

**TRANSFER HATTI TAŞIYICI KONSTRÜKSİYONUN MODAL VE YAPISAL
ANALİZ ÇALIŞMALARI**
MODAL AND STRUCTURAL ANALYSIS STUDIES OF THE TRANSFER LINE
CARRIER CONSTRUCTION

Prof. Dr. Kadir Çavdar

Bursa Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Erdal Sezen

SimetrikPro A.Ş. Tasarım Merkezi

Okan Yılmaz

SimetrikPro A.Ş. Tasarım Merkezi

Barış Volkan Matran

SimetrikPro A.Ş. Tasarım Merkezi

doi:10.46291/ICONTECHvol4iss1pp33-43

ÖZET

Bu çalışmada, bir otomobil fabrikasında kullanılacak olan parça transfer hattının tasarım aşamalarına yardımcı olmak amacıyla gerçekleştirilen analiz çalışmaları ve bu analiz çalışmalarından elde edilen tecrübeler üzerinde durulmuştur. Bu tecrübeler hat tasarımında benzer ürün geliştirmelerde oldukça önemlidir. İmalat öncesinde gerçekleştirilen tasarım ve analiz çalışmaları imalatın sorunsuz bir şekilde yapılabilmesini garanti ederler. Bu nedenle tasarım aşamalarına süreç içinde özel önem verilmeli ve tasarım her yönü ile elden geçirilerek alternatif çözümler oluşturulmalıdır. Bu çözümler içerisinde en iyi tasarımın seçilmesi için de analiz çalışmaları yapılmalıdır. Günümüzün özel analiz yazılımlarının kullandığı yaklaşım olan sonlu elemanlar yaklaşımı bu çalışmada tercih edilmiştir. Sınır şartları belirlenen model üzerinde birçok analiz gerçekleştirilmiş ve tasarımın gerçek hayattaki davranışı öngörülme çalışılmıştır. Analiz çalışmalarında dinamik davranışın anlaşılması için modal analizler ve yapısal yer değiştirmelerin sınırlar dahilinde kalacağını ve gerilmelerin belirli sınırları aşmayacağını anlaşılması için de yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz çalışmalarında bir sonlu elemanlar temelli çalışan bir simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Burada geçmiş deneyimlere dayanan tasarım tecrübelerinin önemi tasarımın eniyileme çalışmalarında ortaya çıkmıştır.

Bildiri içerisinde de sunulacak olan tasarım adımları ve tasarım üzerinden elde edilen analiz sonuçları prototip imalat aşamasında da çok faydalı olmuş ve transfer hattı emniyetli bir şekilde ortaya konmuştur. Denemeler sonucunda transfer hattı müşteriye teslim edilmiş olup halen güvenle görevini yerine getirmektedir.

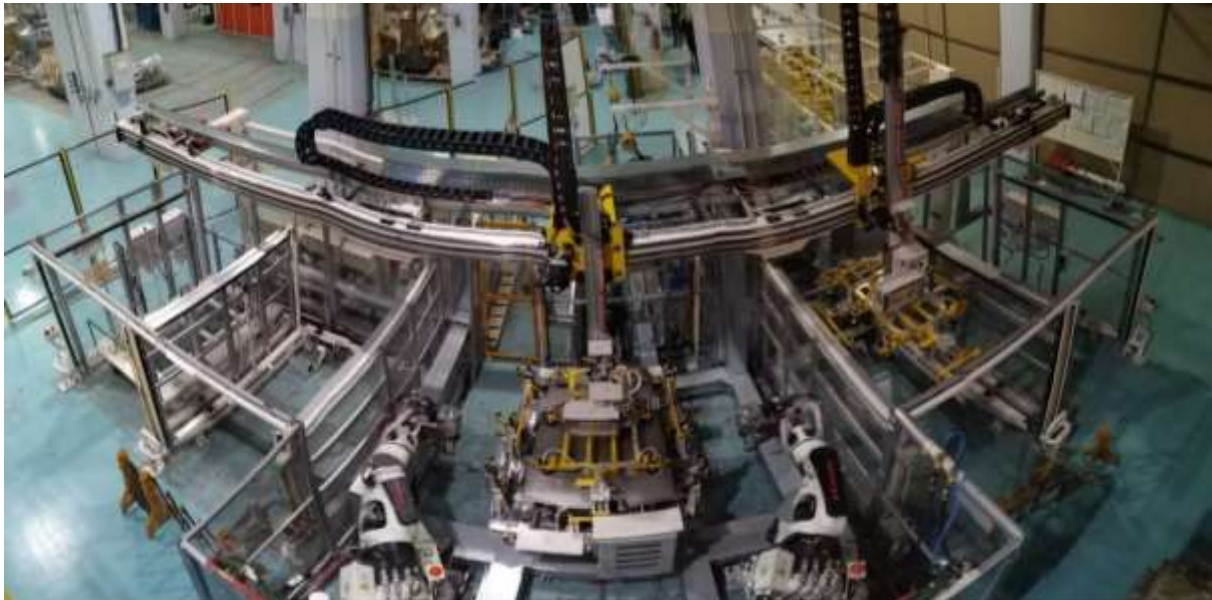
Anahtar Kelimeler: Otomotiv, Transfer Hattı, Tasarım, Prototip İmalat

ABSTRACT

In this study, the analysis studies carried out to assist the design stages of the part transfer line to be used in an automobile factory and the experiences gained from these analysis studies are emphasized. These experiences are very important in similar product developments in industrial design. Design and analysis studies carried out prior to manufacturing ensure that production can be carried out without any problems. For this reason, special importance should be given to the design stages in the process and alternative solutions should be created by revising the design in every aspect. Analysis studies should be carried out to select the best design among these solutions. The finite element approach, which is the approach used by today's special analysis software, was preferred in this study. Many analyses were carried out on the model whose boundary conditions were determined and the real-life behaviour of the design was foreseen. In the analysis studies, modal analyses and structural displacements were carried out in order to understand the dynamic behaviours and the stresses will not exceed certain limits. A finite element based simulation software was used in the analysis studies. Here, the importance of design experiences based on past experiences has emerged in the optimization of the design.

The design steps to be presented in the paper and the analysis results obtained through the design were also very useful in the prototype manufacturing phase and the transfer line was safely demonstrated. As a result of the trials, the transfer line was delivered to the customer and still fulfils its duty safely.

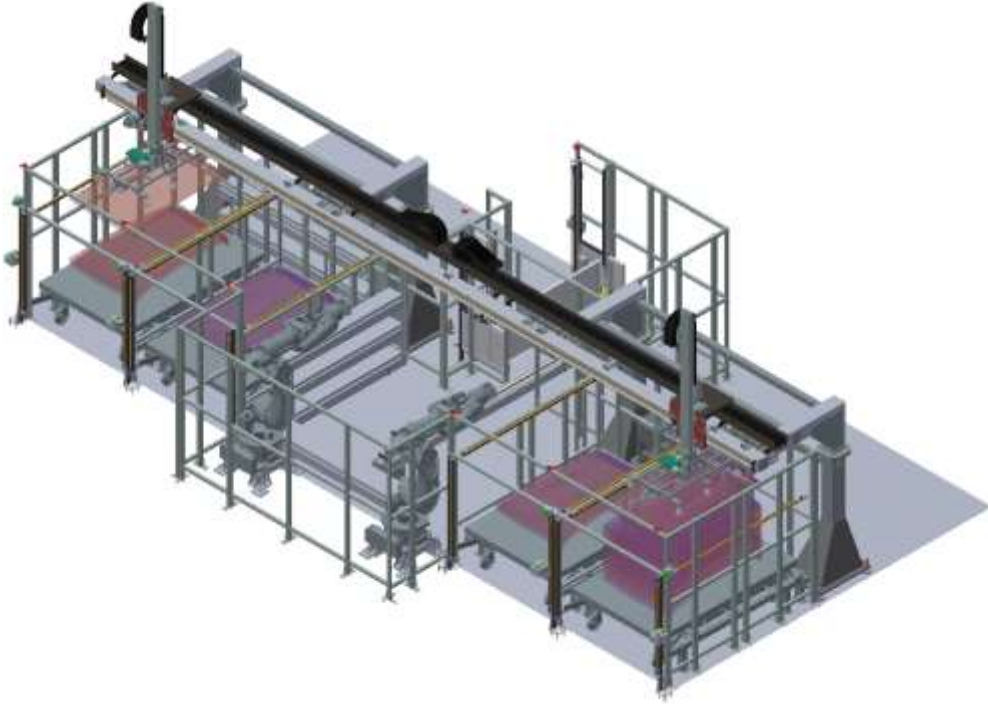
Keywords: Automotive, Carrier Lines, Design, Prototype



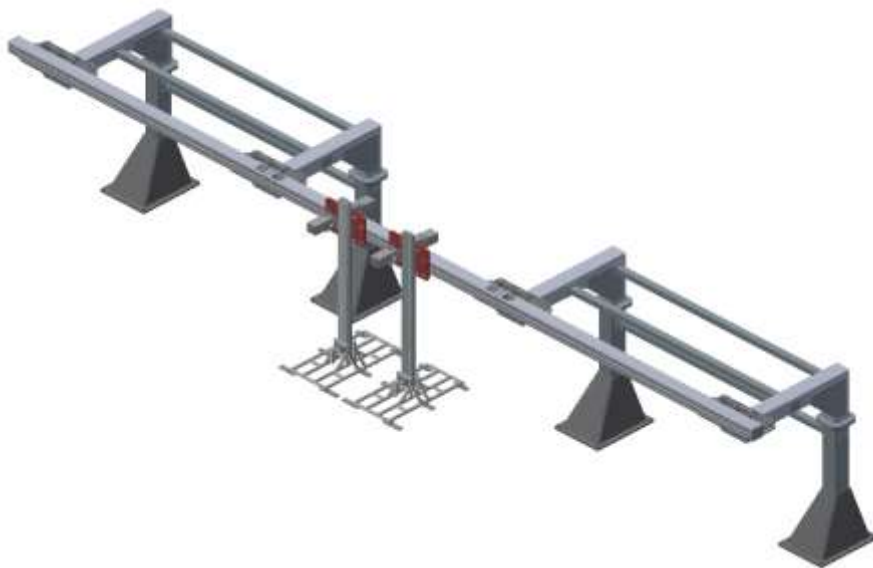
1. Giriş

Bu çalışmada; Simetrik-Pro firması tarafından tasarlanan ve yarı mamul sac parçaların işlem görecekları hatta taşınmasını sağlayan transfer hattının taşıyıcı konstrüksiyonunun yapısal analiz sonuçları ve bu analiz çalışmalarından elde edilen tecrübeler açıklanmaktadır.

Analiz çalışması için sınır şartları ve tasarım verileri önceki tecrübeler ve tasarımın ilk aşamalarında yapılan ön değerlendirmelerden alınmıştır. Transfer hattı genel görünüşü Şekil 1, analiz işlemi yapılan konstrüksiyonun genel görünüşü ise Şekil 2’de verilmiştir.



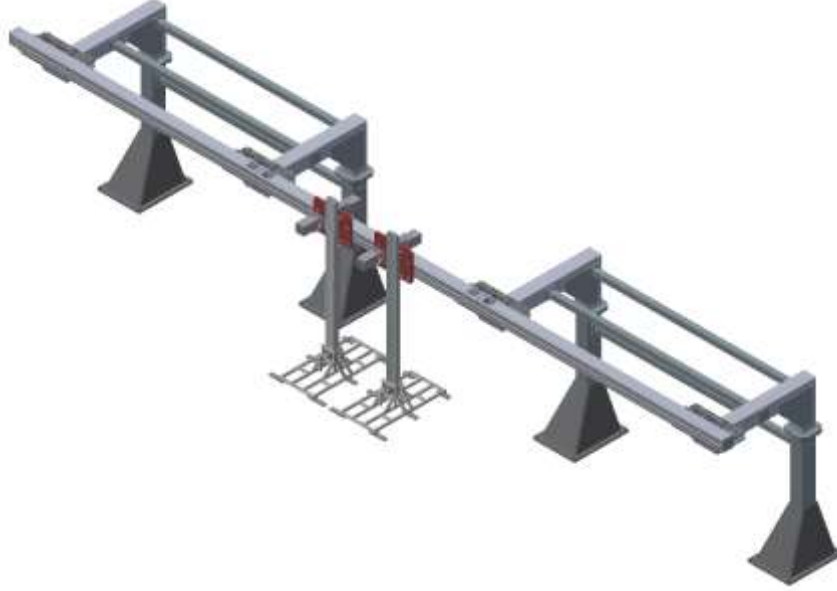
Şekil 1. Konstrüksiyon genel görünümü



Şekil 2. Analiz modeli genel görünümü

2. ANALİZ ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI

Analiz çalışması, tüm taşıyıcı konstrüksiyonun modal analizi (Şekil 3) sac parçaların malzeme kasalarından transferini sağlayan hareketli kolun ve kaynaklı yapının (Şekil 4) yapısal analizi ve taşıyıcı kolların üzerinde hareket ettiği konstrüksiyonunun yapısal analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Modal analiz modeli



Şekil 4. Taşıyıcı kol modeli

Analiz çalışmaları yapısal analiz yöntemleri kullanılarak tamamlanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanan yazılım ile yapılan analiz işlemleri sonucunda, belirlenen modellerde, konstrüksiyonun doğal frekansları ve taşıyıcı yapıların gerilme ve deformasyon değerleri ile birlikte emniyet katsayıları tayin edilmiştir.

2.1. MODAL ANALİZ SONUÇLARI

Transfer hattı konstrüksiyonunun doğal frekanslarını bulmak amacıyla modal analizi yapılmıştır. Konstrüksiyon modeli zemine bağlantısının yapıldığı bölgelerden sabit mesnet kullanılarak sabitlemiştir. Örgü (mesh) yapısı oluşturulduktan sonra, analiz modelinin çözümü yapılmış ve Mod 1’den Mod 6’ya kadar doğal frekans aralıkları bulunmuştur. Şekil 5 ve Şekil 6’da modal analizi yapılan konstrüksiyonun görünüşü ve sınır şartları verilmiştir. Modal analiz sonuçları ve kritik devir sayıları Tablo 1’de verilmiştir. Modele 1119952 adet düğüm noktası, 504959 adet eleman atanmıştır.



Şekil 5. Modal analiz modeli



Şekil 6. Modal analiz modeli sabitleme yerleri

Modal analiz sonucunda elde edilen doğal frekans değerlerinden, motor için kritik devir sayılarını hesaplamak için

$$\omega = 2\pi \cdot f \text{ ve } \omega = 2\pi \cdot n / 60 \text{ denklemlerinden hareketle } n = 60 \cdot f \text{ şeklinde kullanılabilir.}$$

Burada; f: Frekans (Hz), ω : açısal hız (rad / s), n: devir sayısı (dev/ dak) şeklindedir.

Değerler incelendiğinde varılan sonuç; Tablo 1’de görülen değerlerin $\pm\%20$ aralığında sistem tahrik edilmemelidir. Bu aralıkta kısa süreli tahrik olabilir ancak sürekli tahrik olursa sistem

rezonansa girebilir. Rezonans oluşumunda da titreşim genliklerinde sonsuza gitme olacağından yataklamalar zarar görebilir hatta uzun süreli çalışmalarda tüm sistem zarar görecektir. O nedenle bu çalışma aralığına dikkat edilmelidir.

Tablo 1. Sistemin doğal frekans değerleri

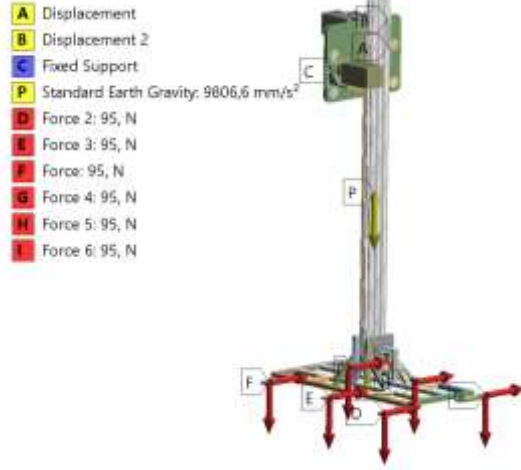
Mod	Frekans (Hz)	Kritik Devir Sayısı (n)
1	10,817	648 dev/dak
2	12,323	739 dev/dak
3	12,413	745 dev/ dak
4	15,655	939 dev/dak
5	15,655	939 dev/dak
6	15,656	939v/dak

2.2. TAŞIYICI KOL YAPISAL ANALİZİ VE SONUÇLARI

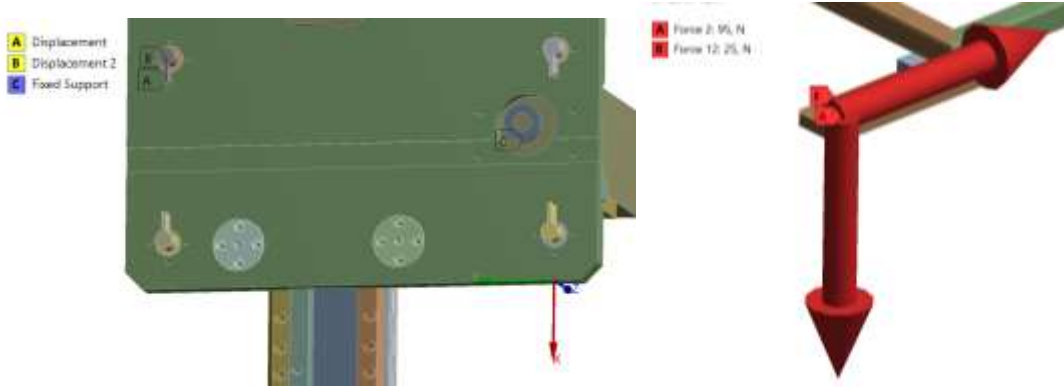
İşlem görececek sac parçaları taşımak amacıyla kullanılan hareketli kol ve parçaların taşınmasını sağlayan vakumlu pedlerin üzerine takıldığı kaynaklı parçanın yapısal analizi yapılmıştır. Taşıyıcı kol için belirlenen sınır şartları Şekil 7-8'de verilmiştir. Taşıyıcı kolun konstrüksiyonun kramayer dişlisi üzerinde hareket etmesini sağlayan, Şekil 7'de "Motor 1" olarak gösterilen ve redüktöre bağlı pinyon dişliden frenleme aşamasındaki an için sabit mesnet uygulanmıştır. Ayrıca ray üzerinde kılavuz görevi gören tekerleklerin raylara temas ettiği noktalardan kısıtlanmalı kayar mesnet uygulanmıştır (Şekil 8).

Uygulanacak kuvvet olarak ise, parça kütlelerinin 45 kg olduğu kabul edilmiştir. Bu ağırlıklara ek olarak düşey yönde hareket eden kütleler toplamı yaklaşık 65 kg'dır. Frenleme ivmesinin 1 m/s^2 olarak alınması ile konstrüksiyona toplamda 560 N (450 N+ 110 N (frenleme kuvveti)) etki ettirilmiştir. Taşıyıcı kolun yatay yöndeki hareketi esnasında frenlemenin etkisiyle oluşacak kuvvet de sınır şartlarına eklenmiştir. Yatay yönde hareket eden kütleler toplamı 140 kg olup, 1 m/s^2 frenleme ivmesi ile 140 N kuvvet yatay yönde etki ettirilmiştir. Analiz çalışmasında yer çekimi ivmesi de dikkate alınarak $9,81 \text{ m/s}^2$ olarak analiz modeline eklenmiştir.

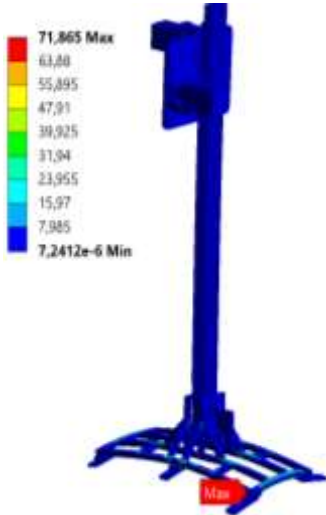
Analiz çalışmasında malzeme olarak, konstrüksiyonların bağlı olduğu sigma profil (45 mm x135 mm ölçülerinde) ve bağlı olduğu plakaya alüminyum 5005 malzeme atanmıştır. Diğer tüm parçalar için S235 JR çelik malzeme tanımlanmıştır. Modele 1217456 adet düğüm noktası, 394451 adet eleman atanmıştır.



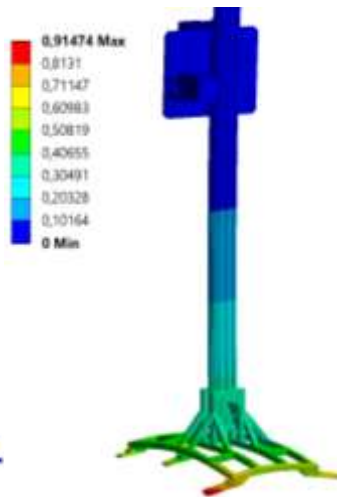
Şekil 7. Taşıyıcı kol yapısal analizi model sınır şartları



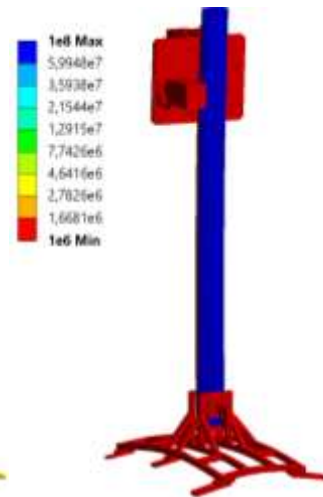
Şekil 8. Taşıyıcı kol yapısal analizi sabitleme ve kuvvet uygulama konumları



Şekil 9. Taşıyıcı kol yapısal analizi eşdeğer gerilme



Şekil 10. Taşıyıcı kol yapısal analizi toplam deformasyon



Şekil 11. Taşıyıcı kol yapısal analizi ömür çevrimleri

Taşıyıcı kol analizleri sonuçları incelendiğinde maksimum eşdeğer gerilme yaklaşık 71 MPa olarak kola bağlanan kaynaklı yapıda bulunmuştur. Bu sonuca göre akma mukavemeti 240 MPa olan S235JR çeliğinden üretilmiş konstrüksiyon için emniyet katsayısı yaklaşık **S=3,38'**dir.

Yukarıda belirtilen yükler altında analizi yapılan model için maksimum toplam deformasyon yaklaşık 0,91 mm'dir, Şekil 9-10.

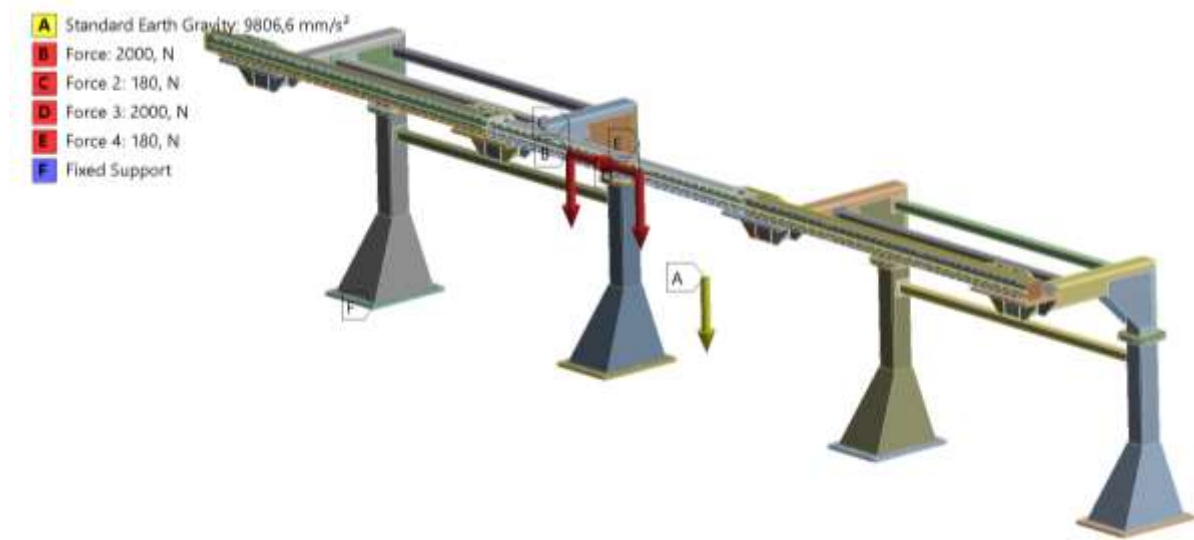
Ömür olarak da tüm yapı için minimum ömür değeri 1 milyon tekrar olarak bulunduğundan yapı geneli sonsuz ömürlü kabul edilebilir, Şekil 11.

2.3. TAŞIYICI KONSTRÜKSİYON YAPISAL ANALİZİ VE SONUÇLARI

Sac parçaların taşınması işleminde, taşıyıcı kolun hareket ettiği krameyer dişli ve rayların montajlı olduğu taşıyıcı konstrüksiyonun yapısal analizi yapılmıştır. Her iki taşıyıcı kolun da orta noktada olduğu durum en riskli bölge olarak değerlendirilmiş ve analiz çalışması bu şekilde yapılmıştır.

Analiz modelinde taşıyıcı kolların bağlanacağı konstrüksiyon için, konstrüksiyonun zemine bağlı olduğu bölgelerden sabit mesnet uygulanmıştır. Kuvvet pinyon dişlinin krameyer dişliye temas ettiği bölgelerden, düşeyde 2000 N (1800 N + 200 N (frenleme kuvveti)), yatayda ise frenleme kuvvetinin oluşturacağı ivme (1 m/s^2) sebebiyle oluşan kuvvet 180 N olarak etki ettirilmiştir. Analiz çalışmasında yer çekimi ivmesi dikkate alınarak $9,81 \text{ m/s}^2$ olarak analiz modeline eklenmiştir.

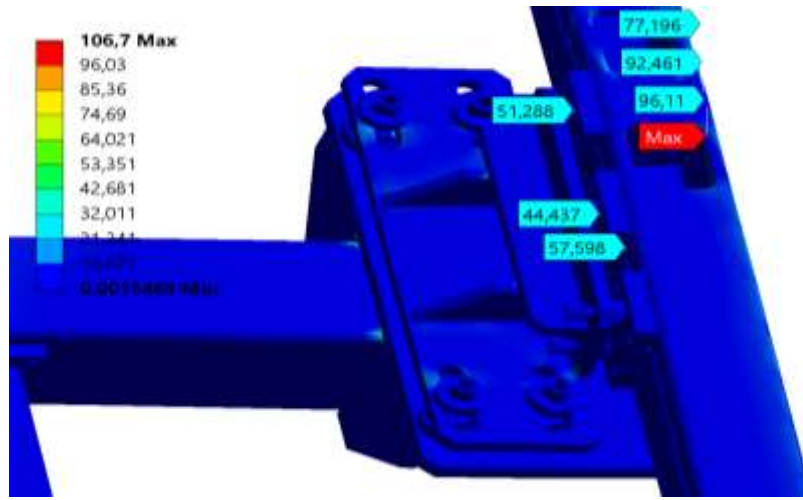
Analiz çalışmasında tüm parçalar için malzeme olarak S235 JR çelik malzeme tanımlanmıştır. Modele 1800363 adet düğüm noktası, 785489 adet eleman atanmıştır.



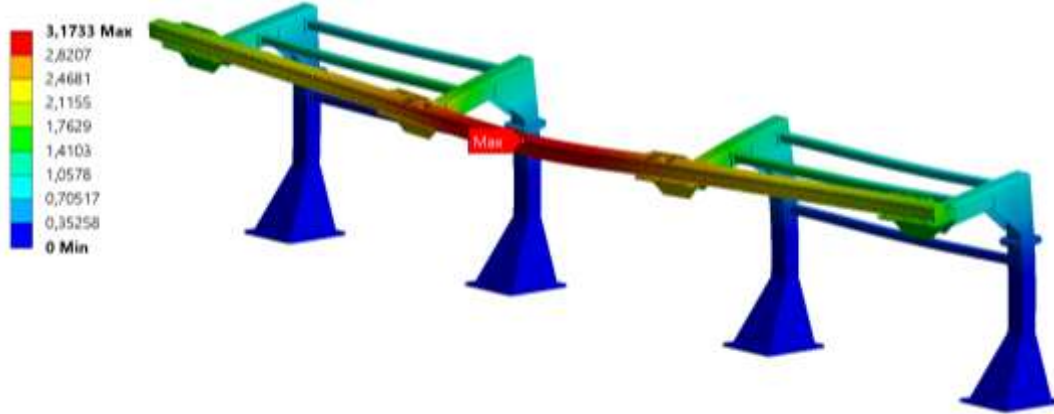
Şekil 12. Taşıyıcı konstrüksiyon yapısal analizi model sınır şartları



Şekil 13. Taşıyıcı konstrüksiyon yapısal analizi eşdeğer gerilme



Şekil 14. Taşıyıcı konstrüksiyon yapısal analizi farklı gerilme bölgeleri



Şekil 15. Taşıyıcı konstrüksiyon yapısal analizi toplam deformasyon



Şekil 16. Tasarımın imal edilmiş son hali

Taşıyıcı konstrüksiyon analiz sonuçları incelendiğinde (Şekil 12-15) maksimum eşdeğer gerilme yaklaşık 106 MPa olarak taşıyıcı kutu profilde bulunmuştur. Bu sonuca göre akma mukavemeti 240 MPa olan S235JR çeliğinden üretilmiş konstrüksiyon için emniyet katsayısı yaklaşık $S=2,26$ 'dır. Yukarıda belirtilen yükler altında analizi yapılan model için maksimum toplam deformasyon (Şekil 24.) yaklaşık 3,17 mm'dir. Analizde elde edilen ömür değerleri 1 milyon tekrar olduğu için parçaların sonsuz ömürle tasarlandığı söylenebilir. Tasarlanan konstrüksiyonun imalatı da gerçekleştirilmiş ve güvenli bir şekilde denenmiştir, Şekil 16.

3. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRMESİ

Konstrüksiyona yapılan analiz ile bulunan sonuç, konstrüksiyonun ideal olması durumu içindir. Bu durum, kaynakların hatasız ve ana malzeme ile bütünmüş gibi davranması, imalat aşamasında kullanılan malzemelerin kusursuz ve zarar görmemiş olması gibi durumları kapsamaktadır. Ayrıca konstrüksiyonun çalışması esnasında yukarıda belirtilen sınır şartları ve yükleme durumları göz önünde bulundurulmalıdır.

Konstrüksiyonun kullanımında aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- Konstrüksiyon kullanımında sabitlemeler konstrüksiyonun tüm yük kombinasyonlarını taşıyabileceği şekilde yapılması gerekmektedir.
- Konstrüksiyon dengeli (simetrik) bir şekilde yüklenmeli ve tek taraflı yüklemelerden kaçınılmalıdır.
- Konstrüksiyona yüklemeler esnasında hasar verilmemeli ve buna karşı önlemler alınmalıdır.
- Konstrüksiyon kullanımında ve yüklemesinde iş sağlığı ve güvenliği kurallarına uyulmalıdır.
- Çalışanlar konstrüksiyonun yüklemesinde ve yüklü konstrüksiyona yaklaşmaması konusunda uyarılmalıdır.
- Konstrüksiyondaki yüklerin ani hareket etmesi ve düşmesi engellenmelidir.

- Analizlerde kullanılan maksimum değerlerin altında kalan ideal yükleme koşullarına uyulmalıdır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; öncelikle Simetrik Pro tarafından oluşturulan tasarım modeli sonlu elemanlar analizine uygun hale getirilmiştir. Oldukça zaman alıcı bir çalışmanın ardından elektrik motoru ve rulman gibi elemanlar analiz programının istediği formata getirilmiş ve hesaplamaların doğruluğunun sağlanmasına özen gösterilmiştir.

Mümkün olan en fazla sayıda elemana bölünerek yapılan analizlerin daha doğru sonuçlar verdiği bilindiğinden analiz öncesi mesh çalışmalarında buna özen gösterilmiştir.

Kuvvet uygulama noktaları ve değerleri ile yataklama noktaları tecrübeler ve mühendislik yaklaşımları kullanılarak özenle seçilmiştir. Ancak burada bu çalışmaların bir simülasyon olduğu ve en gerçekçi sonucun fiziksel denemeler ile alınabileceği unutulmamalıdır. Elde edilen sonuçlar değerlidir ancak hiçbir zaman %100 güvenli değildir.

Yukarıda verilen bölümlerde de izah edilen sonuçların ışığında konstrüksiyonun genelinin emniyetli olduğu söylenebilir. Emniyet katsayıları bölümlere göre farklılıklar gösterse de çok düşük veya çok yüksek denebilecek bir emniyet katsayısı sistemde dikkat çekmemektedir. Bunun anlamı; dayanım açısından tasarım uygun olmakla birlikte çok fazla malzemenin kullanıldığını da düşündüren bir sonuçla da karşılaşılmamıştır.

Son olarak; ideal imalat şartlarına da dikkat ederek ortaya konacak olan tasarımın emniyetle çalışabileceği kanaati oluşmuştur.

5. KAYNAKLAR

- [1] Babalık F.C. ve Çavdar K. Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri, 9. Basım, Dora Yayınevi, Bursa, 2019.