
11	1,02	0,00	28,24	44,37
12	0,61	0,00	21,36	26,58
13	0,85	0,02	24,39	37,69
14	0,10	0,00	8,80	4,18
15	0,81	0,01	24,21	35,68
16	0,18	0,00	11,85	7,67
17	0,50	0,05	17,73	24,28
18	0,49	0,07	17,18	24,32
19	0,76	0,00	22,13	32,92
20	0,61	0,04	19,88	28,24
21	0,76	0,00	22,13	32,92
22	1,00	0,00	25,39	43,50
23	0,49	0,00	17,87	21,31
24	0,34	0,00	14,87	14,63
25	0,64	0,00	20,38	27,84
26	0,58	0,06	19,38	27,68
27	0,66	0,00	20,63	28,65

Tablo 9.23 Ön lemniskatlar için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Ön Lemniskatlar	
1	0,64	0,00	91,29	117,95
2	0,76	0,04	29,87	104,37
3	0,76	0,01	56,65	131,62
4	0,36	0,00	67,10	66,35
5	0,71	0,00	72,17	127,61
6	0,77	0,01	53,08	132,99
7	0,74	0,04	28,44	97,39
8	0,38	0,05	41,24	19,37
9	0,25	0,04	46,07	3,16
10	0,59	0,02	77,24	87,38
11	1,02	0,00	189,88	188,01
12	0,61	0,00	122,36	109,70
13	0,85	0,02	109,44	136,92
14	0,10	0,00	54,86	17,71
15	0,81	0,01	122,39	139,55
16	0,18	0,00	76,08	32,51
17	0,50	0,05	49,06	41,43
18	0,49	0,07	43,42	24,53
19	0,76	0,00	191,61	139,50
20	0,61	0,04	106,66	73,20
21	0,76	0,00	191,61	139,50
22	1,00	0,00	220,52	184,30
23	0,49	0,00	153,80	90,31
24	0,34	0,00	127,12	62,00
25	0,64	0,00	176,04	117,95
26	0,58	0,06	89,62	50,40
27	0,66	0,00	161,87	118,49

Tablo 9.24 Arka lemniskat için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Arka Lemniskat	
1	0,64	0,00	149,69	143,71
2	0,76	0,04	47,44	142,77
3	0,76	0,01	67,15	163,86
4	0,36	0,00	108,52	80,84
5	0,71	0,00	104,04	156,56
6	0,77	0,01	58,45	166,36
7	0,74	0,04	53,89	135,94
8	0,38	0,05	135,47	46,47
9	0,25	0,04	138,59	22,92
10	0,59	0,02	80,74	116,19
11	1,02	0,00	253,18	229,06
12	0,61	0,00	156,20	134,73
13	0,85	0,02	125,73	175,29
14	0,10	0,00	71,55	21,58
15	0,81	0,01	150,06	174,35
16	0,18	0,00	100,09	39,61
17	0,50	0,05	69,31	73,35
18	0,49	0,07	79,88	59,11
19	0,76	0,00	231,09	169,96
20	0,61	0,04	104,94	106,48
21	0,76	0,00	231,09	169,96
22	1,00	0,00	266,26	224,55
23	0,49	0,00	185,09	110,03
24	0,34	0,00	152,62	75,54
25	0,64	0,00	212,15	143,71
26	0,58	0,06	99,75	86,31
27	0,66	0,00	188,83	145,44

Tablo 9.25 Tavan sarması bağlantı pimleri için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları

Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Tavan Sarması Pimleri	
1	0,64	0,00	329,43	305,69
2	0,76	0,04	354,82	392,62
3	0,76	0,01	356,30	368,51
4	0,36	0,00	248,87	171,95
5	0,71	0,00	344,80	339,18
6	0,77	0,01	360,18	378,50
7	0,74	0,04	350,64	387,71
8	0,38	0,05	253,53	229,16
9	0,25	0,04	205,49	157,39
10	0,59	0,02	322,23	302,57
11	1,02	0,00	422,22	487,25
12	0,61	0,00	327,29	292,75
13	0,85	0,02	383,93	421,16
14	0,10	0,00	134,76	45,90
15	0,81	0,01	376,09	395,50
16	0,18	0,00	179,93	84,26
17	0,50	0,05	296,83	286,34
18	0,49	0,07	292,44	292,26
19	0,76	0,00	370,01	361,53
20	0,61	0,04	331,64	325,05
21	0,76	0,00	370,01	361,53
22	1,00	0,00	424,15	477,65
23	0,49	0,00	299,21	234,05
24	0,34	0,00	249,23	160,68
25	0,64	0,00	340,86	305,69
26	0,58	0,06	323,13	325,49
27	0,66	0,00	344,80	315,54

Tablo 9.26 Göçük sarması bağlantı pimleri için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları

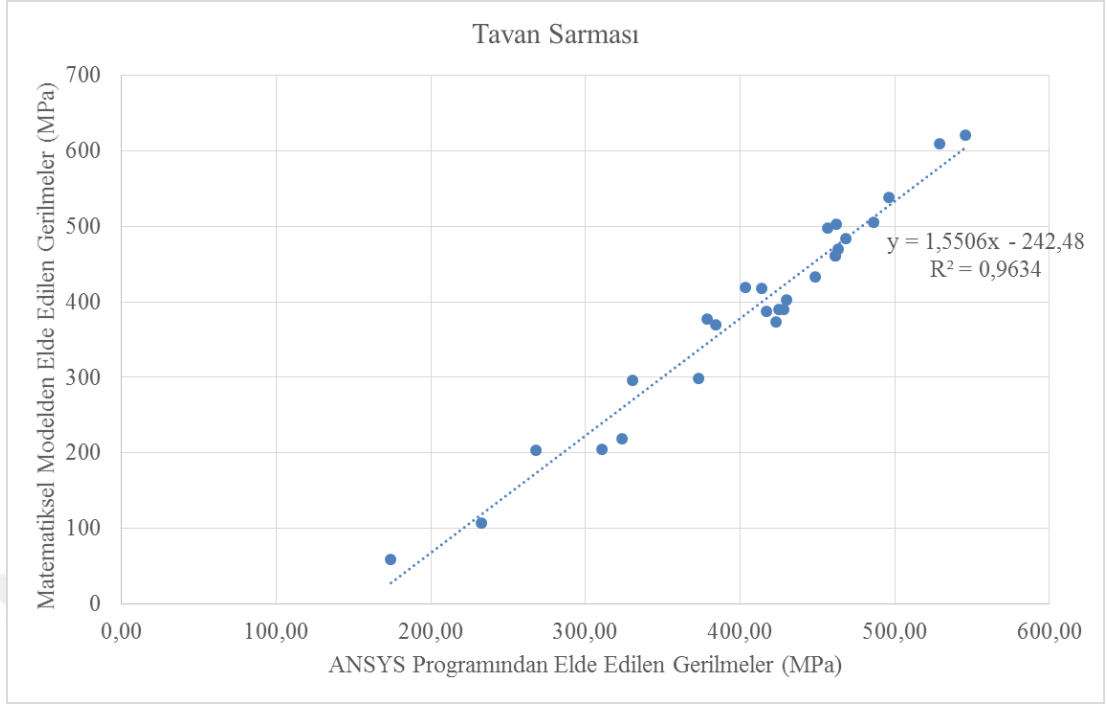
Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Göçük Sarması Pimleri	
1	0,64	0,00	69,49	181,76
2	0,76	0,04	610,40	630,18
3	0,76	0,01	315,04	308,13
4	0,36	0,00	59,12	102,24
5	0,71	0,00	196,76	229,15
6	0,77	0,01	344,69	334,95
7	0,74	0,04	639,81	670,13
8	0,38	0,05	725,14	717,63
9	0,25	0,04	664,34	578,24
10	0,59	0,02	536,19	427,18
11	1,02	0,00	416,28	289,71
12	0,61	0,00	279,51	201,54
13	0,85	0,02	533,26	465,82
14	0,10	0,00	116,77	27,29
15	0,81	0,01	426,92	345,06
16	0,18	0,00	163,81	50,10
17	0,50	0,05	733,65	751,62
18	0,49	0,07	809,60	916,70
19	0,76	0,00	134,23	214,96
20	0,61	0,04	695,66	632,87
21	0,76	0,00	134,23	214,96
22	1,00	0,00	150,49	284,00
23	0,49	0,00	113,07	139,16
24	0,34	0,00	98,24	95,54
25	0,64	0,00	125,50	181,76
26	0,58	0,06	816,43	826,55
27	0,66	0,00	248,28	215,09

Tablo 9.27 Taban şasisi bağlantı pimleri için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları

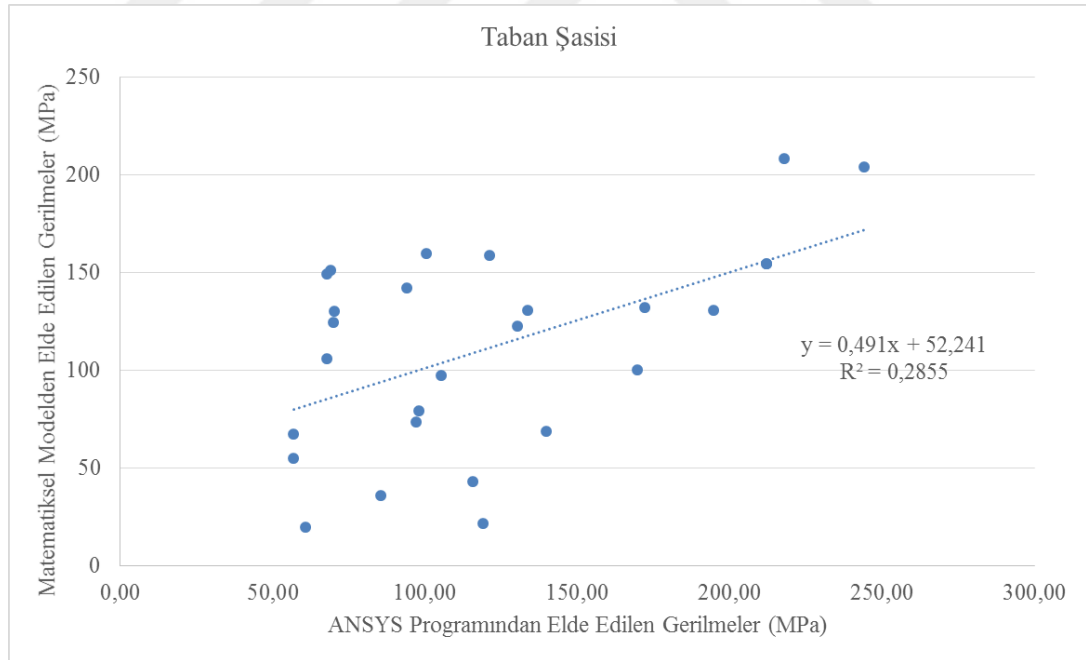
Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Taban Şasisi Pimleri	
1	0,64	0,00	186,16	214,72
2	0,76	0,04	21,61	174,62
3	0,76	0,01	111,84	236,14
4	0,36	0,00	136,32	120,78
5	0,71	0,00	145,14	231,24
6	0,77	0,01	104,14	237,84
7	0,74	0,04	23,25	160,25
8	0,38	0,05	93,63	12,73
9	0,25	0,04	103,07	-13,02
10	0,59	0,02	124,66	149,48
11	1,02	0,00	346,67	342,24
12	0,61	0,00	219,75	198,63
13	0,85	0,02	186,73	240,90
14	0,10	0,00	99,73	32,24
15	0,81	0,01	216,30	249,78
16	0,18	0,00	138,53	59,18
17	0,50	0,05	30,42	52,89
18	0,49	0,07	25,28	15,86
19	0,76	0,00	343,83	253,94
20	0,61	0,04	185,03	116,23
21	0,76	0,00	343,83	253,94
22	1,00	0,00	395,64	335,50
23	0,49	0,00	276,09	164,40
24	0,34	0,00	228,27	112,86
25	0,64	0,00	315,94	214,72
26	0,58	0,06	152,47	67,23
27	0,66	0,00	289,19	214,63

Tablo 9.28 Ayna tutucu için 2. matematiksel model ($z = ax^2 + by^2$) sonuçları

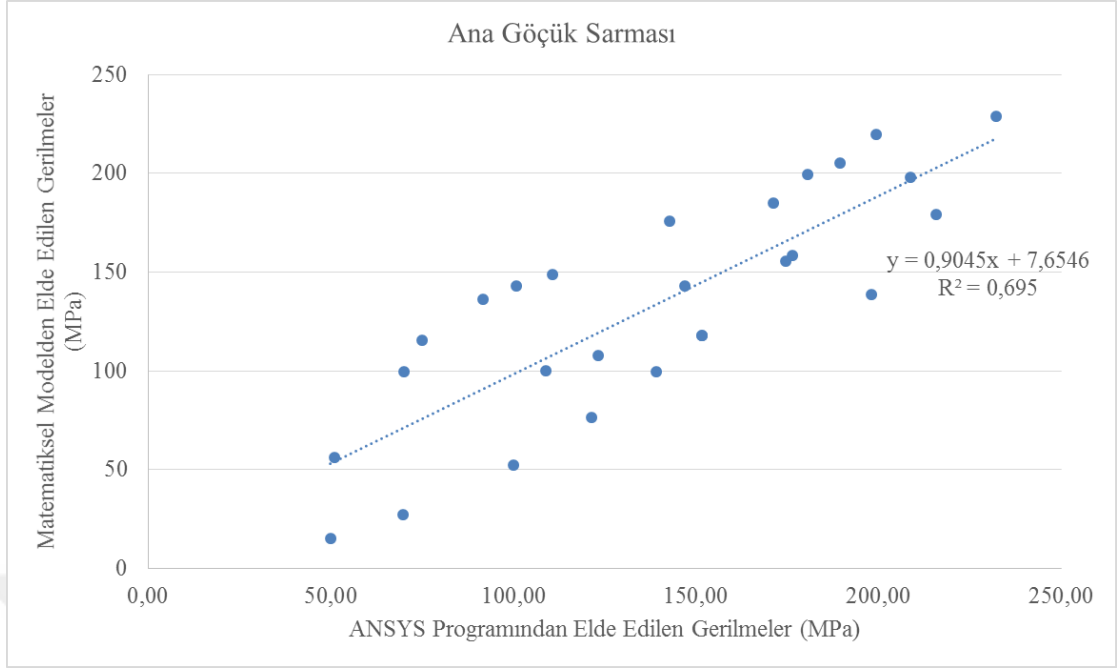
Durum	Phase ^{2D} Modeli Gerilme Değerleri (MPa)		ANSYS (MPa)	Matematiksel Modelden Elde Edilen Gerilme (MPa)
	Tavan Sarması Üstünde	Göçük Sarması Üstünde	Ayna Tutucu	
1	0,64	0,00	30,92	29,77
2	0,76	0,04	33,53	38,14
3	0,76	0,01	33,52	35,87
4	0,36	0,00	23,54	16,75
5	0,71	0,00	32,40	33,03
6	0,77	0,01	33,89	36,84
7	0,74	0,04	33,17	37,66
8	0,38	0,05	24,32	22,18
9	0,25	0,04	19,89	15,21
10	0,59	0,02	30,85	29,41
11	1,02	0,00	39,95	47,45
12	0,61	0,00	31,26	28,51
13	0,85	0,02	36,52	40,97
14	0,10	0,00	13,54	4,47
15	0,81	0,01	35,77	38,49
16	0,18	0,00	17,69	8,21
17	0,50	0,05	28,57	27,75
18	0,49	0,07	28,18	28,29
19	0,76	0,00	37,42	35,21
20	0,61	0,04	33,76	31,55
21	0,76	0,00	37,42	35,21
22	1,00	0,00	42,66	46,52
23	0,49	0,00	30,56	22,79
24	0,34	0,00	25,71	15,65
25	0,64	0,00	34,59	29,77
26	0,58	0,06	32,95	31,55
27	0,66	0,00	34,99	30,72



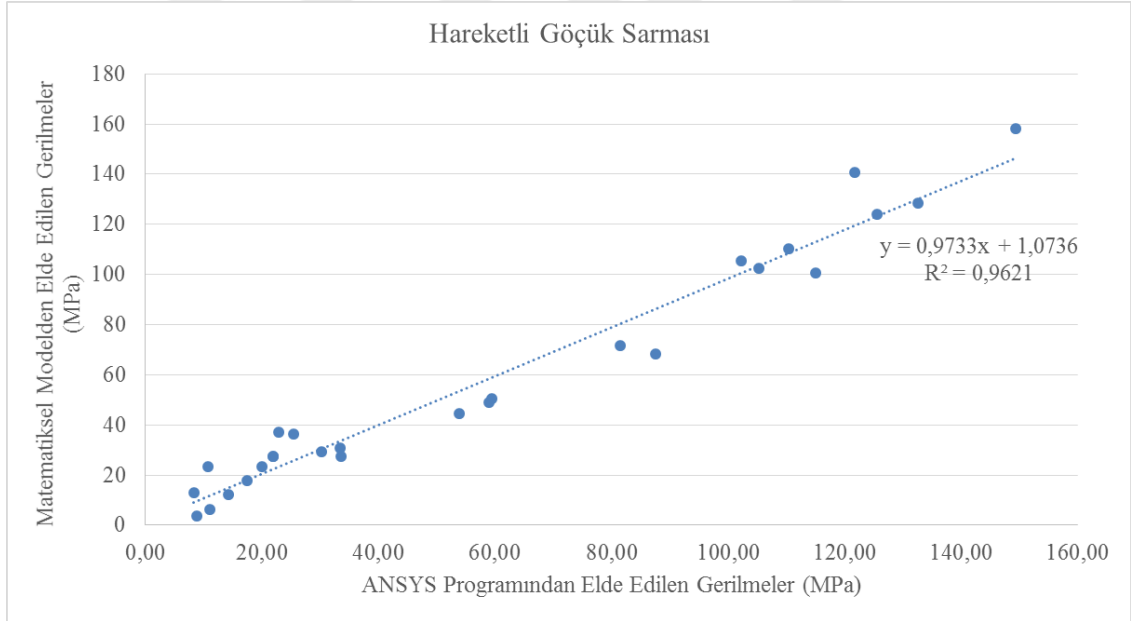
Şekil 9.37 Tavan sarması için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



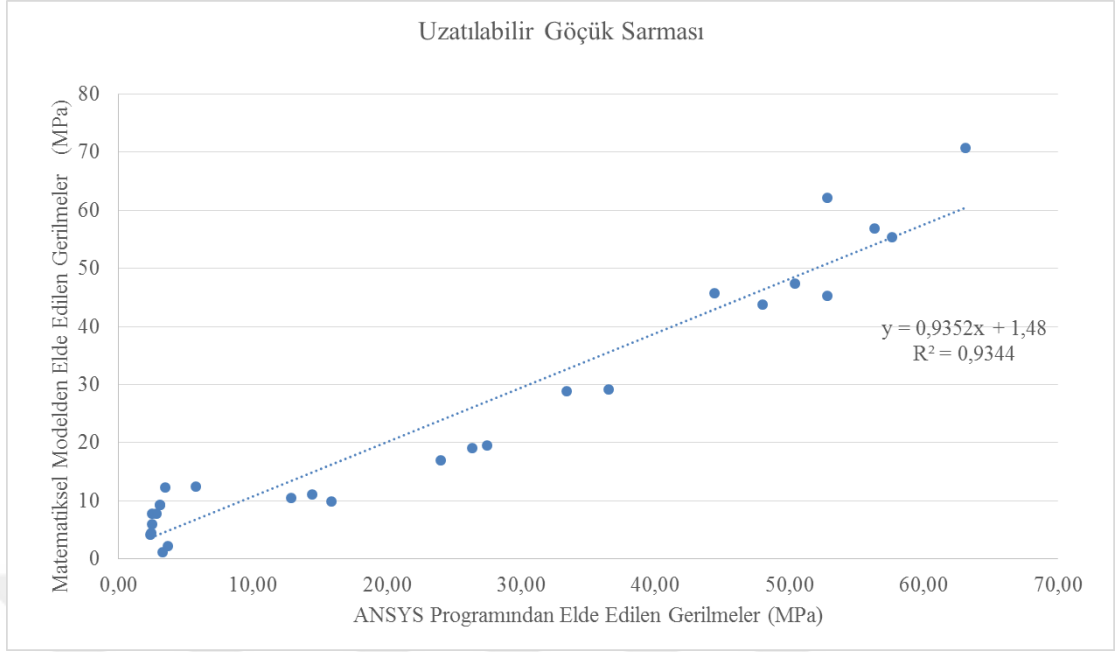
Şekil 9.38 Taban şasisi için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



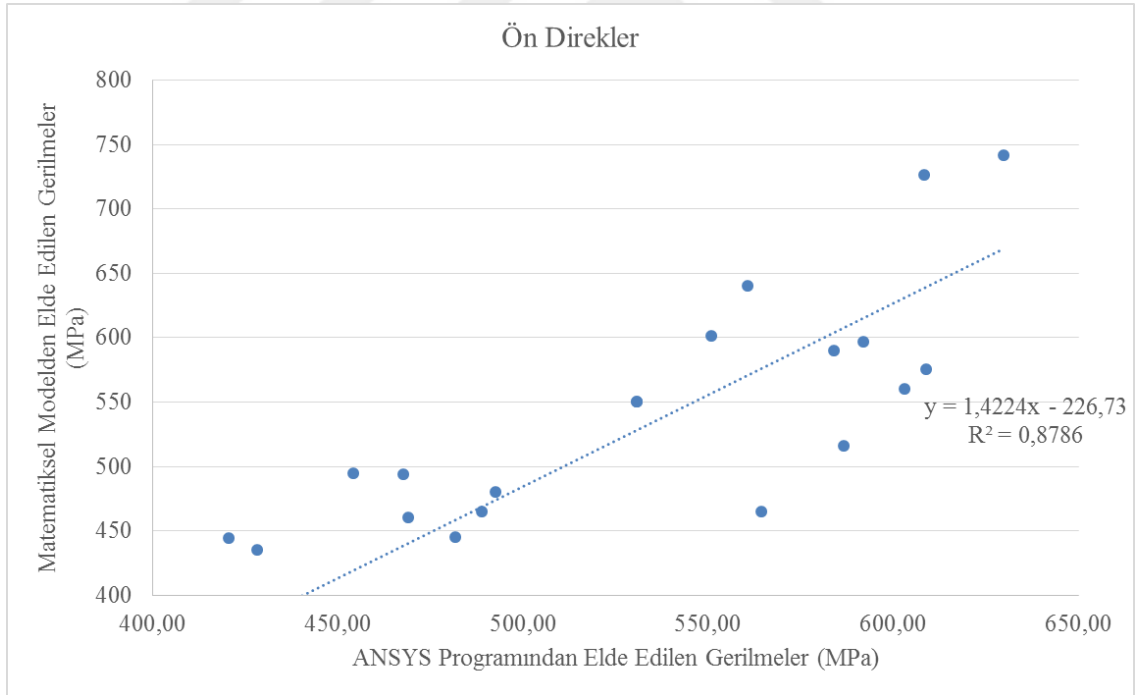
Şekil 9.39 Ana göçük sarması için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



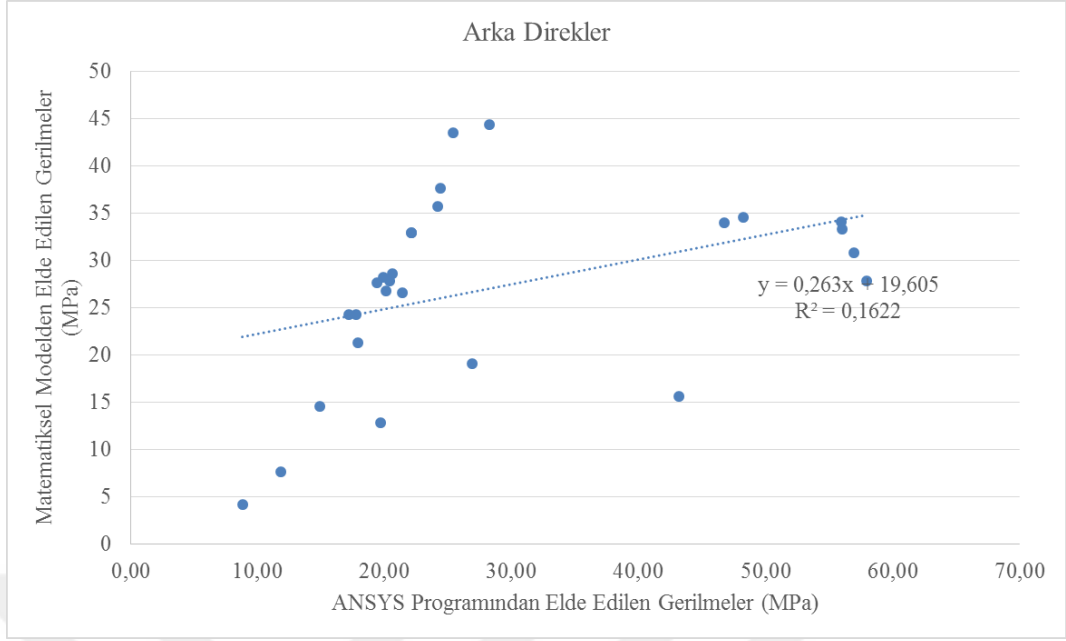
Şekil 9.40 Hareketli göçük sarması için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



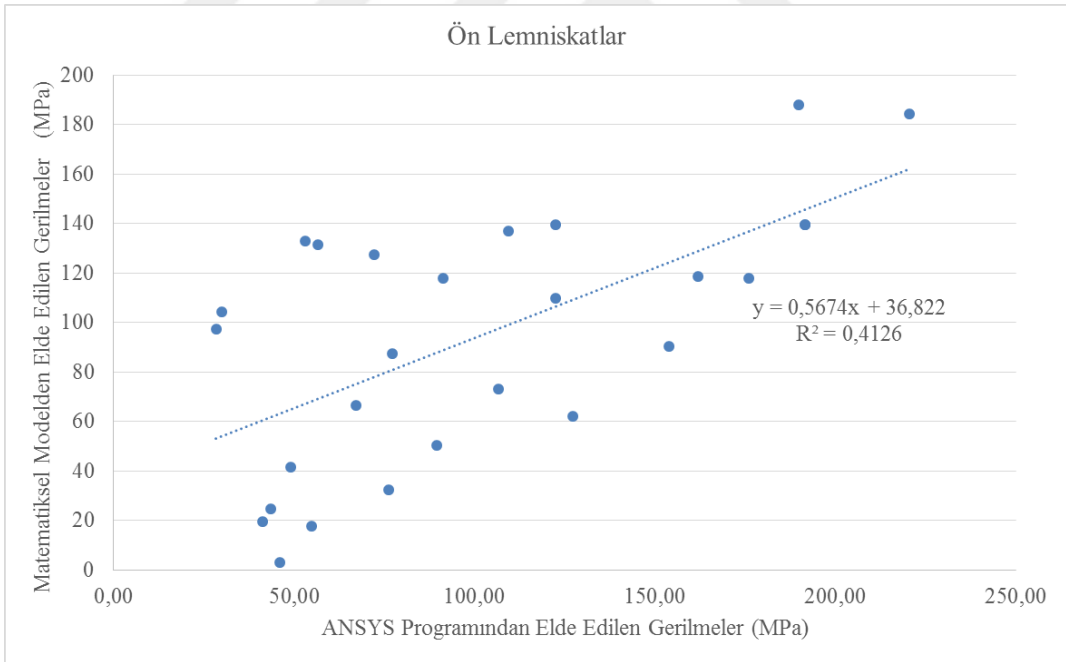
Şekil 9.41 Uzatılabilir göçük sarması için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



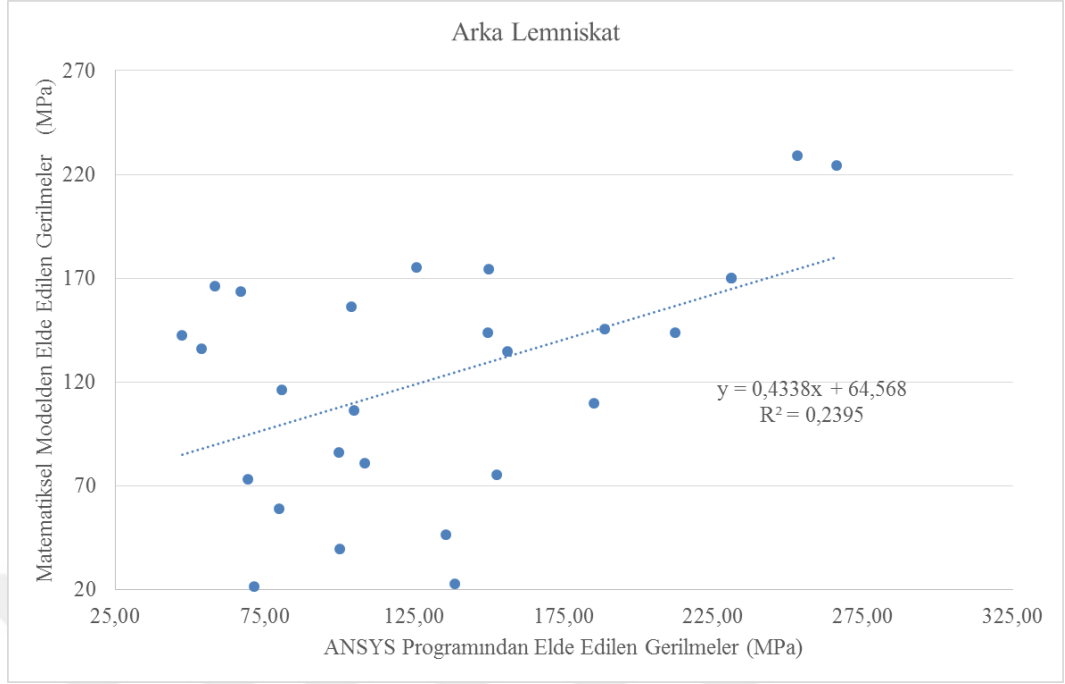
Şekil 9.42 Ön direkler için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



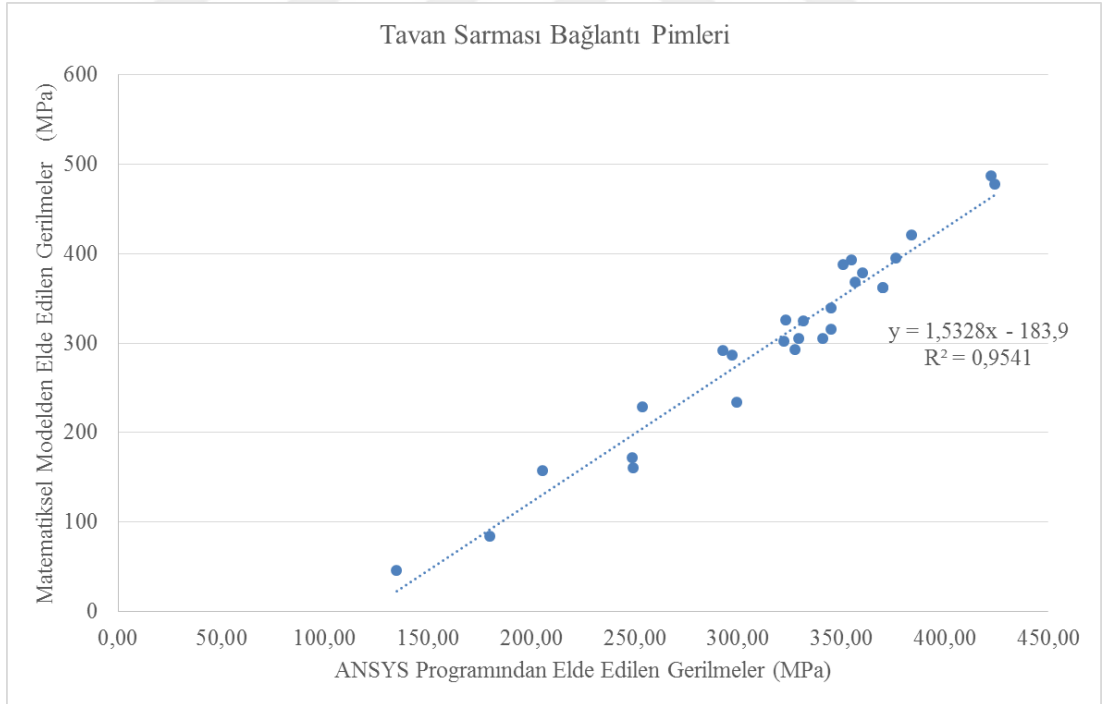
Şekil 9.43 Arka direkler için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



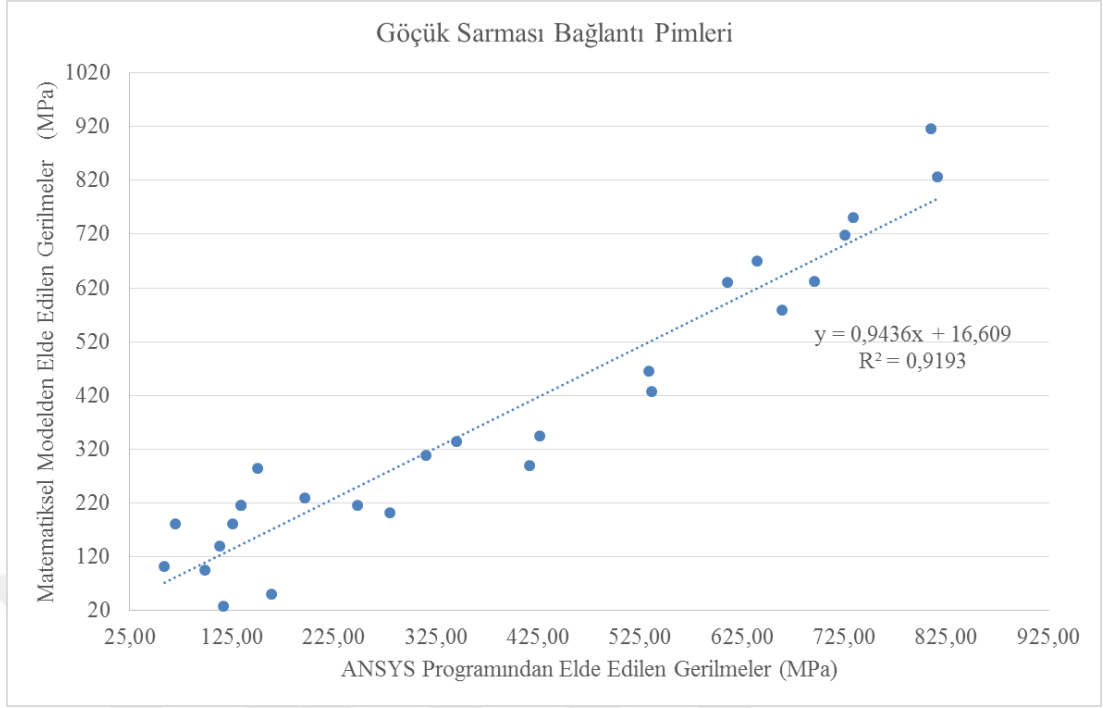
Şekil 9.44 Ön lemniskatlar için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



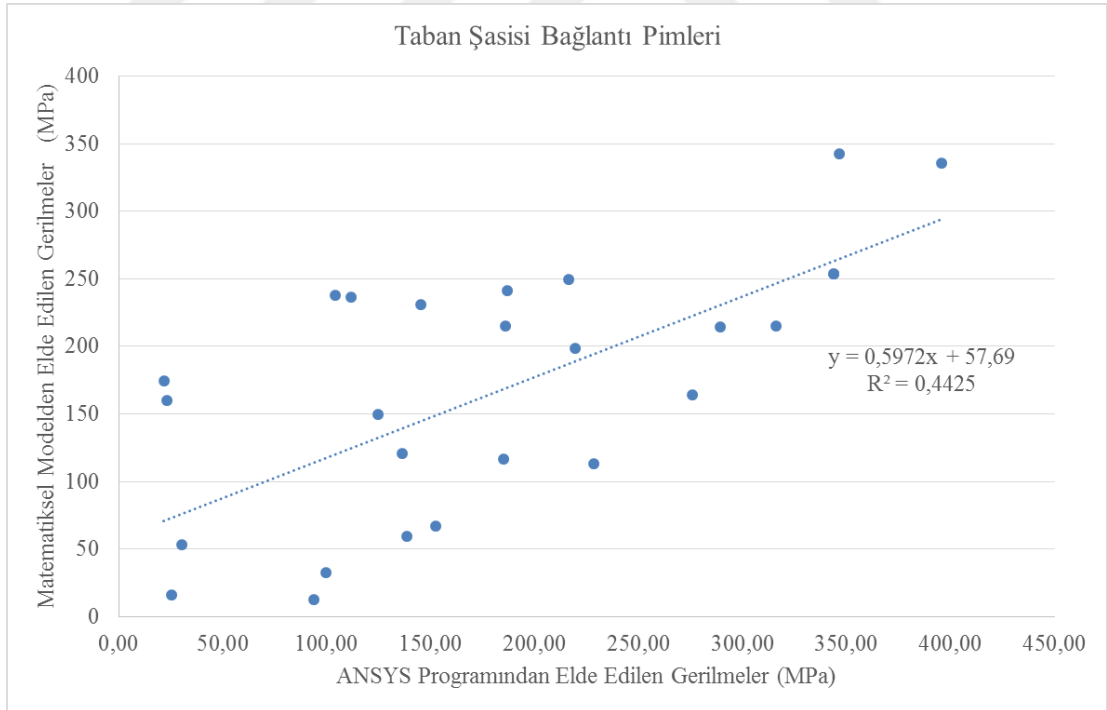
Şekil 9.45 Arka lemniskatlar için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



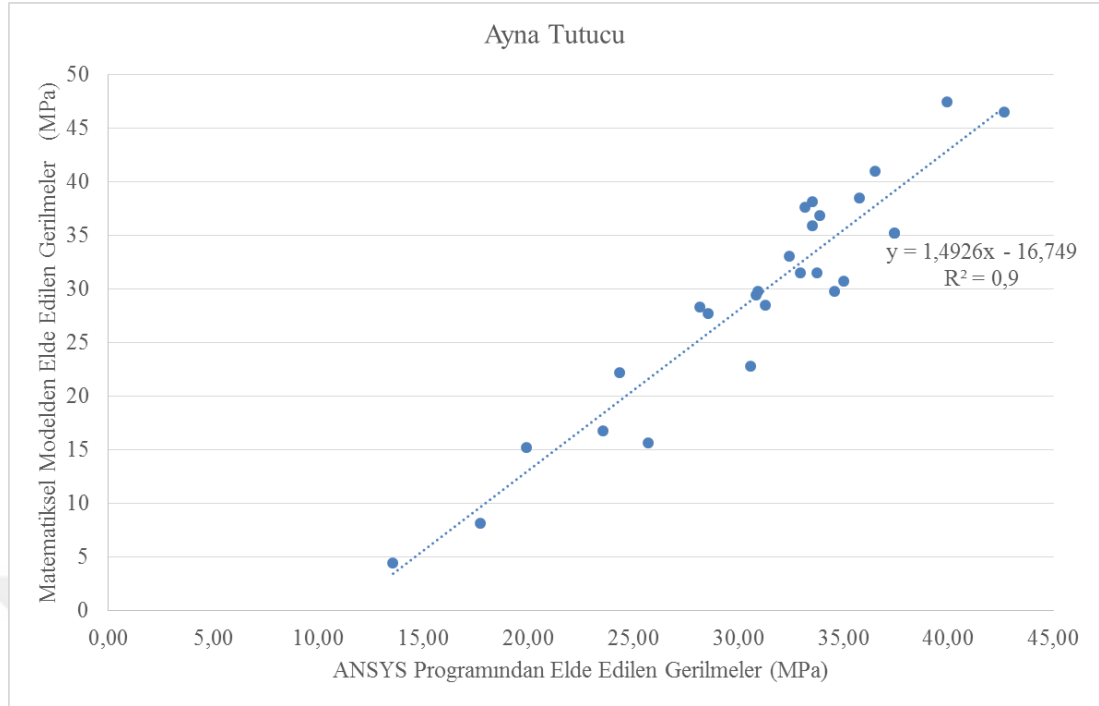
Şekil 9.46 Tavan sarması bağlantı pimleri için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



Şekil 9.47 Göçük sarması bağlantı pimleri için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



Şekil 9.48 Taban şasisi bağlantı pimleri için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki



Şekil 9.49 Ayna tutucu için 2. matematiksel model ve ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri arasında ilişki

9.6 Korelasyon Katsayısı ve Sınıflaması

Korelasyon, iki yada daha çok sayıda sürekli değişken arasındaki ilişkiyi göstermekte, ilişki miktarı ise korelasyon katsayısı ile belirlenmektedir. İki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin derecesini belirleyen korelasyon katsayısı, R ile gösterilmektedir. Korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında değer almaktadır ve korelasyon katsayısının işareti ise ilişkinin yönünü belirlemektedir (Şıklar, 2000; Apaydın vd. 1994; Köksal, 1980). Korelasyonun katsayısının sınıflaması Tablo 9.29’da verilmiştir.

Tablo 9.29 Korelasyon katsayılarının sınıflaması (Nangolo ve Musingwini, 2011)

Korelasyon Katsayısı (R)	Korelasyon Kuvveti
0,00-0,30	Zayıf
0,31-0,50	Orta
0,51-0,80	Güçlü
0,81-1,00	Çok Güçlü

9.7 Matematiksel Modeller ve Tahkimat Elemanları Arasındaki Korelasyon Katsayıları

Matematiksel modellerden elde edilen gerilme değerleriyle ANSYS gerilme analizinden elde edilen gerilme değerleri karşılaştırılmıştır. Her bir tahkimat elemanı için matematiksel modeller arasında korelasyon katsayısının en yüksek olduğu modeller ve sayısal formüller Tablo 9.30’da verilmiştir. Ayrıca matematiksel modeller ve tahkimat elemanları arasındaki korelasyon katsayıları Tablo 9.31’de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 9.30 Tahkimat elemanları ile en yüksek korelasyon katsayısını veren matematiksel modeller

Tahkimat Elemanı	Model No	Formül	Açık Formül	Maks. R ²	Maks. R
Tavan Sarması	1	$z = ax + by$	$z = 534,6961x + 2,1077y$	0,9983	0,9991
Taban Şasisi	14	$z = (ax + by + c)^{-2}$	$z = (-0,0414x + 0,1201y + 0,1178)^{-2}$	0,6363	0,7977
Ana Göçük Sarması	21	$z = ax^3 + by^3 + c$	$z = 81,8x^3 + 8079,5y^3 + 71,4$	0,7746	0,8801
Hareketli Göçük Sarması	19	$z = ax + by + c$	$z = 10,4127x + 477,4215y + 6,6977$	0,9855	0,9927
Uzatılabilir Göçük Sarması	19	$z = ax + by + c$	$z = 0,7616x + 226,5575y + 2,6380$	0,9926	0,9963
Ön Direkler	1	$z = ax + by$	$z = 637,1878x - 5,5463y$	0,9221	0,9603
Arka Direkler	11	$z = asinx + bcosy + c$	$z = 50,2431sinx + 138,8275cosy - 143,3937$	0,1978	0,4447
Ön Lemniskatlar	14	$z = (ax + by + c)^{-2}$	$z = (-0,0616x + 0,2394y + 0,1373)^{-2}$	0,6926	0,8322
Arka Lemniskat	14	$z = (ax + by + c)^{-2}$	$z = (-0,0239x + 0,1353y + 0,1001)^{-2}$	0,5661	0,7524
Tavan Sarması Bağlantı Pimleri	1	$z = ax + by$	$z = 420,5797x - 19,9909y$	0,9950	0,9975
Göçük Sarması Bağlantı Pimleri	19	$z = ax + by + c$	$z = 116,3x + 2612,1y + 46,9$	0,9418	0,9705
Taban Şasisi Bağlantı Pimleri	7	$z = ae^{bx+cy}$	$z = 109,93e^{1,0552x-6,1882y}$	0,7068	0,8407
Ayna Tutucu	19	$z = ax + by + c$	$z = 39,0634x - 4,8123y + 1,7623$	0,9520	0,9757

Tablo 9.31 Matematiksel modellerden elde edilen gerilmeler ile ANSYS gerilme analizinde tahkimat elemanlarında meydana gelen gerilmer arasındaki korelasyon katsayıları

Tahkimat Elemanı		Matematiksel Model No																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Tavan Sarması	Korelasyon katsayısı (R)	0,9991	0,9815	0,9488	0,8976	0,8481	0,9904	0,9903	0,9624	0,9223	0,9942	0,9952	0,9043	0,9347	0,9707	0,9787	0,9813	0,9831	0,9877	0,9991	0,9906	0,9661	0,8599
Taban Şasisi		0,6888	0,5343	0,4579	0,4309	0,5605	0,7772	0,7772	0,6733	0,6173	0,3791	0,6139	0,2627	0,6202	0,7977	0,7909	0,7882	0,7886	0,7813	0,7072	0,6185	0,5764	0,7087
Ana Göçük Sarması		0,7611	0,8337	0,8310	0,8223	0,4600	0,7595	0,7596	0,8421	0,8481	0,2510	0,8491	0,4329	0,8425	0,7439	0,7504	0,7484	0,7526	0,7618	0,7699	0,8592	0,8801	0,7880
Hareketli Göçük Sarması		0,9923	0,9809	0,9349	0,8882	0,9071	0,9697	0,9697	0,8972	0,8264	0,0000	0,9812	0,2678	0,9791	0,8759	0,9213	0,9367	0,9439	0,9581	0,9927	0,9818	0,9470	0,1949
Uzatılabilir Göçük Sarması		0,9960	0,9666	0,9157	0,8656	0,9320	0,9359	0,9359	0,8263	0,7488	0,0458	0,9663	0,2362	0,9641	0,5520	0,7993	0,8533	0,8777	0,9130	0,9963	0,9669	0,9238	0,1982
Ön Direkler		0,9603	0,9373	0,8960	0,8398	0,7942	0,9477	0,9478	0,9144	0,8689	0,9573	0,9597	0,8733	0,9092	0,9288	0,9368	0,9394	0,9383	0,9431	0,9603	0,9477	0,9192	0,8345
Arka Direkler		0,4295	0,4027	0,3540	0,3100	0,3663	0,4066	0,4066	0,3670	0,3233	0,4363	0,4447	0,4093	0,4437	0,3855	0,3961	0,3984	0,3995	0,4051	0,4297	0,4123	0,3837	0,2698
Ön Lemniskatlar		0,7632	0,6423	0,5664	0,5148	0,6454	0,8198	0,8199	0,7497	0,6996	0,4109	0,6935	0,2786	0,6883	0,8322	0,8290	0,8273	0,8256	0,8239	0,7667	0,6960	0,6538	0,7730
Arka Lemniskat		0,6505	0,4894	0,4161	0,3877	0,5372	0,7432	0,7426	0,6366	0,5776	0,3320	0,5801	0,2119	0,5868	0,7524	0,7479	0,7421	0,7519	0,7408	0,6768	0,5852	0,5393	0,5935
Tavan Sarması Bağlantı Pimleri		0,9975	0,9768	0,9129	0,8910	0,8442	0,9859	0,9858	0,9569	0,9170	0,9922	0,9943	0,9018	0,9373	0,9674	0,9718	0,9814	0,9797	0,9848	0,9975	0,9869	0,9616	0,8862
Göçük Sarması Bağlantı Pimleri		0,9698	0,9588	0,9104	0,8650	0,7722	0,9586	0,9586	0,8942	0,8314	0,0458	0,9560	0,2764	0,9505	0,9045	0,9288	0,9397	0,9429	0,9523	0,9705	0,9608	0,9276	0,2619
Taban Şasisi Bağlantı Pimleri		0,7885	0,6652	0,5824	0,5222	0,6678	0,8405	0,8407	0,7833	0,7224	0,3678	0,7294	0,2254	0,7288	0,8230	0,8276	0,8390	0,8394	0,8380	0,7949	0,7302	0,6880	0,4556
Ayna Tutucu		0,9756	0,9487	0,9131	0,8612	0,8901	0,9609	0,9610	0,9305	0,8916	0,9697	0,9731	0,8819	0,9229	0,9420	0,9502	0,9541	0,9555	0,9584	0,9757	0,9610	0,9342	0,8564

BÖLÜM ON

BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE SONUÇLAR

Madencilik uygulamalarında geniş kullanım alanı bulan nümerik ve matematiksel modelleme yöntemleri, tez çalışması kapsamında yürüyen tahkimatlarda meydana gelmesi beklenen gerilmelerin tahmin edilmesi ve bu gerilme değerlerine göre en uygun tahkimatın seçilmesi amacıyla kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde geliştirilen yöntemin sağladığı üstünlükler ve bilime olan katkıları şu şekilde sıralanmıştır;

- Konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında alanında yapılan ilk çalışma özelliği taşımaktadır.
- Tahkimat seçimine etki eden jeolojik, ekonomik ve teknik anlamda bir çok kriter vardır. Çalışma sonucunda bu kriterler tavan ve göçük bölgesinde oluşan ortalama gerilme dağılımları olmak üzere iki temel kritere indirilmiştir.
- Madencilik problemlerinin çözümünde matematiksel modelleme yöntemlerinin kullanımı ön plana çıkarılmıştır.
- Matematiksel modeller sonucunda önerilen eşitlikler sayesinde tahkimat seçiminde insana bağlı hatalar en az seviyeye indirilmiştir.
- Önerilen yüksek korelasyon katsayılı eşitlikler yardımıyla tahkimat seçiminde daha hızlı ve net sonuçlarla karar verebilme imkanı sağlanmıştır.

Tez kapsamında yapılan çalışmalar, jeolojik koşullardan ve çalışma düzeninden kaynaklanan yüklerin yürüyen tahkimat ünitesinin farklı elemanları üzerinde oluşturduğu gerilmelerin belirlenmesinden ve bunların CAD destekli olarak modellenmesinden oluşmaktadır. Bu bağlamda, tavan sarması ve göçük sarmasının üzerindeki bölgelerde meydana gelen gerilme değerleri dikkate alınarak, yürüyen tahkimat 13 elemana ayrılmış ve bu elemanlarda meydana gelen minimum ve maksimum gerilmeler tespit edilmiştir. Elde edilen bu gerilme değerlerinin kendi içlerindeki dağılımları incelenerek, bu dağılımlara en uygun olacak şekilde matematiksel modeller üretilmiştir. Bu kapsamda, üretilen 22 adet matematiksel model, Matlab programı kullanılarak tahkimat elemanları üzerinde denenmiştir. Bu

Çalışmalarda, tahkimat elemanlarında meydana gelen gerilme değerleri ile matematiksel modellerden elde edilen gerilme değerleri arasındaki korelasyon katsayıları dikkate alınmıştır.

Modelleme alışmaları sonucunda, arka direkler için oluşturulan matematiksel modellerin korelasyon katsayılarının düşük olduğu görülmüştür. Arka direklerin, tavan sarması ve gk sarmasının birleştiği bölgede olması ve çeşitli yönlerden yk alması nedeniyle bu bölgede oluşan gerilmelerin matematiksel olarak modellenmesi zordur. Arka direkleri ayrı olarak gerilme analizine tabi tuttuktan sonra, yapılacak olan matematiksel modelleme sonucunda yüksek korelasyon yakalanması beklenmiştir. Ancak bu parçaların tahkimatın elemanları olarak bir bütün içinde düşünüldüğünde, bunların ayrı olarak analiz edilmeleri doğru değildir. Dolayısıyla matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda arka direklerde en yüksek R değeri 0,4447 olarak hesaplanmıştır. Matematiksel olarak bu değer orta sınıfta bir korelasyon katsayısına karşılık gelmektedir. Bu nedenle, bu tez kapsamında arka direklerde meydana gelmesi beklenen maksimum gerilme değeri için geçerli olan bir matematiksel eşitlik önerilmemiştir.

Diğer tahkimat elemanlarında meydana gelmesi beklenen maksimum gerilme değerlerinin tahmini için oluşturulan matematiksel modellerden elde edilen korelasyon katsayılarına bakıldığında; taban şasisi ve arka lemniskat bağlantısı hariç, geri kalan tahkimat elemanlarında çok güçlü sınıfa giren korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Taban şasisi ve arka lemniskat bağlantıda ise güçlü sınıfa giren korelasyon katsayıları elde edilmiştir.

Yapılan alışmalar sonucunda tahkimat elemanlarında meydana gelmesi beklenen maksimum gerilmelerin, tavan ve gk bölgesinde meydana gelen gerilmelere bağlı olarak önceden tahmin edilmesi için uygun matematiksel eşitlikler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; tavan sarmasında meydana gelecek olan maksimum gerilmelerin tahmini için $R=0,9991$ korelasyon katsayısı ile 1. model ($z = ax + by$), taban şasisinde meydana gelecek olan maksimum gerilmelerin tahmini için $R= 0,7977$ korelasyon katsayısı ile 14. model ($z = (ax + by + c)^{-2}$), ana gk sarmasında

meydana gelecek olan maksimum gerilmelerin tahmini için $R=0,8801$ korelasyon katsayısı ile 21. model ($z = ax^3 + by^3 + c$), hareketli göçük sarmasında meydana gelecek olan maksimum gerilmelerin tahmini için $R=0,9927$ korelasyon katsayısı ile 19. model ($z = ax + by + c$), uzatılabilir göçük sarmasında meydana gelecek olan maksimum gerilmelerin tahmini için $R=0,9963$ korelasyon katsayısı ile 19. model ($z = ax + by + c$), ön direklerde meydana gelecek olan maksimum gerilmelerin tahmini için $R=0,9603$ korelasyon katsayısı ile 1. model ($z = ax + by$), ön ve arka lemniskat bağlantılarda meydana gelecek olan maksimum gerilmelerin tahmini için $R=0,8322$ ve $R=0,7524$ korelasyon katsayıları ile 14. model ($z = (ax + by + c)^{-2}$), tavan sarması bağlantı pimlerinde meydana gelecek olan maksimum gerilmelerin tahmini için $R=0,9975$ korelasyon katsayısı ile 1. model ($z = ax + by$), göçük sarması bağlantı pimlerinde meydana gelecek olan maksimum gerilmelerin tahmini için $R=0,9705$ korelasyon katsayısı ile 19. model ($z = ax + by + c$), taban şasisi bağlantı pimlerinde meydana gelecek olan maksimum gerilmelerin tahmini için $R=0,8407$ korelasyon katsayısı ile 7. model ($z = ae^{bx+cy}$) ve ayna tutucuda meydana gelecek olan maksimum gerilmelerin tahmini için $R=0,9757$ korelasyon katsayısı ile 19. model ($z = ax + by + c$) önerilmiştir.

Önerilen eşitlikler yardımıyla, karar verici konumunda bulunan şirketler ve/veya kişiler için kalın kömür madenciliğinde kullanılması olası yürüyen tahkimat tipleri arasından seçim yapabilme işlemi karışık bir değerlendirme sürecinden çıkarılarak hızlı ve pratik bir şekilde çok daha basit bir seviyeye indirilmiştir.

KAYNAKLAR

Adams, V. ve Askenazi A. (1999). *Finite element analysis*, (1. Baskı), Onward Press.

Ahıska, T. ve Esen, H. (1987). Uzunayaklarda yürüyen tahkimat sistemlerinin gelişmesi ve dizayn karakteristikleri, *Madencilik Dergisi*, (2), 5-6.

Akande, J. M. ve Saliu M. A. (2011). Design of a powered support system in Enugu coal mine, *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, (6), 1083-1089.

Akın, A. (2015). *Açık ocak işletmeciliğinde pasa döküm sahasının bulanık analitik hiyerarşi yöntemi ile belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

ANSYS Workbench 2.0 Software. (2013). USA

Apaydın, A., Kutsal, A. ve Atakan, C. (1994). *Uygulamalı İstatistik*, Ankara.

Arnoğlu, E. (2009). *Tünel dersi notları*. Genişletilmiş 4.bölüm, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Barczak, T. M. ve Gearhart, D. F. (1992). Canopy and base load distribution on a longwall shield, *United States Department of the Interior, Bureau of Mines*.

Barczak, T. M. ve Schwemmer, D. E. (1988). Horizontal and vertical load transferring mechanisms in longwall roof supports, *United States Department of the Interior, Bureau of Mines*.

Barczak, T. M., Schwemmer, D. E. ve Tasillo, C. L. (1989). Practical considerations in longwall face and gate road support selection and utilization, *United States Department of the Interior, Bureau of Mines*.

- Barton, N., Lien, R. ve Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, *Rock Mechanics*. (6),189-236.
- Baysal, G. ve Tecim, V. (2006). Katı atık depolama sahası uygunluk analizinin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı çok kriterli karar yöntemleri ile uygulaması. 4. *Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri. Fatih Üniversitesi. İstanbul*.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*, New York: Wiley.
- Bieniawski, Z. T. (1993). *Classification of rock masses for engineering: The RMR system and future trends, in Comprehensive Rock Engineering, Principles, Practice, and Projects*, (3), 553-573, Edited by J. A. Hudson, Pergamon, Oxford.
- Birön, C. ve Arıoğlu, E. (1993). *Madenler tahkimat işleri ve tasarımı*, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Bursoy, G. (2010). *Orta ölçekli bir kargo uçağının turboprop motoruna ait motor-disli kutusu bağlantı elemanının Ansys ile burkulma analizleri*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Chandrupetla, T. ve Belegunda, A. (1997). *Introduction to finite elements in engineering*, (2. Baskı), Prentice Hall.
- Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method of fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95 (3), 649-655.
- Çelik, R. (2005). *GLİ Ömerler mekanize ocakta yürüyen tahkimatin taşınmasının geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Çekilmez, V., Koç, S. ve Alemdaroğlu, T. (1987). *Kütahya-Tavşanlı-Tunçbilek bölgesi sondajları jeoteknik etüdü*, Ankara.

- Das, S. K. (2000). Observations and classification of roof strata behaviour over longwall coal mining panels in India. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (37), 585-597.
- Destanoğlu, N., Taşkın, F.B., Taştepe, M. ve Öğretmen, S. (2000). *GLİ Tunçbilek-Ömerler yeraltı mekanizasyon uygulaması*, Ankara: Kozan Ofset.
- Expert Choice Software, (2000). Expert Choice Inc., Pittsburg, USA.
- Fan, L., Hai-long, Y., Zhen-yu, L. ve Guo-dong, W. (2011). Influence of cooling rate on the microstructures and properties of Q550. *Applied Mechanics and Materials*, (117-119), 1705-1707.
- Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ). (2010). *GLİ Ömerler yeraltı mekanize ayak teçhizatı şartlari netleştirilmiş teknik şartname*.
- Grimstad, E. ve Barton, N. (1993). Updating the Q system for NMT. Proc. int. symp. on sprayed concrete modern use of wet mix sprayed concrete for underground support, *Fagernes*. 46-66. Norwegian Concrete Assn: Oslo.
- Göksu, A. ve Güngör, İ. (2008). Bulanık analitik hiyerarşi proses ve üniversite tercih sıralamasında uygulanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13 (3), 1-26.
- Hoek, E. (2006). *Kaya Mühendisliği*. (Karakuş M. ve Başarır H., Çeviri) TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara: Ümit Ofset.
- Hunter, P. ve Pullan, A. (2002). *Fem/Bem Notes*, The University of Auckland.
- Jacobi, O. (1981). *Praxis der Gebirgsbeherrschung*, (2.Baskı), Verlag Essen.

- Jahanshahloo, G. R., Hosseinzadeh, L. F. ve Izadikhah, M. (2006). Extension of the TOPSIS method for decision making problems with fuzzy data. *Applied Mathematics and Computation*, (181), 1544-1551.
- Jeremic, M. L. (1985). *Strata Mechanics in Coal Mining*, A.A., Balkema, Rotterdam.
- Karpuz, C. ve Hindistan, M. A. (2008). *Kaya mekaniği ilkeleri, uygulamaları*. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Yayın No: 116, (2. Baskı), Ankara: Ümit Ofset.
- Köksal, A. (1980). *İstatistik Analiz metotları*, İstanbul.
- Liu, G. R. ve Quek, S. (2003). *The finite element method: a practical course*, (1. Baskı) Heinemann Butterworth.
- Lucas, R. (1981). *An optimal determination of longwall panel dimensions. Final technical report*, U. S. Department of Energy, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA.
- Matlab R2011B Version (7.13.0.564).
- Moaveni, S. (2003). *Finite element analysis*, Pearson Education, 822 p.
- Molinda, G. M. ve Mark, C. (1994). Coal Mine Roof Rating (CMRR): A practical rock mass classification for coal mines, *U.S.Bureau of Mines*, IC 9387, USA.
- Mon, D. L., Cheng, C. H. ve Lin, J. C. (1994). Evaluating weapon system using analytic hierarchy process based on entropy weight. *Fuzzy Sets and Systems*, (62), 127-134.
- Nangolo, C. ve Musingwini, C. (2011). Empirical correlation of mineral commodity prices with exchange-traded mining stock prices. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, (111), 459-468.

- Öğretmen, S. (2015). *Kalın kömür tabakalarında yürüyen tahkimatlardaki basınçların analizi ve yük tahminleri*, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Özfırat, M. K. (2007). *Ömerler yeraltı kömür ocağında tam mekanize üretimde oluşan kayıpların belirlenmesi ve azaltılması üzerine araştırmalar*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Öztürk, A. B. ve Başkaya, Z. (2012). Bulanık analitik hiyerarşi süreci ile bir ekmek fabrikasında un tedarikçisinin seçimi. *Business and Economics Research Journal*, 3 (1), 131-159.
- Peng, S. S. (1986). *Coal mine ground control*, (2. Baskı), New York: Wiley.
- Peng, S. S. (2006). *Longwall mining*, (2. Baskı), West Virginia University, USA.
- Peng, S. S. ve Chiang, H. S. (1984). *Longwall mining*, New York: Wiley.
- Phase2 8, Version 8.020-2014, Rocscience Inc, Toronto, Ontario, Canada.
- RocData, 5.0 (2014). *Rock, soil and discontinuity strength analysis*, Version 5.0.
- Ruoning, X. ve Xiaoyan, Z. (1992). Extensions of the analytic hierarchy process in fuzzy environment. *Fuzzy Sets And Systems*, 52 (3), 251-257.
- Singh, G. S. P. ve Singh, U. K. (2010). Numerical modeling study of the effect of some critical parameters on caving behavior of strata and support performance in a longwall working. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, (43), 475–489.
- SpaceClaim Engineer Software. (2014). SpaceClaim Corporation, USA.

- Sweby, G. (1997). *Review the caving mechanisms around high extraction systems and determine the effect of the mechanism on the safety of the system*, Project No: COL 327, Csiro Miningtek.
- Şıklar, E. (2000). *Regresyon analizine giriş*. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Şimsir, F. (2015). *Yeraltı madencilik yöntemleri*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Şimsir, F. ve Özfirat, M. K. (2008). Determination of the most effective longwall equipment combination in longwall top coal caving (LTCC) method by simulation modelling, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45 (6), 1015–1023.
- Terzaghi, K. (1946). *Rock defects and loads in tunnel supports. Rock tunneling with steel supports*. (eds. R.V. Proctor and T.L. White), The commercial shearing and stamping Co., Youngstown, Ohio.
- Uzunoğlu, M., Kızıl, A. ve Onar, Ö. Ç. (2003). *Her yönü ile Matlab*, Türkmen Kitabevi.
- Verma, A. K. ve Deb, D. (2013). Numerical analysis of an interaction between hydraulic-powered support and surrounding rock strata, *American Society of Civil Engineers*.
- Wang, W. Y., Li, G. Q. ve Ge, Y. (2015). Residual stress study on welded section of High strength Q460 steel after fire exposure. *Advanced Steel Construction*, 11 (2), 150-164.
- Wang, W., Liu, B. ve Kodur, V. (2013). Effect of temperature on strength and elastic modulus of high strength-steel, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 174-182.
- Whittaker, B. N. (1974). An appraisal of strata control practice, *Mining Engineer*, (134), 9-24.

- Wilson, A. H. (1975). Support requirements on longwall faces, *Mining Engineer*, 479-488.
- Xue, K. M., Huang, P., Li, P., Chen, L. ve Liu, W. (2012). The structure statics analysis and optimal design of hydraulic support, *Applied Mechanics and Materials*, (226-228), 1265-1268.
- Yavuz, M. (2002). *Yeraltı mekanize kömür panolarının boyutlarının optimum olarak belirlenmesi*, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Yetkin, M. E., Şimşir, F., Özfirat, M. K., Özfirat, P. M. ve Yenice, H. (2016). A fuzzy approach to selecting roof supports in longwall mining. *South African Journal of Industrial Engineering*, 27 (1), 162-177.