



Orijinal Araştırma / Original Research

TRAPEZ KESİTLİ RİJİT ÇELİK TAHKİMATLARDA KULLANILAN ÇELİK PROFİLLERİN YÜKE UYGUN ŞEKİLDE SEÇİMİNİN SONLU ELEMANLAR METODU DESTEKLİ OLARAK İNCELENMESİ

FINITE-ELEMENTS METHOD AIDED EXAMINATION OF THE SELECTION OF STEEL PROFILES IN ACCORDANCE WITH THE ROCK MASS USED IN TRAPEZOIDAL CROSS-SECTIONED ROADWAY SUPPORT

İlter Kilerci^{a*}, Aytaç Başsüllü^{a**}, Burak Önder^{a***}, Onur İpek^{a****}

^a Kocaeli Haddecilik San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi, İzmir, TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 17 Ekim / October 2018

Kabul Tarihi / Accepted : 06 Nisan / April 2019

Anahtar Sözcükler:

Trapez tahkimat,
Çelik profil,
Sonlu elemanlar metodu,
Analiz.

ÖZ

Bu çalışmada, 5,75 m² galeri kesitine sahip maden galerisinin trapez kesitli rijit çelik tahkimatlarla tasarlanması sürecinde profil kesiti ve profil malzemesi seçiminin sonlu elemanlar metodu destekli olarak gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Belirtilen hedef doğrultusunda yeraltı açıklığına etkimesi öngörülen yük referans alınarak galeri kesit alanı sabit kalmak şartı ile profil malzemesi ve profil kesiti değiştirilerek yük-profil kesiti optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Referans alınan yeraltı açıklığı için S235 malzemeli NPI 200 kesitli profil kullanımının yerine TH29 kesitli profil kullanımının deplasman ve gerilme dağılımlarına göre daha emniyetli olduğu, TH29 kesitli profil kullanımı ile ayak açıklığının 1500 mm'den 2000 mm seviyelerine kadar artırılarak kurulum maliyetlerinin düşürülebileceği belirlenmiştir.

ABSTRACT

In this study, selection of appropriate profile material and a profile section by using finite elements method during the design studies of the mine roadway support having a cross-section of 5,75 m² was aimed. The support type was trapezoidal sectioned rigid steel support. In parallel with the aim of this study, load-profile section optimization studies were carried out by changing the profile material and profile section while the cross-sectional area of the gallery is kept constant with considering the load acting on the subsurface mine openings. It was determined that using of TH29 profile with 31Mn4 material was safer than NPI200 profile with S235 material, according to the displacement and stress distribution for the subsurface mine openings and the support spacing can be increased from 1500 mm to 2000 mm as a result, the installation costs could be reduced by using TH29 section profile.

Keywords:

Trapezoidal ground support,
Steel profile,
Finite elements method,
Analysis.

* Sorumlu yazar / Corresponding author: i.kilerci@kocaergroup.com • <https://orcid.org/0000-0003-2314-4966>

** a.bassullu@kocaergroup.com • <https://orcid.org/0000-0002-1929-9781>

*** b.onder@kocaergroup.com • <https://orcid.org/0000-0002-1978-3936>

**** o.ipek@kocaergroup.com • <https://orcid.org/0000-0003-2062-0541>

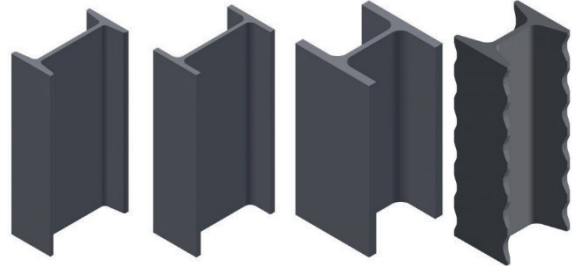
GİRİŞ

Maden çıkarma faaliyetlerinin yürütülebilmesi amacı ile açılan galerilerde, artan yük yoğunluğu ile birlikte açıklıklarda değişimler meydana gelmektedir. Yapay olarak oluşturulan açıklıkların öngörülen servis ömürleri boyunca kararlı bir şekilde kalması, kayaç yükünün taşınmasına yardımcı olarak açıklığın sağlamlaştırılmasına yardımcı olan tahkimat sistemleri sayesinde gerçekleştirilir (Kilerci vd, 2016). Madencilikte tahkimatlar ile sağlamlaştırma işlemleri öncelikle, çalışan personelin güvenliğini yüksek güvenlik katsayılı tasarımlar ile sağlamak için yapılır. Bu işlev sağlandıktan sonra kullanılan tahkimat elemanlarının maliyeti, kullanılan farklı sistemlerin birbirine göre avantajları veya dezavantajlarının ortaya konulması gerekir. Bu aynı zamanda madencilikte çok yüksek mertebelerde olan yatırımın korunması açısından da önemlidir (Mamat, 2014).

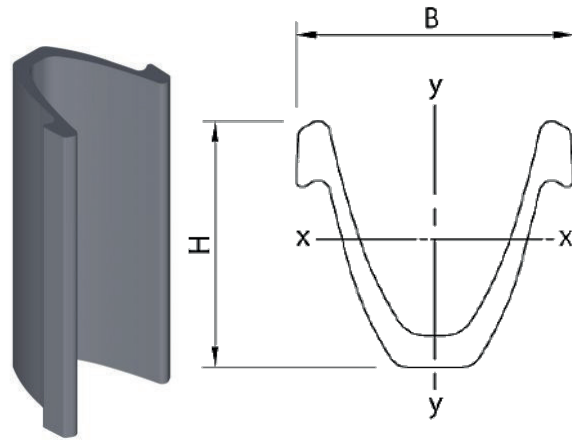
Madencilikte kullanılan tahkimatlar da yapısal sistemlerdir, ancak kayaç yükleri ile sürekli etkileşimleri yük altındaki davranışlarını, kararlılıklarını ve genel yük taşıma kapasitelerini diğer yapısal sistemlerden ayırmaktadır. Genellikle tahkimatlar açıklıktaki kayaçtan daha esneklerdir. Bu esneklik, devam eden galeri açımı sırasında ve sonrasında açıklıkta meydana gelen yük değişimlerinin absorbe edilmesini sağlamaktadır. Yeraltı açıklıklarının tahkimat tasarımında en etkili çözüm yüksek esnekliğe ve tokluğa sahip malzemelerin kullanılmasıdır (Zenti vd 2012). Tahkimat malzemesi olarak çeliğin kullanımının başlaması ile bozuk zemin şartlarında ve artan derinliklerde kazı yapılması mümkün kılınmıştır. NPI, IPE ve H kesite sahip çelik profiller rijit tahkimatlarda kullanılmaya başlanmış olup günümüzde yeraltı açıklıklarının tahkimat tasarımlarında halen geniş bir uygulama alanına sahiptir. Şekil 1’ de tahkimat tasarımında kullanılan belli başlı çelik profiller ve geometri farklılıkları gösterilmiştir (Kocaer Haddecilik).

Rijit çelik tahkimatların sıkışma ve şişme problemi olan zeminlerdeki kazılar sırasında ortaya çıkan konverjansa müsaade ederken tahkimat basıncında azalış göstermesinden dolayı 1932 yılında Freidrich Toussaint ve Egmont Heintzmann tarafından Şekil 2’de gösterilen ve eklem yerlerinden birbiri içinde kayabilen TH profiller

üretimiştir (Podjadtko vd, 2009). Bu sayede daha az malzeme kullanılarak, düğüm noktalarına yükleri dağıtan ve taşıma kapasitesinde verim sağlayan kemerlerin kullanımı çelik tahkimatlar adına önemli bir gelişim sağlamıştır (Kömürlü ve Kesimal, 2013).



Şekil 1. Belli başlı rijit tahkimat profilleri



Şekil 2. Toussaint – Heintzmann profili

TH profillerde kesit uniform olarak daraldığından dolayı yük dağılımı da uniformdur. Yükleme halinde tahkimat geometrisine bağlı olarak kesitte meydana gelen eğilme gerilmesi büyük oranda düşecektir. Yani sistem normal gerilmeye maruz kalacaktır. Bu sayede malzeme kullanımı önemli ölçüde azalış gösterir. Geçme tahkimatlarda kullanılan TH profilin (x-x) ve (y-y) eksenlerine göre mukavemet momentleri incelendiğinde:

$$W_y = 1,09W_x - 3,1 \text{ (cm}^3\text{)}$$

şeklinde bir oran olduğu ve bu oranın 1’e yakınsadığı görülür. I profiller için ise bu oranın

(W_y/W_x) 0,24 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Rankin oranı olarak bilinen bu oran 1'e yaklaştıkça profillerin dayanımı artmaktadır. Dolayısıyla her iki eksendeki mukavemet momentleri birbirine yakın olan TH profilleri; maden tahkimatları açısından kullanımı ideal profillerdir. TH tahkimatlar %15 ile %50 konverjansa izin verdiği için dolayı aktif tabanyolları için uygun bir tahkimat sistemidir (Arioğlu ve Yüksel, 1982).

Son yıllarda ülkemizde meydana gelen kazalar sonucunda yaşanan can kayıplarının artışı, ülkemiz madencilik sektöründeki, tabanyolları ve galerileri meydana getiren çelik tahkimatların optimum özelliklerinin belirlenerek, kayaç yüküne göre uygun tahkimat sistemlerinin seçilmesinin önemini gündeme getirmiştir (Güneş, 2013).

Günümüz teknolojinin dinamik bir şekilde gelişmesi; madencilik ve tünel inşaat sektöründe kullanılan tahkimat sistemlerinin in-situ testler ile belirlenmesinin tamamlayıcısı olarak sonlu elemanlar temeline dayalı olarak çalışan programlar vasıtası ile modelleme ve simülasyon çalışmalarının gerçekleştirilebilmesine imkan sağlamaktadır (Kilerci vd, 2016).

Bu çalışmada, Bursa Bölgesi'nde Krom Madenciliği sektöründe faaliyet gösteren kuruluşa ait 5,75 m² galeri kesitine sahip maden galerisinin trapez kesitli rijit çelik tahkimatlarla tasarlanması sürecinde profil kesiti ve profil malzemesi seçiminin sonlu elemanlar metodu destekli olarak gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Belirtilen hedef doğrultusunda yeraltı açıklığına etkimesi öngörülen yük referans alınarak galeri kesit alanı sabit kalmak şartı ile profil malzemesi ve profil kesiti değiştirilerek yük-profil kesiti optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

1. MALZEME VE YÖNTEM

1.1. Malzeme

Bu çalışma kapsamında kullanılacak çelik profillere ilişkin mekanik özellikler Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Tahkimat yük analizlerinde kullanılacak olan profillere ait kimyasal kompozisyon bilgileri ise Çizelge 2'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Malzeme mekanik özellikleri (Kocaer Haddecilik)

Profil cinsi	Malzeme cinsi	Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)
NPI 200	S235JR	235	360
50x50x3 Kutu	S235 JR	235	360
TH29	31Mn4	350	550
C100x6,7	S235JR	235	360

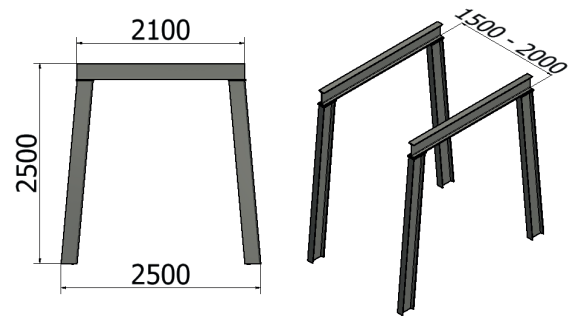
Çizelge 2. Malzeme kimyasal kompozisyonları

Malzeme	%C	%Si	%Mn	%Al
S235JR	0,05	0,1	0,2	0,015 0,08
	0,14		0,8	
31Mn4	0,28	0,2	0,8	0,02
	0,36	0,5	1,1	

1.2. Yöntem

1.2.1. Tasarım Çalışmaları

Çalışmalar kapsamında referans alınan yeraltı açıklığı için tasarlanacak olan tahkimatlara ait ölçüsel özellikler Şekil 3'te gösterilmektedir.



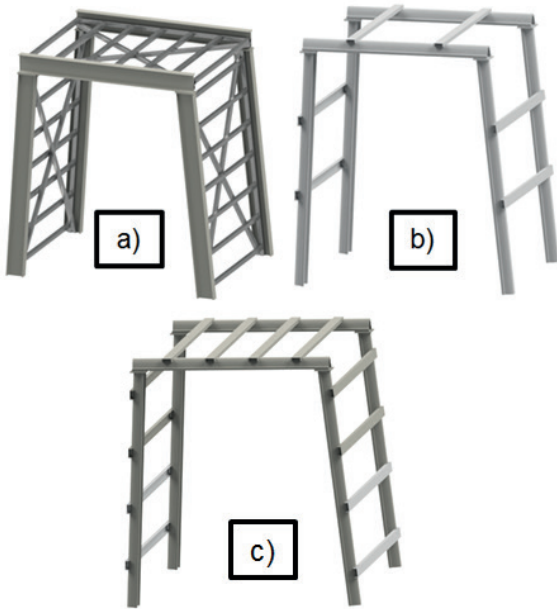
Şekil 3. Referans alınan tahkimat tasarımına ait genel ölçüler

Şekil 3'te genel ölçüleri verilmiş olan tahkimata ait modellemeler kapsamında Autodesk Inventor yazılımı kullanılmış olup, NPI200 ve TH29 profillerden oluşturulması planlanan kemerler kullanılarak katı modellemeler yapılmıştır. Yapılan modelleme çalışmalarına ilişkin detaylar Çizelge 3'te gösterilmektedir.

Çizelge 3. Tahkimat tasarımlarına ait bilgiler

Tasarım no	Kemer profili	Fırça profili	Galeri açıklığı (mm)
1	NPI 200	50x3 Kutu	1500
2	TH29	C100x6,7	1500
3			2000

Çizelge 3' teki profiller kullanılarak tasarlanan tahkimat sistemlerine ait örnekler Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Tasarlanan tahkimat sistemi örnekleri a) Tasarım 1 b)Tasarım 2 c) Tasarım 3

Tahkimatların tasarımı aşamasında Tasarım 1'de; S235JR malzemeli NPI200 profillerden oluşturulan yan ve üst kemerler birbirlerine 15 mm kalınlıklı bağlantı plakalarına kaynaklı birleştirme yöntemleri ile birleşecek şekilde bağlanmıştır. 1500 mm ayak açıklığı ile ardışık şekilde yerleştirilen kemerler S235JR malzemeli 50x50x3 mm ölçülerinde kutu profiller kullanılarak bağlanmıştır. Tasarım 2' de 31Mn4 malzemeli TH29 profillerden oluşturulan yan ve üst kemerler birbirine 15 mm kalınlıklı bağlantı plakaları ile bağlanmıştır. 1500 mm ayak açıklığı ile ardışık şekilde yerleştirilen kemerler S235JR malzemeli C100x6,7 profiller kullanılarak bağlanmıştır. Tasarım 3'de ise 31Mn4 malzemeli TH29 profillerden oluşturulan yan ve üst kemerler 15mm kalınlıklı bağlantı plakaları ile

bağlanmış, 2000 mm ayak açıklığı oluşturularak ardışık şekilde yerleştirilen kemerler S235JR malzemeli C100x6,7 4'er adet profil kullanılarak bağlanmıştır.

1.2.2. Analiz Çalışmaları

Çalışmanın bu aşamasında, katı modelleme faaliyetleri tamamlanan tasarımların referans alınan kayaç yükünün etki ettiği basınç verisi statik analizlere girdi parametre olarak kullanılmıştır. Tasarlanan sistemin yüklemeler altındaki davranışının doğrulanmasında Sonlu Elemanlar Metodu temeline dayanarak yapısal analiz çözümü gerçekleştirebilen Autodesk Inventor Stress Analysis modülünde sistem düğüm noktaları içeren elemanlara bölünerek, bölünmüş düğüm noktalarının birbirine bağlanması ile mesh yapısı oluşturulmuştur. Örülen bu ağ yapı özelliklerine göre matematiksel denklemler yardımı ile statik yüklemelere maruz bırakılmış ve gerilme – şekil değiştirme sonuçları elde edilmiştir. Analizler kapsamında girdi olarak kullanılan basınç miktarları Çizelge 4'te gösterilmiştir.

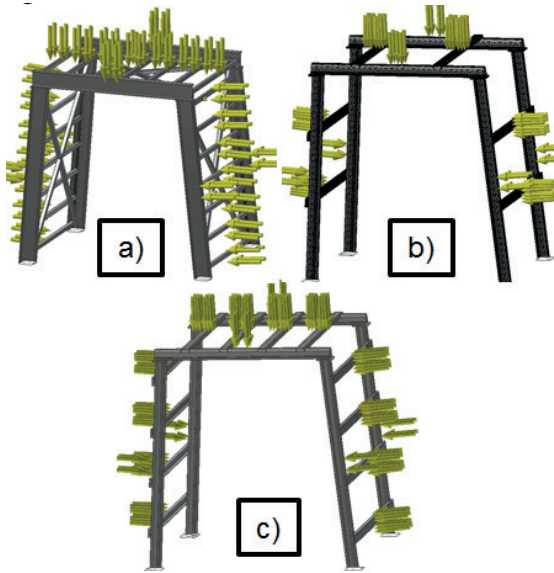
Çizelge 4. Tahkimat sistemine etkiyen yük ve basınç verileri

Tasarım no	Basınç bölgesi	Etkiyen yük (ton)	Basınç değeri (MPa)
1	Yan yüzey	25	0,30
	Üst yüzey	25	0,30
2	Yan yüzey	25	0,51
	Üst yüzey	25	0,54
3	Yan yüzey	33,3	0,32
	Üst yüzey	33,3	0,33

Tasarlanan tahkimat sistemleri için öngörülen kayaç yükü referans alınmış ve tahkimat elemanlarının kayaç yükü ile temas yüzeyleri ile orantılı olarak yayılı yükün etki edeceği şekilde basınç uygulanmıştır. Tahkimat sistemi tasarımlarına uygulanan basınç dağılımları Şekil 5'te gösterilmektedir.

Tahkimat sistemlerini oluşturan tüm elemanlara Autodesk Inventor yazılımının statik analiz paketi

kullanılarak mesh boyutları sabit kalacak şekilde Çizelge 5’de gösterilen adetlerde mesh elemanları atanmıştır. Tüm Sonlu Elemanlar Metodu temelli analizlerde Çizelge 1, Çizelge 3 ve Çizelge 4’deki verilere göre analiz modelleri kurgulanmış ve bu kapsamda statik analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Tahkimatlara etkiyen kayaç basıncı

Çizelge 5. Analizlerde atanan mesh eleman sayısı

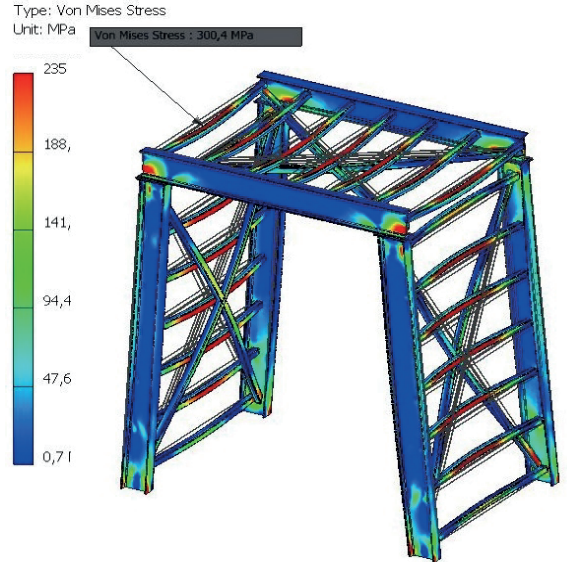
Tasarım no	Mesh eleman sayısı
1	715.998
2	204.851
3	239.017

2. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

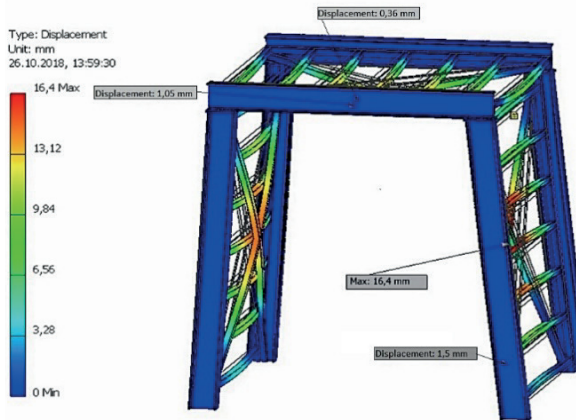
Şekil 3’de gösterilmiş olan referans yeraltı açıklığı boyutlarına göre tasarlanan üç farklı tasarıma ait statik analizler gerçekleştirilmiş olup, tüm analizlere ait çıktılar tasarım numaralarına göre verilmiştir.

2.1. Tasarım 1 Statik Analiz Çıktıları

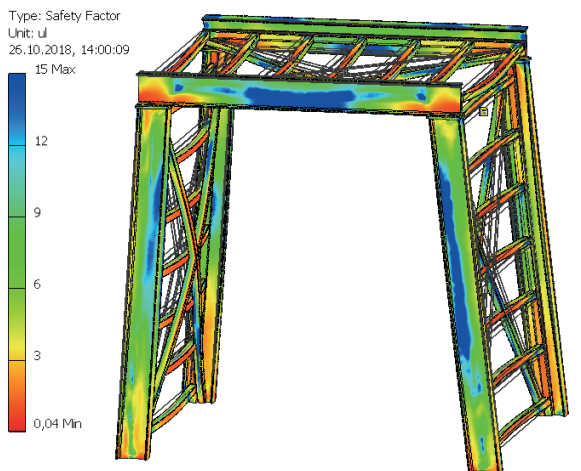
S235JR malzemeli NPI200 profillerden oluşturulan yan ve üst kemerlerin 1500 mm ayak açıklıkları ile yerleştirilmesi ve S235JR malzemeli 50x50x3 kutu profillerin bağlantı fırçaları olarak kullanılması ile gerçekleştirilen tasarıma üst ve yan yüzeylerinden 25 ton yayılı yük etki edecek şekilde yapılan analizlerin çıktıları Şekil 6 – Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 6. Tasarım 1’ e ait statik analiz sonucu elde edilen gerilme dağılımları



Şekil 7. Tasarım 1’ e ait statik analiz sonucu elde edilen deplasman verileri



Şekil 8. Tasarım 1’ e ait statik analiz sonucu elde edilen güvenlik katsayısı dağılımı

Tasarım 1' e ait analizlerden elde edilen veriler incelendiğinde; Şekil 6'da gösterilmekte olan tahkimatta maksimum gerilmenin 300 MPa ile üst yüzeyde yer alan bağlantı fırçalarında meydana geldiği belirlenmiştir. Tasarım geneli itibari ile incelendiğinde ise dikey yöndeki basıncın üst kemerlerde bölgesel olarak akmaya maruz kalan bölgelerin meydana geldiği dolayısıyla yükün özellikle üst kemerler tarafından güvenli bir şekilde taşınmayacağı görülmektedir. Üst kemerlerde akma dayanımının üzerinde gerilme meydana gelen bölgelerde kalıcı şekil değişiminin 0,3 ile 1 mm mertebelerinde meydana geldiği Şekil 7'den görülmektedir.

Yan kemerlerin yüzeylerine dik yönde uygulanan basıncın ise yan kemerlerde ortalama 70-100 MPa gerilme meydana getirdiği dolayısıyla yan kemerler tarafından yükün emniyetli bir şekilde taşınabileceği görülmektedir. Belirtilmiş olan bölgelerde elastik şekil değişiminin meydana geldiği ve deplasman miktarının 1,5 mm seviyelerinde meydana geldiği Şekil 7'den görülmektedir.

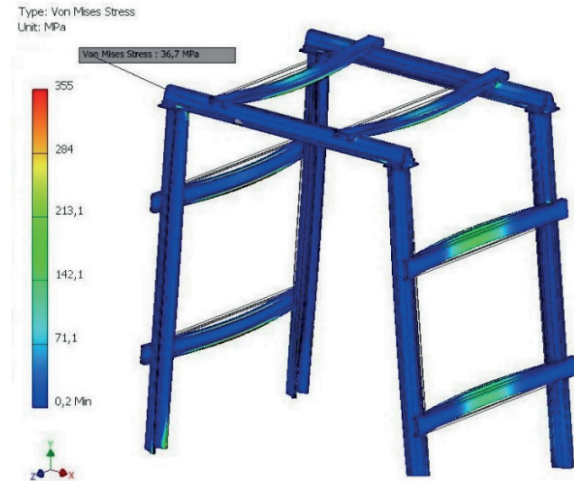
S235JR malzemeli kutu profillerden oluşturulan bağlantı fırçaları incelendiğinde ise düşey ve yanal yönlerde 25 tonluk yayılı yükün meydana getirdiği basınca karşı mukavemetinin yeterli olmadığı, fırçaların tamamında akma bölgesini geçen alanların mevcut olduğundan dolayı fırçaların belirtilmiş olan yükü taşıyamayacağı belirlenmiştir. Şekil 6' da fırçalarda meydana gelen ve akma dayanımını aşan bölgelerde; 7' de gösterildiği üzere deplasman miktarının 16,4 mm değerine ulaştığı ve bu şekil değişiminin kalıcı olduğu görülmektedir.

Tasarım 1'e ait elemanların statik analizi sonucunda elde edilen güvenlik katsayıları dağılımları incelendiğinde ise Şekil 8' de görüldüğü üzere üst kemerlerde en düşük bölgede 0,5 en yüksek olan bölgede ise 13 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Yan kemerlerde güvenlik katsayısının ise ortalama olarak 7,4 seviyelerinde olduğu görülmektedir.

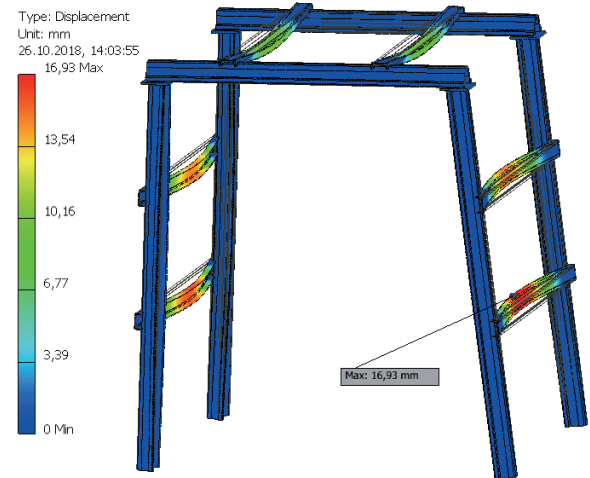
2.2. Tasarım 2 Statik Analiz Çıktıları

31Mn4 malzemeli TH29 profillerden oluşturulan yan ve üst kemerlerin 1500 mm ayak açıklıkları ile yerleştirilmesi ve S235JR malzemeli

C100x6,7 C profillerin bağlantı fırçaları olarak kullanılması ile gerçekleştirilen tasarıma üst ve yan yüzeylerinden 25 ton yayılı yük etki edecek şekilde yapılan analizlerin çıktıları Şekil 9 – Şekil 11' de gösterilmektedir.



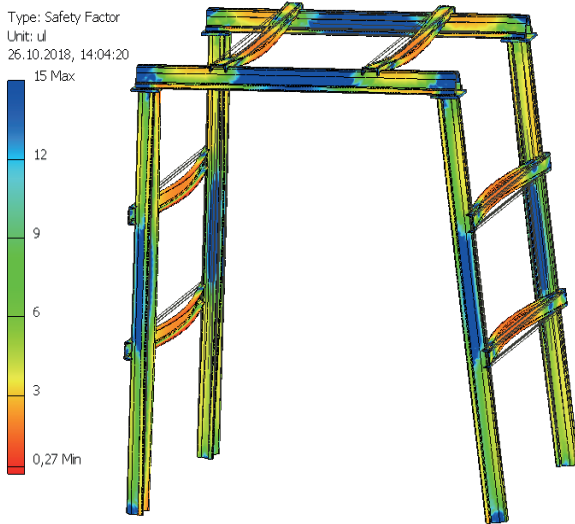
Şekil 9. Tasarım 2' ye ait statik analiz sonucu elde edilen gerilme dağılımları



Şekil 10. Tasarım 2' ye ait statik analiz sonucu elde edilen deplasman verileri

Tasarım 2' ye ait analizlerden elde edilen veriler incelendiğinde; Şekil 9'da gösterilmekte olan tahkimatta maksimum gerilmenin 164 MPa ile yan yüzeyde yer alan bağlantı fırçalarında meydana geldiği belirlenmiştir. Tasarım geneli itibari ile incelendiğinde yan ve üst kemerlerde en çok 36 MPa seviyelerinde gerilmenin meydana geldiği ve düşey ve yatay yönde etkiyen basıncın kemerler

ve bağlantı fırçaları tarafından güvenli bir şekilde taşınabildiği belirlenmiştir. Üst kemerlerde gerilmenin en yüksek olduğu fırça yüzeylerinde en çok 11,4 mm elastik şekil değişimi meydana geldiği, yan yüzeylerdeki bağlantı fırçalarında ise gerilmenin 164 MPa olduğu bölgedeki deplasman miktarının 16,4 mm olduğu Şekil 10’ da görülmektedir.



Şekil 11. Tasarım 2’ ye ait statik analiz sonucu elde edilen güvenlik katsayısı dağılımı

Yan kemerlerde meydana gerilmelerin 36 MPa değeri ile en yüksek olduğu bölgede meydana gelen deplasmanın 0,53 mm olarak gerçekleştiği dolayısıyla üst ve yan kemerler tarafından 25 tonluk yükün güvenli bir şekilde taşınabileceği görülmektedir.

S235JR malzemeli C100x6,7 profillerden oluşturulan bağlantı fırçaları incelendiğinde ise dikey ve yanal yönlerde 25 tonluk yayılı yükün meydana getirdiği basınca karşı mukavemetinin iki kat emniyetli olduğu ve yükü emniyetli bir şekilde taşıyabileceği belirlenmiştir.

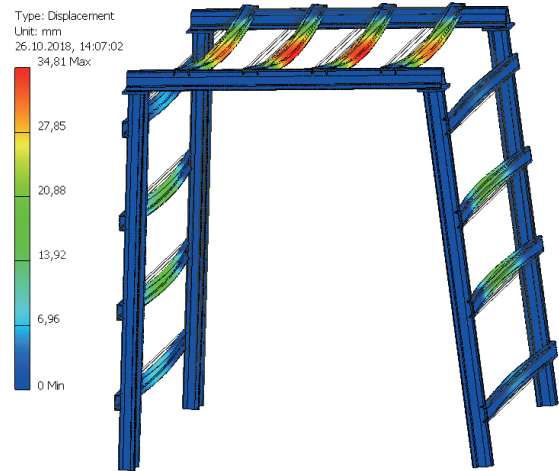
Tasarım 2’ye ait elemanların statik analiz sonucunda elde edilen güvenlik katsayıları dağılımları incelendiğinde ise Şekil 12’de görüldüğü üzere üst kemerlerde en düşük bölgede 1,5 en yüksek olan bölgede ise 15 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Yan kemerlerde güvenlik katsayısının ise en düşük bölgede 5,7 en yüksek ise 15 seviyelerinde olduğu görülmektedir.

2.3. Tasarım 3 Statik Analiz Çıktıları

Tasarım 2’ ye ait tahkimat sistemi elemanlarının 1500 mm tahkimat açıklığında etki eden dikey ve yanal yöndeki 25 tonluk yükü güvenli bir şekilde taşıyabildiğinden dolayı; bağlantı fırçası sayısı 2 adetten 4 adete çıkarılmış, tahkimat açıklığı ise 2000 mm olarak düzenlenmiştir. Ayak açıklığının 2000 mm’ ye çıkarılmasıyla orantılı olarak ise dikey ve yanal yönlerde tahkimat sistemine etki edecek kuvvet 33,3 ton olarak düzenlenmiş ve bu yayılı yüklerin etki edeceği basıncın büyüklükleri elemanlar üzerine orantılı bir şekilde etki ettirilmiştir.



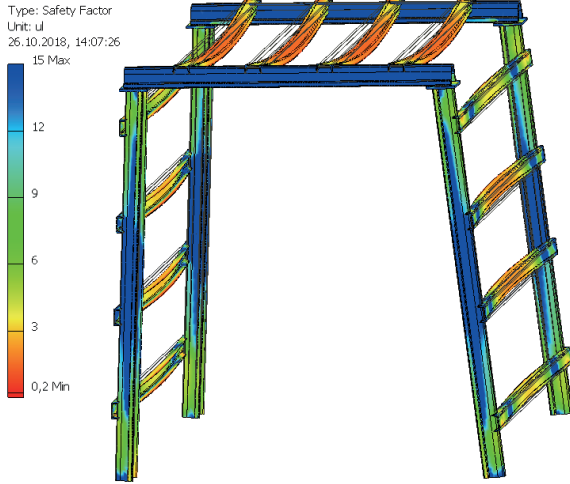
Şekil 12. Tasarım 3’e ait statik analiz sonucu elde edilen gerilme dağılımları



Şekil 13. Tasarım 3’e ait statik analiz sonucu elde edilen deplasman verileri

31Mn4 malzemeli TH29 profillerden oluşturulan yan ve üst kemerlerin 2000 mm ayak açıklıkları ile yerleştirilmesi ve S235JR malzemeli C100x6,7 C

profillerin bağlantı fırçaları olarak kullanılması ile gerçekleştirilen tasarıma üst ve yan yüzeylerinden ayak açıklığıyla orantılı olarak 33,3 ton yayılı yük etki edecek şekilde yapılan analizlerin çıktıları Şekil 12 – Şekil 14’ de gösterilmektedir.



Şekil 14. Tasarım 3' e ait statik analiz sonucu elde edilen güvenlik katsayısı dağılımı

Tasarım 3' e ait analizlerden elde edilen veriler incelendiğinde; Şekil 12' de gösterilmekte olan tahkimatta maksimum gerilmenin 294 MPa ile üst yüzeyde yer alan bağlantı fırçalarında meydana geldiği belirlenmiştir. Tasarım geneli itibari ile incelendiğinde yan ve üst kemerlerde en çok 49 MPa seviyelerinde gerilmenin meydana geldiği ve düşey ve yatay yönde etkiyen basıncın kemerler ve bağlantı fırçaları tarafından güvenli bir şekilde taşınabildiği belirlenmiştir. Üst kemerlerde gerilmenin en yüksek olduğu fırça yüzeylerinde en çok 34,8 mm deplasmanın meydana geldiği, yan yüzeylerdeki bağlantı fırçalarında ise gerilmenin 164 MPa olduğu bölgedeki deplasman miktarının en çok 19,6 mm olduğu Şekil 12 ve Şekil 13' den görülmektedir.

Yan kemerlerde meydana gerilmelerin 49 MPa değeri ile en yüksek olduğu bölgede meydana gelen deplasmanın 1,4 mm olarak gerçekleştiği dolayısıyla üst ve yan kemerler tarafından 33,3 tonluk yükün güvenli bir şekilde taşınabileceği görülmektedir. S235JR malzemeli C100x6,7 profillerden oluşturulan bağlantı fırçaları incelendiğinde ise düşey ve yanal yönlerde 33,3 tonluk yayılı yükün meydana getirdiği basınca

karşı mukavemetinin üst kemerler arasındaki fırçalarda en düşük 1,2 kat, yan kemerlerdeki bağlantı fırçalarında ise en düşük 1,8 kat emniyetli olduğu ve yükü emniyetli bir şekilde taşıyabileceği belirlenmiştir.

Tasarım 3'ye ait elemanların statik analizi sonucunda elde edilen güvenlik katsayıları dağılımları incelendiğinde ise Şekil 14'de görüldüğü üzere üst kemerlerde en düşük bölgede 7,5 en yüksek olan bölgede ise 15 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Yan kemerlerde güvenlik katsayısının ise en düşük bölgede 6,2 en yüksek ise 15 seviyelerinde olduğu görülmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yeraltı açıklığında tahkimata etkiyen yük yoğunluğuna uygun şekilde çelik tahkimat profil kesiti ve malzemesi seçimi kapsamında gerçekleştirilen üç tasarımın 1,5 km uzunluğuna sahip yeraltı açıklığının tahkimat işlerinde kullanılacağı varsayımı yapıldığında elde edilecek ekonomik kazanç değerlendirildiğinde ise aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

Tasarım 1'e ait tahkimat sisteminin kullanılması durumunda belirtilen uzunluktaki açıklığın tahkimi için yaklaşık 560 ton tahkimat elemanı kullanımının gerektiği belirlenmiştir. Tasarım 2' ye ait tahkimat sisteminin kullanılması durumunda belirtilen uzunluktaki açıklığın tahkimi için yaklaşık 400 ton tahkimat elemanı kullanımının gerektiği belirlenmiştir. Tasarım 3' e ait tahkimat sisteminin kullanılması durumunda belirtilen uzunluktaki açıklığın tahkimi için yaklaşık 380 ton tahkimat elemanı kullanımının gerektiği belirlenmiştir. Sonlu Elemanlar Metodu Destekli statik analiz çalışmaları kapsamında 1500 metre uzunluğundaki açıklık için gerekli tahkimat ağırlıkları Çizelge 6' da gösterilmiştir.

S235 malzemeli NPI 200 profilin kg/m birim fiyatından %2 daha pahalı olan 31Mn4 malzemeli TH29 profilli kemerler ile; 50x3 kutu profilin kg/m birim fiyatından %85,7 daha ucuz olan C100x6,7 profillerden oluşturulan fırçaların kullanımı ile tasarlanan tahkimat sistemleri 1500 metre uzunluğundaki referans yer altı açıklığı için yalnızca malzeme maliyetleri bakımından kıyaslanmıştır. 1,5 metre bağ arası açıklığa

sahip Tasarım 1 ile Tasarım 2 kıyaslandığında; 1500 metrelik açıklığın tahkiminde; Tasarım 1'in, Tasarım 2' ye göre %12,03 daha düşük yatırım maliyetine sahip olduğu belirlenmiştir. Fakat TH29 kesitli profilin kesit özelliklerinin yanı sıra mekanik mukavemetlerinin de NPI200 profilden görece yüksek oluşunun avantajı ile TH29 profilli kemerlerden oluşturulan ve bağlar arası 2 metre açıklığa sahip Tasarım 3 ile Tasarım 1 kıyaslandığında ise; referans alınan yer altı açıklığının tahkimi için gerekli yatırım maliyetininin %15,9 oranında düşüceği belirlenmiştir.

Çizelge 6. 1500 metre uzunluğundaki açıklığın tahkimat tasarımlarına ilişkin tahkimat ağırlıkları

Tasarım adı	Tasarım 1	Tasarım 2	Tasarım 3
Tahkimat açıklığı (m)	1,5	1,5	2
Kemer adedi	1001	1001	751
Fırça ağırlığı (ton)	252	66	65
Toplam tahkimat ağırlığı (ton)	304,2	336,7	252,6

31Mn4 malzemeli TH29 profile sahip tahkimat sisteminin kesit özelliklerinin ve mekanik mukavemet değerlerinin S235 malzemeli NPI200 profile sahip tahkimat sisteminin kesit özellikleri ve mekanik mukavemet değerlerinden yüksek oluşu sayesinde bağlar arası açıklığın artırılması ile ilk yatırım maliyetleri yüksek olan madencilik sektörü faaliyetlerinde yatırımın korunması kapsamında malzeme maliyetlerinden avantaj elde edilmesini sağlamıştır. TH tahkimatların işçilik maliyetlerinin de düşürülmesine katkı sağlayarak madencilik yatırımlarının daha efektif yönetilerek maden çıkarma işlerindeki katma değer artırılması katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Yeraltı açıklıklarının tahkimat tasarımında açıklığın yapısı ve kayaç kütesinin belirlenmesi aşamasından sonra tahkimata etkimesi öngörülen yük bilgileri ile tahkimat tasarımında kullanılan yapısal çelik profillerin seçimi; kesit ve malzeme

mekanik özelliklerinin etkilerinin sonlu elemanlar metodu destekli analiz programları sayesinde yük yoğunluğuna uygun şekilde sağlanabilmektedir. Yürütülen tahkimat açıklığı optimizasyon çalışmaları ile madencilik sektörü yatırımlarında ekonomik avantaj kazanılarak işletme süresince katma değer artırılması sağlanabilmektedir.

Özellikle dikey ve yatay eksenlerdeki mukavemet momentlerinin birbirine oranınının 1' e yakınsadığı, madencilik sektörü için tasarlanan TH profiller gibi özel kesitli profillerin ve yüksek kaliteli çeliklerin kullanımı; bu elemanların her iki eksendeki yük taşıma kabiliyetlerinin yüksek oluşu sebebiyle aynı uzunluktaki açıklığın tasarımında tahkimat elemanlarının toplam maliyetlerini düşürdüğü göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma akademik literatürden edinilmiş teorik bilgilerin, akademik literatüre endüstriyel içerikli bilgi olarak geri kazandırılması amacı ile KOCAER Haddecilik Ar-Ge Merkezi tarafından hazırlanmıştır. KOCAER Haddecilik San. ve Tic. A.Ş. Yönetim Kurulu' na makalenin hazırlanmasındaki destekleri için teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Arioğlu E. Yüksel A., 1982. Rijit Galeri Tahkimat Sisteminin Sakıncaları ve Geçme Tahkimat Sisteminin Boyutlandırma Esasları. Türkiye 3. Kömür Kongresi, Zonguldak, 135-153.

Birön C., Arıoğlu E., 1999. Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı. Birsan Yayınevi.

Güneş T., 2013. Madencilikte Taşeron ve Güvencesiz Üretim: İşçi Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları. Türk Tabipleri Birliği, Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, 10-13.

Kilerci İ, Aralar S., Çulha O., 2016. Madencilik ve Tünel İnşa Sektöründe Kullanılan Kaynaklı Tahkimat Sistemlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Karşılaştırılması. 4. Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Sergisi (ICWET'16).

Kocaer Haddecilik San. ve Tic. A.Ş., Maden ve Tünel (İksa) Profilleri,

http://www.kocaerhadde.com/MediaLibrary/11743/pdf/IKSA_TR_mail.pdf

Kömürlü E., Kesimal A., 2013. Geçmişten Günümüze Tünelcilik ve Tahkimat Malzemeleri. Madencilik, Cilt 52, Sayı 2-3, 33-47.

Mamat H. S., 2014. Metal Madenciliğinde Yeraltı Açıklıklarının Tahkimatı ve Nümerik Yöntemler İle Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.

Podjadtke R., Witthaus H., Breedlove J., 2009. Development in Steel Roadway Support A Track Record. The 27th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia 2009 Strata Products (USA) Inc., 358-365.

Wang C., Wen Y., Han F., 2012. Analysis on Investment Environment of Mining Industry in China. Procedia Environmental Sciences Volume 12 Part A, 243-251.

Yolcu M., Sağlam N., 2014. Maden İşletmelerinde TMS-TFRS'YE Uygun Finansal Raporlama ve Kapsamlı Uygulama Örnekleri. Detay Yayıncılık, ISBN: 9786055216931.

Zenti L., Lunardi G., Rossi B. ve Gllovich A., 2012. A New Approach in the Design of First Lining Steel Rib. Proceedings of the ITA/AITES World Tunnel Congress on "Tunnelling and Underground Space for a Global Society Bangkok.