

T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



MOBİL VİNÇ BOMLARINDAKİ SEHİMİN
FOTOGRAMETRİK TEKNİKLER KULLANA-
RAK ÖLÇÜMÜ VE DİĞER METOTLARLA
KARŞILAŞTIRILMASI

Emrah SERT
YÜKSEK LİSANS

Makine Mühendisliği Anabilim Dalını

EYLÜL -2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Emrah SERT tarafından hazırlanan “Mobil Vinç Bomlarındaki Sehimin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Ölçümü ve Diğer Metotlarla Karşılaştırılması” adlı tez çalışması 30.10.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

Danışman

Doç. Dr. Mehmet BAĞCI

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Yakup KARA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü FBE Müdür V.

TEZ BİLDİRİMİ

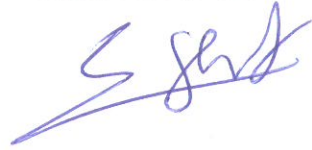
Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Emrah SERT

Tarih: 30/10/2018



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MOBİL VİNÇ BOMLARINDAKİ SEHİMİN FOTOGRAMETRİK TEKNİKLER KULLANARAK ÖLÇÜMÜ VE DİĞER METOTLARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Emrah SERT

Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet BAĞCI

2018, 102 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Murat DİLMEÇ
Doç. Dr. Mehmet BAĞCI
Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ

Günümüzde, endüstri ve ticaret alanında, ağır yüklerin çeşitli yöntemlerle kaldırılıp bir yerden başka bir yere taşınması gerekir. Bu işlerin üstesinden gelme amacıyla mobil vinçler yaygın kullanıma sahiptir. Mobil vinçlerin güvenli ve uzun ömürlü çalışmasını engelleyen ve zamanla diğer sorunları tetikleyen problemlerin başında sehim gelmektedir. Ülkemizde inşa edilen köprü gibi çelik yapılarda sehim hesabı deneysel ve teorik olarak yapılırken; mobil vinçlerin bom yapılarında böyle bir hesaplama daha çok teorik olarak yapılmaktadır.

Tersine mühendisliğin hızla gelişimiyle birlikte, fotogrametrik teknikler kullanarak mobil vinç bomlarında sehimin ölçümü yapılarak kısa zamanda yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır. Ayrıca operatöre daha emniyetli çalışması için mobil vincin yük kaldırma diyagramı sunulmuştur. Böylece iş kazaları azaltılmış, sürekli arıza problemlerinden kaynaklanan zaman kayıpları minimuma indirgenmiş ve mobil vinçlerin kullanım ömürleri artırılmıştır. Ayrıca mobil vinç bomlarında meydana gelen sehim teorik olarak ANSYS programında Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) yapılarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak; mobil vinçlerde fotogrametrik metot ile sehim ölçümünün endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirliğinin faydası ispatlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mobil Vinç, Sehim, Fotogrametrik Ölçüm, Tersine Mühendislik, ANSYS, Sonlu Elemanlar Analizi (SEA)

ABSTRACT

MS THESIS

MEASURING THE DEFLECTION OF THE MOBILE CRANE BOOMS USING PHOTOGRAMMETRIC TECHNIQUES AND COMPARING IT WITH OTHER METHODS

Emrah SERT

**THE GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION INSTITUTE OF
KONYA TECHNICAL UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet BAĞCI

2018, 102 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Murat DİLMEÇ

Assoc. Prof. Dr. Mehmet BAĞCI

Assist. Prof. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ

Nowadays, in the field of industry and commerce, heavy loads have to be removed by various methods and moved from one place to another. Mobile cranes in order to overcome these tasks are in common use. One of the problems that prevent the safe and long-lasting operation of mobile cranes and trigger other problems over time is the deflection in mobile crane booms. While the shear deflection in the steel structures such as bridges built in our country is calculated experimentally and theoretically; such a calculation in the boom structures of mobile cranes is made more theoretically.

With rapid development of reverse engineering, deflection measurement was conducted at mobile crane booms using photogrammetric techniques and high accuracy results were obtained in a short time. Also, load chart of mobile crane was provided to crane operator for his more reliable service. Thus, occupational-work accidents have been reduced, the time losses resulting from continuous failure problems have been minimized and the service life of mobile cranes has been increased. Otherwise the deflection in the mobile crane boom is theoretically calculated by Finite Element Analysis (FEA) in the ANSYS program.

As a result, it is proven the usability of the calculation of the deflection in industrial applications with the photogrammetric method in mobile cranes.

Keywords: Mobile Crane, Deflection, Photogrammetric Measurement, Reverse Engineering, ANSYS, Finite Element Analysis (FEA)

ÖNSÖZ

Tersine mühendisliğin hızla geliştiği düşünüldüğünde, fotogrametrik teknikler kullanarak mobil vinç bomlarında sehmin ölçümü yapılarak mobil vincin yük kaldırma diyagramı daha emniyetli bir şekilde vinç operatörüne sunulmuş olacaktır. Böylece iş kazaları azalacak, sürekli arıza problemlerinden kaynaklanan zaman kayıpları minimuma indirgenecek ve mobil vinçlerin kullanım ömürleri artırılabacaktır.

Yüksek lisans sürecimde değerli katkılarını ve desteklerini gösterdiği sabır ve özveri ile hiçbir zaman desteğini ve engin bilgilerini benden eksik etmeyen, çalışmalarımın her aşamasında önerileri ile beni yönlendiren değerli hocam ve sayın danışmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet BAĞCI'ya, yapılan çalışmaların uygulanması fırsatını veren MPG Makina Prodüksiyon Grubu Makine İmalat San. ve Tic. A.Ş. Genel Müdürü Sayın Veysel ALVER'e, önerilerini ve bilgilerini benimle paylaşan değerli eşime ve son olarak bugüne kadar bıkmadan usanmadan her daim yanımda olan canım aileme sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Emrah SERT
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. Vinçler ve Kullanım Alanları	8
3.1.1. Tavan vinçleri	9
3.1.1.1. Köprülü vinç (Overhead crane)	9
3.1.1.2. Portal vinç (Portal crane)	10
3.1.1.3. Oklu vinç (Jib crane).....	11
3.1.1.4. Kablolu vinç (Monorail crane)	11
3.1.2. Sabit vinç (Fixed crane)	12
3.1.2.1. Kule vinç (Tower crane)	12
3.1.2.2. Kuyruksuz kule vinç (Self-erecting Crane)	13
3.1.2.3. Sabit teleskobik vinç (Fixed telescopic crane)	14
3.1.2.4. Dev kırıklı kule vinç (Hammerhead cranes)	14
3.1.2.5. Liman seviye vinç (Level luffing crane).....	15
3.1.2.6. Deniz güverte vinç (Deck crane)	16
3.1.3. Mobil vinç (Mobile cranes)	16
3.1.3.1. Helikopter tipi vinç (Aerial crane).....	17
3.1.3.2. Yandan kaldırıcı vinç (Sidelifter crane).....	17
3.1.3.3. Engebeli arazi tipi vinç (Rough terrain crane).....	18
3.1.3.4. Yol ve arazi tipi vinç (All terrain crane).....	19
3.1.3.5. Kaldır-götür tipi vinç (Pick and carry crane).....	19
3.1.3.6. Çatallı yükleyici tipi teleskobik vinç (Telescopic handler crane).....	20
3.1.3.7. Paletli vinç (Crawler crane)	21
3.1.3.8. Demiryolu tipi vinç (Railroad crane).....	21
3.1.3.9. Yüzer tipi vinç (Floating crane).....	22
3.1.3.10. Araç üstü katlanır bomlu mobil hidrolik vinç (Truck mounted crane)	22
3.2. Mobil Vinç Bomlarında Sehim Problemi	24
3.2.1. Mobil vinçlerin bom yapısının sehim etkisi.....	25
3.2.2. Sehimin kalıcı deformasyona etkisi	26
3.2.3. Sehimin devrilmeye etkisi	27
3.3. Mobil Vinç Bomlarında Sehim Hesaplama Yöntemleri.....	29
3.3.1. Fotogrametrik ölçüm teknikleri kullanarak sehimin bulunması (tersine mühendislik)	29
3.3.1.1. Grafik fotogrametri	31
3.3.1.2. Analog fotogrametri.....	31

3.3.1.3. Analitik fotogrametri	31
3.3.1.4. Sayısal (dijital) fotogrametri	31
3.3.2. Bilgisayar destekli mühendislik (CAE) temelli ANSYS analiz programı ile sehim hesabı	35
3.3.3. Analitik hesaplama yöntemleri ile sehim hesabı	36
3.3.3.1. Sehim Hesaplamada Sınır Koşulları	36
3.3.3.2. Direkt İntegrasyon Yöntemi ile Sehim Hesabı	38
3.3.3.3. Moment Alan Yöntemi ile Sehim Hesabı	39
3.3.4. Çelik metre ve lazer metre kullanarak sehim ölçümü	41
3.3.5. Açık ölçek cihazları kullanarak sehim ölçümü	42
3.3.6. Açık ölçek sensörler kullanarak sehim ölçümü	42
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	44
4.1. Fotogrametrik Ölçüm Test Sonuçları	44
4.1.1. Ölçüm yapılacak mobil vinç modelinin hazırlanması	45
4.1.2. Dijital fotogrametri ölçüm cihazlarının hazırlanması	46
4.1.3. Fotogrametrik ölçüm verilerinin Agisoft Scan programında değerlendirilmesi	48
4.2. ANSYS Analiz Sonuçları	59
4.2.1. ANSYS için 3D modelin kontrol edilmesi ve analiz aşamaları	60
4.2.2. Üç boyutlu katı modelin oluşturulması ve analize hazırlık	61
4.2.3. Mesh yapısı	63
4.2.3.1. Eleman tipi ve boyutuna karar vermek	64
4.2.4. Sınır şartları	64
4.2.5. ANSYS analiz sonuçlarının elde edilmesi	66
4.3. Fotogrametrik ölçüm ve ANSYS analiz sonuçlarının karşılaştırılması	72
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
5.1. Sonuçlar	77
5.2. Öneriler	78
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	80
EK-1 ANSYS Analiz Raporu	81
EK-2 Fotogrametrik İşlem Raporu	92

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

q_y	: Yayılı Yük
T_y	: Kesme Kuvveti
M_x	: Eğilme Momenti
Ω_x	: Eğim ya da Kesit Dönmesi
V_z	: Sehim
E	: Elastisite Modülü
I	: Atalet Momenti
$v_{(a)}$	: a mesafesindeki sehim miktarı
$v''_{(a)}$	: a mesafesindeki sehimin birincil türevi
$v'''_{(a)}$	: a mesafesindeki sehimin birincil türevi
$v''''_{(a)}$	: a mesafesindeki sehimin birincil türevi
θ_A	: A noktasındaki referans teğet
$t_{\frac{A}{B}}$	: A-B çubuğunda teğetlik ifadesi
$M_{(a)}$	: a noktasındaki moment ifadesi
$C1, C2, C3, C4$	: İntegral sabiti
dx	: x'e göre değişken ifadesi

Kısaltmalar

CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	: Bilgisayar Destekli Üretim
CAE	: Bilgisayar Destekli Mühendislik
SEA	: Sonlu Elemanlar Analizi
3D	: Üç Boyutlu
M.Ö.	: Milattan Önce
GPS	: Küresel Yer Belirleme Sistemi
CMOS	: Bütünleyici Metal Oksit Yarı İletken
GIS	: Coğrafik Bilgi Sistemleri
FEA	: Finite Element Analysis
ANSYS	: Analysis System

1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında; günümüzde yaygın olarak kullanılan mobil vinçlerin bomlarında meydana gelen sehimlerin hâli hazırda kullanılmayan farklı mühendislik alt yapısına sahip teknikler kullanılarak yüksek hassasiyetle belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan literatür çalışmaları neticesinde mobil vinç bomlarında sehim ölçümü amacıyla; bilgisayar destekli analiz, matematiksel modelleme ve eğim ölçer sensörleri gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler ile yapılan ölçümlerin çok zaman aldığı ve yüksek doğrulukta sonuçlar vermediği belirlenmiştir.

Mühendislik çalışmalarının endüstriyel uygulamalarında elde edilen sonuçlarda sapmalar çok fazla olunca tersine mühendislik yöntemine başvurmak kaçınılmaz olmaktadır. Zaman, maliyet ve tutarlı sonuçlar elde edebilmek için tersin mühendislik yöntemleri hızla gelişmektedir.

Farklı açılardan ve konumlardan fotoğraflanan bir nesnenin fotogrametrik ölçüm yöntemiyle bilgisayar programlarında yorumlanması tersine mühendislik olarak tanımlanır. Bu fotoğraflar profesyonel çekim ve yüksek maliyetli cihaz kullanımı gerektirmeden çok kısa sürede çekilebilir. Tersine mühendislik süreci, bir objenin ölçümü ile başlar ve ardından üç boyutlu CAD model oluşturulması ile devam eder, prototip ürün imalatı ile son bulur.

Fotogrametrik yöntemlerle elde edilen sonuçlar; mobil vinç bomlarında malzeme kalınlık toleransları, malzeme mukavemet toleransları, imalat toleransları, değişken bom boşlukları ve çevresel etkiler gibi faktörlerden etkilenmez. Dolayısıyla fotogrametrik ölçüm yöntemi sayesinde kısa sürede ölçümler yapılarak bütün yapının davranışı hakkında bilgiler elde edilebilir.

Gelecekteki uygulamalarda tersine mühendislik yöntemleri daha çok ürünlerin boyutsal olarak kabul edilmesi için son kalite-kontrol yöntemlerinde tercih edilecektir. Ayrıca yapılan mühendislik çalışmalarını desteklemek ve sonuçlarının doğruya yakınlığını kontrol etmek amacıyla fotogrametrik yöntemlerin daha yaygın tercih edileceği öngörülmektedir.

Bu çalışmada MPG Makine Prodüksiyon Grubu Makine İmalat A.Ş. firmasına ait AC 130 TM KÇ7 modeli 130 ton-metre kapasiteli mobil vinç kullanılarak fotogrametrik testler yapılmış olup ANSYS programında sonlu elemanlar analizi ile elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Sektörel farkındalık sağlayacak bir metot endüstriyel uygulamalarda kullanıma sunulmuş ve olumlu kazanımlar elde edilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde sehim ölçüm ve hesaplama yöntemlerinin araştırmak için farklı uygulama alanlarında kullanılan fotogrametrik ölçüm yöntemleri ve SEA yöntemlerine ilişkin literatür taramaları verilmiştir.

Yoneyama ve arkadaşları çalışmalarında; dijital görüntüleme teknolojisini kullanarak köprülerde sehim ölçüm çalışması yapılmış olup farklı yük testleri altında köprülerin düşey sehim hesabını hem dijital görüntü ile hem de fiber optik sensör (serbest mesafe ölçer) ile ölçmüşlerdir. Köprü giriş yüzeyi, deformasyondan önce ve sonra dijital kamera ile kayıt altına alınmıştır. Böylelikle sehim dağılımını dijital kamera doğrulama tekniği ile değerlendirmişlerdir. Fiber optik sensörlerin ölçüm yapılacak düzeneğin üzerine konumlanmasının oldukça zaman aldığı ayrıca fiber optik sensörlerin pahalı olduğu ve yeni bir yöntem üzerinde çalışma yapmaya karar vermişlerdir. Deforme olmuş haldeyken alınan görüntü ile deforme olmadan önce alınan görüntü 20x20 piksel ya da 40x40 piksel olarak kaydedilmiştir. Newton- Raphson metodu kullanılarak hesaplama yapmışlardır. Yapılan bu çalışma sonucunda; deformasyondan önce ve deformasyondan sonra elde edilen görüntülerin karşılaştırılması ile köprünün orta bölgesinde dijital doğrulama yöntemiyle sehim yaklaşık olarak 3.5 mm (0.7 piksel) olarak ölçülmüş olup köprünün orta bölgesinde sensörden alınan değer ise yaklaşık 3 mm olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak; mesafe ölçer sensörler ile elde ettikleri değerleri ve dijital görüntü doğrulama ile elde ettikleri değerleri kıyaslamışlardır. Dijital görüntü doğrulama tekniği ile elde edilen sonuçların mesafe ölçer sensörler ile elde edilen sonuçlardan iyi olduğu belirlenmiştir (Yoneyama ve ark., 2007) .

Jianj ve arkadaşları yakın mesafeli dijital fotogrametrik köprü sehim ölçüm sistemi üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu çalışmadaki amaç profesyonel ölçüm çalışmalarına gerek kalmadan yüksek doğrulukta ve verimlilikte uygun köprü sehim ölçüm sistemi geliştirmektir. Genel bir köprü sehim ölçüm sistemi tanımlandıktan sonra; kamera seçimi ve ayarları, kamera kalibrasyonu, ağ kontrolü (ölçek ve referans sistemi) ile kameranın konumlandırılması dikkate alınarak çalışmalar yapılmıştır. Sistem konfigürasyonunu tanımladıktan sonra laboratuvar sonuçlarını sahada yatıkları testler ile doğrulamışlardır. Kalibrasyon ayarları iyi yapılan bir kameranın CMOS sensörlü kamera kadar yüksek doğrulukta ölçüm sonucu alabildiğini kanıtlamışlardır. Geliştirmiş oldukları bu

sistem, mühendislere yakın mesafeli fotogrametrik uygulama için yüksek doğrulukta ölçüm, düşük maliyet ve uygulama kolaylığı olanağı sağladığını tespit etmişlerdir (Jiang ve Jauregui, 2010).

Predan ve arkadaşları çalışmalarında; üniversite-sanayi iş birliği ile ortaklaşa çalışma yürütülerek deneysel ölçümleri özel konum ölçer cihaz kullanılarak ve sehim miktarı ölçme çalışması yapılması için hidrolik sistem kontrolü çok iyi yapılmış deforme olmadan sürekli şekilde yük alabilen vinç tercih edilmiştir. Diğer önemli durum ise vincin statik ve dinamik tepkilerine karşın yük diyagramına göre yükü sorunsuz kaldırabiliyor olması önem arz etmektedir. Modern vinçler yüksek mukavemetli çelikten yapılan ince yapıya sahip olduğundan büyük sehim yapmasına müsaade edebildiğini tespit etmişlerdir. Ölçümler için Leica TS30 marka total station ölçüm cihazının tercih edilmesinin iki önemi nedeni ölçüm alınacak birçok noktayı kısa sürede yüksek doğrulukta ölçebiliyor olması ile dinamik ölçüm yapabilmek için hareketli noktaların ölçümünü yapabiliyor olmasıdır (saniyede 10 ölçüm). Dinamik ölçüm yapabilmek için ikinci metodu tercih etmişlerdir. Total station ölçüm cihazı ayakları üzerine sabitlemişler ve vincin dinamik hareketi üzerinden ölçümleri yapmışlardır. Ölçülen verilerden hız ve ivmelenme vektörünün de hesaplanabileceğini tespit etmişlerdir. Vinç ucunda yük yok iken ve 2000 kg yük var iken ölçüm yapmışlardır. Yapılan bu ölçümler sayesinde sehim ölçümünün bu yöntemle yapılabilirliğinin yanı sıra Leica TS30 marka total station ölçüm cihazı sayesinde kısa zamanda yüksek doğrulukta ölçüm alınabildiği sonucuna varılmıştır (Predan, 2011).

Avşar ve arkadaşları çalışmalarında; İstanbul'da bulunan 2. Boğaziçi Köprüsünün deformasyonunu fotogrametrik teknik ile görüntülemişlerdir. 2. Boğaziçi Köprüsü iki süspansiyon ayak kulesi üzerine kurulmuş ve ayak açıklığı 1090 metre ve toplam uzunluğu 1510 metre genişliği 39 metre olan bir köprüdür. Günde ortalama 180.000 araç bu köprüyü kullanmaktadır. Yaşanan depremler, olumsuz hava koşulları ve yaşlanma köprüünün deformasyona uğramasına neden olmaktadır. Bu nedenle köprüünün yapısal değişimini gözlemlemek için ölçüm yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Video kameralar ile çekilen fotoğrafların toplanması ve değerlendirilmesi için MATLAB programını tercih etmişlerdir. MATLAB programı ile üç video kameradan alınan görüntüleri ± 8 milisaniye hata ile eşleştirmişlerdir. Total station ve 3 kamera uygun destekli ayaklar üzerine yerleştirilmiş olup kameralar ile alınan fotoğraflar ve total station cihazından aynı alınan yersel ölçüm değerleri kaydedilmiştir. Ortalama toplam yer değiştirme mesafeleri MATLAB programı sayesinde hesaplanmış x, y, z koordinat noktaları için sırasıyla $\pm 72,4$ mm, $\pm 19,9$

mm ve $\pm 13,4$ mm olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak; 2. Boğaziçi köprüsünün 2 gün boyunca hareketini gözlemlemek için; üç video kameradan alınan görüntüler ve total station cihazından alınan GPS noktaları MATLAB programında analiz edilerek ortalama yer değiştirme mesafelerini tespit etmişlerdir (Avsar ve ark., 2014).

Bakr Noori ve arkadaşları çalışmalarında; statik olarak yük almış teleskobik vinç bomlarının sonlu elemanlar analizi ile mukavemet hesaplarını bularak karşılaştırma yapmıştır. Bu vinç dört adet boma sahip toplamda 30 metre uzanabilmektedir. Bom ağırlıkları yaklaşık aynı olduğundan dolayı göz ardı edilmiştir. Farklı özelliğe sahip bom parametreleri üzerinde çalışma yapılmıştır. Maksimum sehim, bomun yük kaldırma tarafındaki uç kısmında meydana geldiği ve yükün kaldırıldığı düşey doğrultuda bomun maksimum sehim değerine ulaştığını gözlemlemişlerdir. Maksimum yük taşıma kapasitelerine göre gerilmeler hesaplanmış böylelikle bomların uç kısımlarında sehimin maksimum değerine ulaştığı belirlenmiştir. Maksimum gerilmenin ise bom uzatma silindirisinin rot tarafında olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmaların doğruluğunu incelemek için matematiksel hesaplamaların yanı sıra ANSYS analiz programı da tercih edilmiştir (Bakr Noori, 2013).

Samal ve arkadaşları çalışmalarında; homojen ve izotropik doğrusal elastik malzemeden yapılmış düzgün dikdörtgen kesitli kiriş demetindeki sehim ve gerilme dağılımını incelemişlerdir. Kirişin ağırlığı ihmal edilerek, üç farklı yük koşulunun etkisi altında modellenmiş olup serbest uçta uygulanan dikey yoğunlaştırılmış yük, düzgün dağılmış yük ve tüm yay boyunca uzanan düzgün değişen yükün kirişin sonlu elemanlar analizi ANSYS 14.5'te farklı yük koşulları altında çeşitli elemanlar dikkate alarak yapılmıştır. Bernoulli-Euler'in eğilme moment eğrisi ilişkisini kullanarak analitik çözümleme yapılmışlardır. Hesaplama ve analitik çözümlerin karşılaştırılmasında, gerilme hesabı için 8 düğümlü brick yapısı ve sehim hesabı için 10 düğümlü brick yapısının en tutarlı sonuç verdiğini ve analitik sonuçlarla değişkenliğinin minimum olduğunu bulmuşlardır (Samal, 2016).

Aktaş ve arkadaşları çalışmalarında; Grafit-Epoksi ve Karbon-Epoksi T300/976 malzemeden yapılan, yayılı yüke maruz bir ortotropik kompozit ankastre kiriş göz önüne alarak bu kirişin sehiminin analitik ve sonlu elemanlar yöntemiyle çözümünü yapmış olup bu çözümleri karşılaştırmışlardır. Sonlu elemanlar yönteminin uygulanmasında ANSYS 5.0 programını kullanmışlardır. Bu çalışmada sac levhaları 3 boyutlu katı model olarak ANSYS programında analiz ettiklerinden dolayı element bağlantıları bizim tercih ettiğimiz kabuk model tasarıma göre daha verimsiz sonuçlar çıkmasına neden olmuştur. Genellikle kirişlerin kullanıldığı tüm yapılarda kirişlerin çökmesi istenmeyen bir durumdur.

Çökmenin önlenmesi için onun sehim değerin bilinmesi gerekir. Bu durumun öneminden dolayı, çalışmada bir ankastre kompozit kirişin sehim denkleminin anizotropik elastisite çözümü yapıp, kirişin maksimum sehimini farklı iki kompozit malzeme kullanılarak bulunmuştur. Elde edilen çözümü aynı malzemeler kullanılarak sonlu elemanlar metoduyla da hesaplayıp bulunan bu iki çözümü karşılaştırmışlardır. Maksimum sehimin gerçekleşebileceği fiber doğrultuları 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90° için hesaplamalar genişletilmiştir. Sonuç olarak; kirişin ucundaki sehim fiber açısına bağlı olarak hesaplanmış ve her iki durumda sonlu elemanlar ve anizotropik elastisite çözümünün birbirine yakın sonuçlar verdiğini bulmuşlardır (Aktaş ve Tanık, 1999).

Güder ve arkadaşları çalışmalarında; 100 ton kapasiteli 8x8 bir mobil vincin üst yapısının tasarımını yapmışlardır. Tasarlamış oldukları bu üst yapıyı matematiksel hesaplamalar ve sonlu elemanlar yöntemi ile statik ve dinamik analizleri yapmışlardır. Statik analizler için ANSYS programını tercih etmişlerdir. Teleskobik bomlar 45° , 60° ve 75° konumunda ve farklı tonajlarda yük asılı iken statik analiz yapmışlardır. Analizleri bom saclarının kalınlık parametreleri oluşturarak statik ve dinamik analizleri tekrarlamışlardır. Elde ettikleri analiz sonuçlarını matematiksel hesaplamalar ile karşılaştırmışlardır (Güder, 2015).

Li ve arkadaşları çalışmalarında; ST80238 adında bir gemi kargo vinci üzerinde belli bir kiriş bölgesinin analizini yapmışlardır. Bu vince ANSYS programında yüke maruz bırakarak gerilme ve sehim analizlerini hesaplamışlardır. Kaldırma kapasitesi 1,24 ton-metre olan 80 metre bom uzunluğundaki kargo vinç bomu 10 metre uzunluğunda 8 eş parçaya bölmüşlerdir. Her bölme için ANSYS'de gerilme ve sehim analizlerini yapmışlardır. Kiriş merkezinde bulunan sacın kalınlığını 18 mm, 20 mm, 22 mm ve 24 mm için analizler yapmışlar ve sac kalınlığının sehime etkisini etkisini yorumlamışlardır. Sonuç olarak yükün asılı olduğu bölgede gerilmenin maksimum olduğunu hesaplamışlardır. Sac kalınlığı arttıkça gerilme ve sehimin azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca kiriş sisteminde bulunan profil gövdesinin kalınlığı arttıkça gerilme ve sehimin azaldığını hesaplamışlardır (Li ve ark., 2013).

Koçer ve arkadaşları çalışmalarında; 30 ton metre kaldırma kapasitesine sahip bir mobil vincin aşırı yüke maruz kalan ana bom çelik yapısının 3D modellemesini yaparak statik analizini yapmışlardır. Prototip üretimi yapılan ana bom çelik yapısının Proengineer CAD modülü kullanılarak 3D modeli oluşturmuşlardır. Bu modeli Nastran ve Promechnica yazılımları kullanılarak statik analizini yapmışlardır. Klasik mukavemet hesaplarıyla malzeme kalınlıkları homojen olmayan vinç elemanlarının yapımında sonlu elemanlar

analizi kullanılarak gereksiz yere fazla malzeme kullanıldığını tespit etmişlerdir. Ana bom ağırlığı düşürülerek vincin daha uzun mesafelere uzamasını sağlamışlardır (Koçer ve ark., 2010).

Rouvinen ve arkadaşları çalışmalarında; esnek bom yapısına sahip mobil vinçlerin sehim miktarını testlerden elde edilen tabloları kullanarak yapay sinir ağlarını oluşturmuşlar ve ters kinematik yöntem ile hesaplamışlardır. Bomun çalışma alanı büyükse ve elde edilen tablo değerleri fazla ise yüksek doğrulukta sonuç elde edilebileceğini tespit etmişlerdir. Mobil vinç bom yapıları esnek yapıya sahip olduklarından dolayı analitik yöntemlerle çözümlenmesi nerdeyse imkânsızdır. Yapay sinir ağları, herhangi bir doğrusal veya doğrusal olmayan fonksiyonu yaklaşık olarak hesaplama imkânı sunar. Yapay sinir ağlarının eğitimi için gerekli eğitim bilgileri, esneklik özelliklerini içeren bir simülasyon modeli kullanılarak elde etmişlerdir. Sunulan yöntemlerin işlevselliğini simüle edilmiş konumlandırma doğruluğu sonuçlarına dayanarak test etmişlerdir. Konumlandırma doğruluğu, 25 ayrı koordinat noktasında test edilmiştir. Her bir nokta için, iki ayrı vinç kullanılmış ve konumlandırma beş farklı kütle yükü ile test etmişlerdir. Bir mobil vincin ortalama konumlandırma hatası, test noktalarında 48 mm'den 5,8 mm'ye düştüğünü gözlemlemişlerdir. Bu doğruluk, daha büyük nesnelerin konumlandırılmasında esnek manipülatörlerin kullanılmasını sağlamıştır. Yapılan bu hesaplamaların aynı zamanda esnek yapı ile taşınan yüklerin konumlandırılmasında da kullanılabileceği anlaşılmıştır. Sonuç olarak; yapay sinir ağları için eğitim bilgilerini yapısal esnekliği içeren gerçekçi iki ayrı simülasyon modelinden elde etmişlerdir. Yapay sinir ağlarını eğitim modelinde kullanılan bilgiler ile 3680 vektörü 25 dakika gibi kısa bir sürede hesaplamışlardır (Rouvinen ve Handroos, 1997).

An ve arkadaşları çalışmaların bir mobil vincin bom yapısının sehim hesabını matematiksel modelleme ile sehim hesaplamasını yaparken bom boşluklarını da hesaba katmışlardır. Visual C++6.0 programı kullanarak farklı açılardaki ve farklı yüklerdeki parametreleri girmişlerdir. Sonuç olarak matematiksel hesaplamaları simülasyon programı da kullanarak desteklemişlerdir. Bom yapısında oluşan bölgesel gerilmelerin sehime etkisini ihmal etmişlerdir (An ve ark., 2015).

Gao ve arkadaşları çalışmalarında; yapısına sahip bir vincin kullanılan malzeme ve ekipman ağırlığını azaltarak yüksek mukavemetli bir yapı ile vincin kaldırma kapasitesini artırmak amaçlanmıştır. Bom yapısının yayılı yük olarak göz önünde bulundurmışlar ve bunu matematiksel olarak modellemişlerdir. Elde ettikleri matematiksel formülü bom ya-

pısını en uç kısmının maksimum sehim miktarını hesaplamışlardır. Teorik olarak yaptıkları hesaplamanın doğruluğunu hesaplamak için ANSYS programında sonlu elemanlar analizi yöntemiyle hesaplama yaparak sonuçları karşılaştırmışlardır. Vinç bomlarında meydana gelen büyük deformasyonlarda sonlu elemanlar analizi hesaplama yöntemiyle elde edilen sehim mesafesi teorik yöntemlerle yapılan hesaplarla elde edilen sehim değerinden küçük çıkmıştır. Bu yüzden hesaplamalar sonucu dikkate alınacak olan değer riskli olan değer yani matematiksel hesapla yapılan değer olduğu sonucuna varılmıştır (Xu ve Gao, 2013).

Erdik ve arkadaşları çalışmalarında; transport tekniğinde sıklıkla kullanılan kaldırma ekipmanlarından biri olan portal vinçler incelemiştir. Özellikle açık alanlarda çalışan portal krenlere etkiyen rüzgâr ve iklim şartlarından oluşan ek zorlanmalar göz önüne alınırsa; portal vinçlerde ve özellikle de portal vinci taşıyan gövdede ciddi anlamda gerilmelerin ortaya çıkacağını tespit etmiştir. Çalışmada portal vinç, bilgisayar destekli tasarım yazılımları (AutoCAD) kullanılarak modellenmiş ve modellenen yapı sonlu elemanlar metodu kullanarak hesap yapan yazılımlar (Msc.Patran ve Msc.Nastran) kullanılarak sonlu elemanlarına ayırmış, lineer statik ve nonlinear statik gerilme analizleri yapmışlardır. Bu metod günümüzde otomotiv sanayisinde ve ağır makina sanayisinde seri üretime geçilmeden tasarım hakkında fikir vermesi açısından oldukça sıklıkla başvurulmaktadır. Lineer statik analiz ve nonlinear statik analiz sonuçları birbirleriyle karşılaştırılıp, doğrulukları hakkında yorumlamışlardır. Bunun yanında elde edilen sonuçların teorik sonuçlarla uyumuyla çalışma tamamlamıştır. Sonuç olarak tasarımcı güvenilirlik, dayanıklılık, ağırlık, malzeme kullanımı ve hacim gereksinimleri doğrultusunda optimum tasarımı bulana kadar tasarımını bilgisayar ortamında değiştirilmesi gerektiğini tespit etmiştir (Erdik, 2015).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Vinçler ve Kullanım Alanları

Günümüzde, endüstri ve ticaret alanında, ağır yüklerin çeşitli yöntemlerle kaldırılıp bir yerden başka bir yere taşınması gerekir. Bu işlerin üstesinden gelme amacıyla birçok vinç (kren) türü geliştirilmiştir. Vinçler endüstri ve nakliye sektöründe yük boşaltma ve doldurma amacıyla çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

İnsanoğlu yüzyıllar boyunca hayvan gücünden yararlanmış ve halen de yararlanmaya devam etmektedir. Yüksek yapıların inşa edilmesinde hayvanların gücü yetersiz kalmaya başladığında yükleri kaldırmak için Eski Yunanlılar tarafından M.Ö. 515 yılında ilk vinç Şekil 3.1’de gösterilen vinç tasarlanmıştır. Böylece ilkel yöntemlerle daha yükseğe taşınması mümkün olmayan yükler daha kolay yükseğe taşınmıştır (Saman, 2014).



Şekil 3.1. Eski Yunanlıların tasarladığı ağır yük vinci

Vinçleri kullanım alanları oldukça yaygındır. Vinçleri yapısal olarak tavan vinçleri, sabit vinçler olmak ve mobil vinçler üzere üç grup altında incelenir.

- Tavan vinç;
 - Köprülü vinç
 - Portal vinç
 - Oklu vinç (dönerli vinç)
 - Kablolu vinç

- Sabit vinç;
 - Kule vinçler
 - Kuyruksuz kule vinç
 - Sabit teleskobik vinç
 - Dev kirişli kule vinç
 - Liman seviye vinç
 - Deniz güverte vinç
- Mobil vinç;
 - Helikopter tipi vinç
 - Yandan kaldırıcı vinç
 - Engebeli arazi tipi vinç
 - Yol ve arazi tipi vinç
 - Kaldır-götür tipi vinç
 - Çatallı yükleyici tipi vinç
 - Paletli vinç
 - Demiryolu tipi vinç
 - Yüzer tipi vinç
 - Araç üstü katlanır bomlu mobil hidrolik vinç

3.1.1.Tavan vinçleri

Genel olarak 4 sınıfta toplanır

- Köprülü vinç
- Portal vinç
- Oklu vinç (dönerli vinç)
- Kablolu vinç

3.1.1.1. Köprülü vinç (Overhead crane)

Köprülü vinç; yükseğe yerleştirilmiş iki vinç yolu arasında bir köprü konstrüksiyondan oluşmaktadır (Şekil 3.2). Yarı ağır ve ağır endüstriyle ilgili bütün fabrika, mağaza ve makine park salonlarında kullanılır. Kumanda, basit bir operatör kabininden olabileceği gibi, seyyar operatör kabininden, yerden veya uzaktan da olabilir.



Şekil 3.2. 10 ton taşıma kapasiteli köprülü vinç

3.1.1.2. Portal vinç (Portal crane)

Portal vinç çoğu kez “liman vinç”, “sehpalı vinç” veya “ayaklı vinç” olarak da adlandırılır. Limanlarda, tersanelerde ve depolarda geniş çapta kullanım alanları bulur. Kafes kiriş sistemi veya levhalı kiriş sistemi kullanılması mümkündür. Genellikle raylar üzerinde hareket ettirilmelerine rağmen, küçük ve orta ağırlıkta yükler için lastik yürüme elemanları da kullanılabilir. Bu tip vinçlerin son zamanlarda imalatı ve kullanma alanları büyük gelişmeler göstermiştir. Taşıma kapasitesi 800 tona, ayak açıklığı ise 120 metreye kadar yükselebilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Portal vinç

3.1.1.3. Oklu vinç (Jib crane)

Oklu vinç, liman ve şantiyelerde önemli görev üstlenen ve yaygın kullanılan kaldırma makineleri arasındadır. Genellikle ok adı verilen kiriş, uçlarından insan yardımıyla düşey bir eksen etrafında dönme hareketi yapar. Kanca bloku, okun serbest olan öteki ucu tarafından taşınır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Oklu vinç

3.1.1.4. Kablolu vinç (Monorail crane)

Kablolu vinç, üzerinde arabanın hareket ettiği bir veya daha fazla tel halatlı (taşıma halatlı) vinçdir. Şantiyelerde ve büyük depolarda çokça kullanılır. Açıklık 1000 metreye kadar yükselebilir. Halatlar iki (sabit, hareketli veya dönebilir) kule arasına gerilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kablolu vinç

3.1.2. Sabit vinç (Fixed crane)

Sabit vinçler fabrika, liman, garaj gibi sabit tesislerde, kaldırma, taşıma, depolama işlerinde kullanılmaktadır. Sabit vinçlerde ulaşım bomu ile yatay eksen arasında 20° ile 75° açı olup düşey eksen etrafında her iki yöne 180° dönebilirler.

Sabit vinçlerin bom uzunluğu 10-60 metre arasında kaldırabilecekleri yük miktarı da 2 ila 10 ton arasında değişmektedir.

Genel olarak sabit vinçler ise;

- Kule vinçler
- Kuyruksuz kule vinç
- Sabit teleskobik vinç
- Dev kirişli kule vinç
- Liman seviye vinç
- Deniz güverte vinç

3.1.2.1. Kule vinç (Tower crane)

Kule vinç genellikle şantiyelerde sabit ya da hareketli bir taşıyıcı üzerinde ağır yüklerin yatayda ve düşeyde taşınmasını sağlayan çelik yapı bir makinedir. Kule gibi yükselen bir gövdesi olduğundan bu şekilde isimlendirilmiştir.

Bu vinç çalışma sahaları özellikle yüksekliği fazla olan yerlerdir. Genel olarak yapı işlerinde kullanılmaktadır. Kule vinç kullanım alanlarına göre çeşitlilik göstermektedir. Tepe kuleli, tepe kulesiz, kendi kendini kurabilen tipleri vardır. Tepe kuleli ve tepe kulesiz vinçlerin hidrolik tırmanma sistemi kullanılarak kendi kendine yükselebilen tipleri vardır.

Kendi kendine yükselebilen kule vinç; sabit yükseklikte durabildikleri gibi bina yükseldikçe onunla birlikte de yükselebilmektedir. Yapıya belirli aralıklarla atılan bağlantı elemanları ile sabitlenirler. Kule vinci yükseltmek istendiğinde gövde üzerinde bulunan tırmanma kafesi ile yapıya modüler olan kule elemanları eklenerek bu işlem gerçekleştirilir.

Kule vinci oluşturan yapı elemanları arasında; ayak grubu, ayak denge taşları, kulenin yükselmesini sağlayan elemanlar (mastlar), bom kafesi, denge bomu, kuyruk denge ağırlıkları ve tırmanma kafesi bulunmaktadır (Şekil 3. 6).



Şekil 3.6. Kule vinç uygulama örneği

3.1.2.2. Kuyruksuz kule vinç (Self-erecting Crane)

Kendi kendine kurulan sabit vinçtir. Özellikle kule tipi bina yapımında sıklıkla kullanılır. Bina yükseldikçe vinç de yükselir. Yeniden vincin alt yapısını hazırlamak gibi zaman kayıplarının önüne geçilir 375 metre uzunluğundaki Tokyo Skytree örneği kuyruksuz kule vinç için temel bir örnektir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Kuyruksuz kule vinç uygulama örneği

3.1.2.3. Sabit teleskobik vinç (Fixed telescopic crane)

Sabit bir zemine inşa edilmiş iç içe geçmiş bomları teleskobik silindirler sayesinde uzatılabilen vinç; sabit teleskobik vinç olarak adlandırılır. Bu tip vinçlerde bulunan bomlar yapısal olarak diğer tip vinç bomlarına göre daha mukavemetli olduğundan kısa mesafeli kurtarma operasyonlarında, tersanelerde imalatı tamamlanmış gemilerin karadan suya oturtulmasında çok sıklıkla kullanılmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Sabit teleskobik vinç kullanım alternatif uygulama örneği

3.1.2.4. Dev kirişli kule vinç (Hammerhead cranes)

Dev kirişler üzerine oturtulmuş sonsuz dönebilen ve sadece yatay konumda hareket edebilen vinçlerdir. Yük dengesini hareket kolunun dönme ekseninin arka tarafına yerleştirilmiş ağırlık sayesinde sağlamaktadır. 350 tona kadar yük kaldırma kapasitesi olan bu vinçler kol üzerindeki taşıyıcı sistem sayesinde ileri geri hareket edebilir (Şekil 3.9).

Dev kirişli vinçlerin tasarımı ilk olarak 19. Yüzyılda Almanya tarafından geliştirilmiş ve İngiltere tersanelerinde zırhlı gemi yapımı için 1904-1914 yılları arasında kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Dev kirişli kule vinç uygulama örneği

3.1.2.5. Liman seviye vinç (Level luffing crane)

Yük altında hareketli kol mekanizması sayesinde yükü istenilen konuma getirilebilen ve genellikle yükleme işlerinde kullanılan vinç; liman seviye vinç olarak adlandırılır. Bu tip vinçlerde ilave bir mekanizma sistemi sayesinde yükü kaldırırken tutma özelliği de mümkündür. Seviye orsa vinçler 60 metreye kadar 60 ton yük kaldırma kapasitelerine sahiptir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Liman seviye vinç uygulama örneği

3.1.2.6. Deniz güverte vinç (Deck crane)

Gemilerin güvertesine monte edilmiş sabit vinçdir. Kayık, bot yükleme operasyonlarında ve kargo yükleme boşaltma operasyonlarında kullanılır. Genel olarak 300 ton metreye kadar kaldırma kapasitesine sahiptir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Deniz güverte vinç uygulaması

3.1.3. Mobil vinç (Mobile cranes)

Mobil vinçler karada araç üzerine monte edilmiş, demiryolunda raylar üzerinde ve denizde ise su üstünde hareket ederler.

Genel olarak mobil vinçler çeşitleri ise;

- Helikopter tipi vinç
- Yandan kaldırıcı vinç
- Engebeli arazi tipi vinç
- Yol ve arazi tipi vinç
- Kaldır-götür tipi vinç
- Çatallı yükleyici tipi vinç
- Paletli vinç
- Demiryolu tipi vinç
- Yüzer tipi vinç
- Araç üstü katlanır bomlu mobil hidrolik vinç

3.1.3.1. Helikopter tipi vinç (Aerial crane)

Ülkemizde pek yaygın olmayan helikopter tipi vinçler Avrupa ülkelerinde ve özellikle de Kuzey Amerika'da çok yaygındır. Günümüzde zaman ve doğa koruma bilincinin gelişmesiyle birlikte vinç helikopter kullanımını daha da artmıştır. Ulaşımın zor olduğu bölgelere nakil edilmek istenen hacim olarak büyük ve ağır yükler helikopter vinçler sayesinde çok rahat bir şekilde taşınabilmektedir.

Ayrıca ulaşımın güç olduğu orman yangınlarının söndürülmesinde en büyük yardımcısıdır. Yunanistan orman yangınlarıyla mücadelede daha fazla su ve kimyasal kapasitesine sahip olan vinç helikopterleri tercih etmiştir. Enerji sektörünün en büyük sorunlarından biri olan yüksek gerilim direklerinin bir bütün halinde taşınmasında büyük kolaylık sağlayan vinç helikopterler; doğanın korunması ve yol açmak amacıyla orman katliamı engellenmesi açısından önemli bir unsurdur.

Çok katlı binaların tepesinde bulunan 5000 kg ağırlığa kadar ulaşabilen havalandırma ünitelerini tek parça halinde montajında bu vinçler kullanılabilir.

Helikopter vinçler pahalı bir taşıma yöntemi olmakla birlikte zaman ve çevre koruması açısından gelecekte kullanımı yaygınlaşacak bir taşıma şekli halini alacaktır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Helikopter tipi vinç kullanımı örneği

3.1.3.2. Yandan kaldırıncı vinç (Sidelifter crane)

Yandan kaldırıncı vinçler, değişik tipte, boyutta ve ağırlıktaki ISO nakliyat konteynerlerini kaldırmak ve nakletmek için özel olarak tasarlanmış bir grup vincin bulunduğu, özel üretim yarı römorkun adıdır. Bunların arasında, standart olan 6 ve 12

metre konteynerler ile aynı ekipmanla 14 metreye ve 45 tona kadar çıkabilen konteynerler bulunmaktadır.

Yandan kaldırıcı vinçler sayesinde bir konteyneri taşımak için bir vinç, kamyon ve treyler kullanmadan özellikle nakliyat firmalarına, yekpare ekipmanla ve tek bir operatör ile çalışma olanağı sunar.

Yandan kaldırıcı vinçler, bir konteyner istifleyicisinin ya da çatallı kaldırıcın çalışabileceğinden daha küçük alanlarda kullanılarak, yerden tasarruf edilmesine ve daha fazla alanın depo olarak kullanılabilmesine olanak sağlar. Zemine uygulanan basıncı daha düşük seviyelerde tutarak, gereken altyapı masraflarını da düşürür. Bu değişiklikler yalnızca süreci hızlandırmakla kalmayıp, aynı zamanda firmanın zamandan ve maliyetten tasarruf etmesine imkân sağlar (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Yandan kaldırıcı vinç yük kaldırma uygulaması

3.1.3.3. Engebeli arazi tipi vinç (Rough terrain crane)

Engebeli arazilerde yükleri kaldırma ve taşıma operasyonları için özel tasarlanmış vinçlerdir. Bu vinçler altyapısı dört teker üzerine oturtulmuş ve ayak uzatma-basma grubu engebeli arazi koşullarında vinci dengeli durması için özel tasarlanmış iş makinasıdır. Alt yapı üzerine yerleştirilmiş tekerler dört çekişli olup arazi koşullarına göre kontrolü kolaylaştıran sistem mevcuttur (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Engebeli arazi tipi vinç kullanımı

3.1.3.4. Yol ve arazi tipi vinç (All terrain crane)

Kullanım alanı oldukça yaygın ve karayollarında yüksek hızlara izin verilmesi nedeniyle vinç işletmecileri tarafından öncelikli tercih sebebidir. Yol ve arazi tipi vinçler 2 dingilliden başlayıp 9 dingilliye kadar bulunur. Ayrıca 1200 tona kadar kaldırma kapasitesi sahip vinç tipleri de mevcuttur. İç içe girmiş bomlar teleskobik silindir, halat ve zincir sayesinde 200 metreye kadar uzanabilir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Yol ve arazi tipi vinç örnek kullanımı

3.1.3.5. Kaldır-götür tipi vinç (Pick and carry crane)

Kaldır-götür tipi vinç; engebeli arazi tipi vinçlere görünüm olarak çok benzemekle birlikte önemli farkı ise karayollarında seyahat etmeye daha müsaittir ve vincin dengesi

için ayak uzatma-basma grubu yoktur. Ayrıca bu tip vinçler orta kısmında bulunan mekanizma sayesinde küçük dönme yarıçaplarında rahatlıkla dönebilme kabiliyetine sahiptir (Şekil 3.16).

Bu tip vinçler Avustralya’da çok yaygın olarak üretilmekte ve kullanılmaktadır. 10 ile 25 ton kaldırma kapasiteli olarak imal edilmektedir. Ayrıca maksimum 20 metre yüksekliğe kadar erişebilirler. Vincin dengesi tamamen tekerleklerle sağlandığından; vincin ayak grubunun açılması ve dengenin sağlanması gibi zaman kayıpları ortadan kalkar. Bu pratik özelliğinden dolayı özellikle çelik sektörünün öncelikli tercih sebebidir.



Şekil 3.16. Kaldır-götür tipi vinç kullanım örneği

3.1.3.6. Çatallı yükleyici tipi teleskobik vinç (Telescopic handler crane)

Çatallı kaldıraç (forklift) makinasına yapı olarak çok benzemekte olup tek farkı denge ayakları ve uzayan bomları olmasıdır. Çatallı yükleyici tipi teleskobik vinçlerde birçok vinçte bulunan eksen etrafında dönme özelliği yoktur. Her ne kadar bu vinçlerin 360° dönme yapılmış olsa da istifleme amacına uymadığı için pek tercih edilmemektedir. Arazi koşullarında rahat çalışması ve dengelemeye yardımcı olması açısından büyük lastik tekerlekler tercih edilmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Çatallı yükleyici tipi teleskobik vincin günlük kullanım örnek uygulaması

3.1.3.7. Paletli vinç (Crawler crane)

Paletli yürüyüş takımı üzerine oturtulmuş bom grubunu destekleme görevi yapan döner tabla (dik bom) karşı ağırlık oluşturmak üzere taşıyıcı şasiye merkezden kaçık şekilde yerleştirilmiştir. Paletli vinçlerde dengenin sağlanması ve hareket kabiliyeti paletli yürüyüş takımı sayesinde gerçekleştirildiğinden bu tip vinçler paletli vinçler olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Paletli vinç örneği

3.1.3.8. Demiryolu tipi vinç (Railroad crane)

Demiryolu vinçleri demiryolu raylarının üzerinde kullanımı için tekerlekleri flanşlı olarak geliştirilmiştir. Bu tip vinçler demiryollarında birçok farklı amaç için kullanılmakta olup bakım çalışmaları, hurda işleme tesisleri, kurtarma operasyonları ve yük yükleme bunlardan bir kaçıdır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Demir yolu tipi vincin kullanımı

3.1.3.9. Yüzer tipi vinç (Floating crane)

Yüzer tipi vinçler; büyük köprü inşaatı, liman inşaatı, deniz ve okyanuslarda petrol arama faaliyetlerine destek ve yüksek tonajlı gemilerden yük nakliyesi gibi amaçla üretilmiş tamamen suyun üstünde çalışan vinçlerdir. 10000 tona kadar yük kaldırma kapasitesine sahip yüzer tipi vinçler mevcuttur. Bu tip vinçler kötü hava koşullarına ve suda oluşan büyük dalgalara karşı çok sağlam konstrüksiyona sahiptir. Ayrıca sıcak, tuzlu ve nemli koşullarda çalıştıklarından malzeme seçimi de önem arz etmektedir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Yüzer tipi vinç kullanım örneği

3.1.3.10. Araç üstü katlanır bomlu mobil hidrolik vinç (Truck mounted crane)

Araç üstü katlanır bomlu mobil hidrolik vinç piyasada çok sıklıkla görebileceğimiz tipte vinçdir. Özellikle inşaat sektöründe çok yaygın kullanılmaktadır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. 115 ton metre kaldırma kapasiteli mobil hidrolik vinç

Araç üstü katlanır bomlu vinçler ayak basma grupları sayesinde aracın tekerleklerinin yerden kesilmesini sağlar. Ayak uzatma ve ayak basma grubu bütün vinci ve kaldırılacak ağırlığı taşıyacağından ve vinci yük kaldırma esnasında devrilmemesini sağlayacağından yüksek mukavemetli olması ve mühendislik hesaplarının çok iyi yapılmış olması gerekir.

Şasenin hemen üzerinde vinci 360° dönerek her yönde çalışmasına müsaade edecek sonsuz pinyon dişli – çember dişli mekanizması hemen dik bomun altına yerleştirilmiştir. Bom grubunu düşeyde hareket etmesini sağlamak için kaldırma silindirleri ve kırma silindirleri vardır. Kaldırılan yükü daha uzağa taşımak için uzatma bomları ve uzatma silindirleri bulunur (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Katlanır bomlu mobil hidrolik vinç ana bölümleri

3.2. Mobil Vinç Bomlarında Sehim Problemi

Basit bir eğilme altında bir yapı elemanının eğilme göstermeden önceki çubuk eksenini ile elastik eksenini arasındaki deformasyon mesafesi sehim olarak adlandırılır.

Bomların düşeyde yukarı doğru kaldırılmaya çalışıldığı durumlarda bu işlem esnasında hiçbir faktör göz önünde bulundurmaya bile bomların boşluklarından dolayı ve kendi ağırlığı ile birlikte düşeyde sehim yapmaya başlayacaktır. Bomların yük kaldırmaya çalışması, iç içe geçmiş bom sayısının daha fazla olması, bomların ağırlığı, bomların uzatılma mesafesiyle doğru orantılı olarak sehim miktarı doğal olarak artacaktır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Mobil vincin yük kaldırması

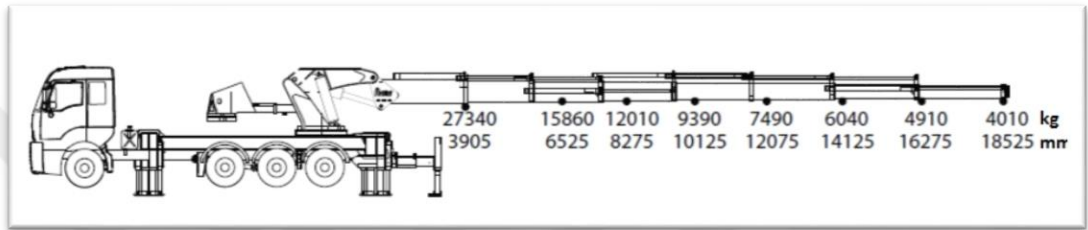
Vinç bomlarında sehim kaynaklı meydana gelen problemlerin diğer problemlere göre ne etkisini anlamak için bir firmanın belli bir dönem için hazırlanmış servis raporunu incelenebilir (Çizelge 3.1). Bu çizelgede görüleceği üzere; vinçlerde meydana gelen düşey ve yanal sehimler nedeniyle; bomlarda sürtünme, bomların hareketi esnasında rahatsız edici seslerin gelmesi, silindir kulağı mesnet bağlantısında sürtünme, bomlarda dönüklük ve mafsallarda eğrilik gibi problemler meydana gelmektedir.

Çizelge 3.1. Bir firmanın bir dönem için hazırlanmış servis raporu

	UYGUNSUZLUK TANIMI	115 TM	130 TM	DİĞER	TOPLAM
1	Yağ Kaçakları (Redüktör, PTO, Kumanda, pompa, silindir, hortum,)	26	10	4	40
2	Bomlarda sürtünme, ses gelme	18	5	3	26
3	Silindir, kulağı/mesnedi sürtme, değme	23	3		26
4	2. Kırmada Eğrilik, Bomlarda Dönüklük, Dik Bom Dönüklük	18	4	2	24
5	Yağ Eksik	20	2	1	23
6	Tesisat Hortumları değme, sürtme, delinme	11	6	6	23
7	Kumanda Kolları takılmamış veya ters takılmış (Kırma, Ayak, ...)	13	5	5	23
8	Boya Hatası (Boyanmamış kısımlar, akıntı, ...)	18	3	1	22
9	Halat tamburu düzgün sarmadı	9	3	2	14
10	Segman, Gresörlük, Pim eksik takılmamış	7	5	2	14

3.2.1. Mobil vinçlerin bom yapısının sehime etkisi

Mobil vinç bomlarında meydana gelen sehimin fotogrametrik teknik kullanılarak ölçülmesi için AC 130 TM-KÇ 7 mobil vinç modeli tercih edilmiştir. Mobil hidrolik vinçlerde bomlar hidrolik uzatma silindirleri sayesinde istenilen uzaklığa uzatılabilir. AC 130 TM KÇ 7 model vinci Şekil 3.24’de görülebileceği gibi maksimum 18525 mm mesafede maksimum 4100 kg yük kaldırma kapasitesine sahiptir. Bu vinç kullanılarak bomlarda meydana gelen sehimin fotogrametrik teknik kullanılarak ölçümü yapılmış ve ANSYS analizi ile kıyaslanmıştır.



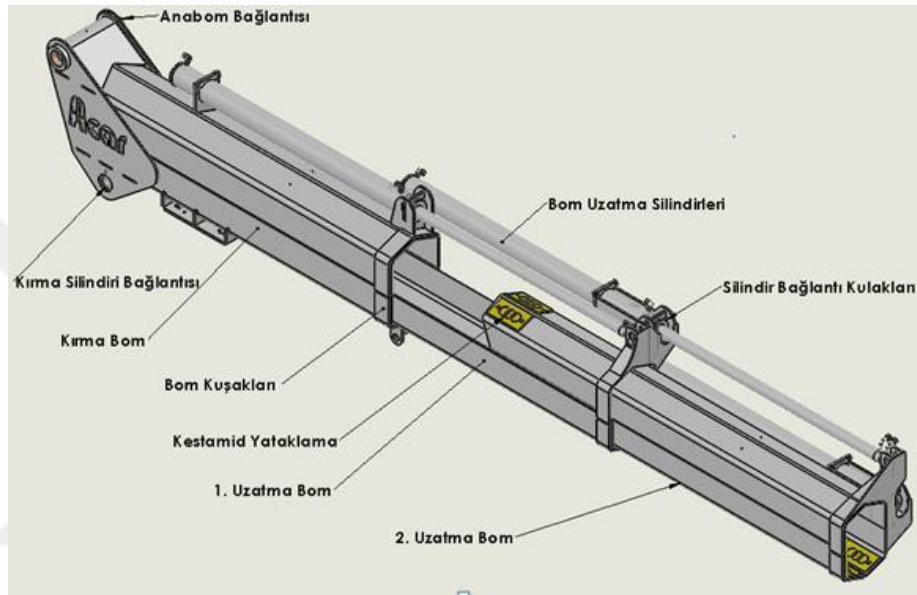
Şekil 3.24. AC 130 TM-KÇ 7 mobil vinç modeli yatay yük diyagramı

Bomların iç içe geçmesi için belli bir boşluk olması gerekmektedir. Tez çalışması kapsamındaki deneysel sürecin yönetilmesi planlanan MPG A.Ş. mobil vinç imalat firmasından alınan AC 130 TM KÇ 7 model vinci bom kesitleri incelendiğinde bomlar üstten 2 mm yandan ise 3 mm boşluk olacak şekilde üretilmektedir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Mobil vinç bom yapısı

Kırma bom parçası bom grubunun uzamayan dış kovani olarak da adlandırılan vincin ana bom parçasına bağlanan yapıdır. Silindirler bomların uzatılmasını sağlayan, basınca ve belli bir debiye sahip hidrolik yağ ile hareket ettirilmesini sağlar. Kestamidler bomların metal metale sürtünmesini engeller. Düşük sürtünme katsayısı ve servis edilebilirlik için sökölür-takılır olması nedeniyle tercihi söz konusudur. Silindir bağlantıları pim ve mandal parçalarından oluşur. Bu parçalar sayesinde bomlar silindirlere bağlanır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. Mobil vinç bom yapı elemanlarının şematik gösterimi

3.2.2. Sehimin kalıcı deformasyona etkisi

Bomlarda meydana gelen sehim; bom ağırlığı, elastik deformasyon, bom kesiti, silindir bağlantılarının yapısı, kestamid yataklarının boşluğu ve kaldırdığı yük gibi faktörlere bağlıdır.

Bomların birbiri içerisinde daha rahat ve daha az sürtünmesiz hareket etmesi için bom yataklarında kestamid malzeme kullanılır. Kestamid malzeme metal olmadığından bomların hareketi esnasında çıkabilecek sürtünme kayıplarını daha aza indirilmiş olur. Kestamid yataklar sayesinde her ne kadar bomların hareketi kolaylaştırılıp sürtünme kayıpları en aza indirilmiş olsa da bomlar aynı anda yük kaldırıp bom uzatma anında yatakları ciddi manada zorlamakta ve yataklar deformasyona uğramaktadır. Bir yük; vinç bomunun ucunda askıda iken belli bir mesafe uzağa götürülmek ya da belli uzaklıktaki mesafeden geri getirilmek istenirse vinç bomlarının uzatılması ya da geri çekilmesi gerek-

mektedir. İç içe geçmiş bomlar kestamid yataklar üstünde hareket etmektedir. Her ne kadar sürtünmeleri azaltmak için kestamidleri kullansak da bomların hareketleri esnasında sürtünmeler meydana gelir. Özellikle bomların hareketi bomun ucunda yük varken yapılırsa bu sürtünmeler gözle görülür hale gelen derin çizikler meydana getirir. Bom üzerinde meydana gelen bu derin çizikler bomlarda çentik etkisi yaratır.

Kuvvetin dış etkisinde olan parça boyunda kesit alanı değişikliği olursa buralarda gerilme yükselmesi görülür. Bu gerilme yükselmesi çentik olarak adlandırılır. Parçanın bir kesitindeki, kesit alanının birdenbire değişmesi sonucu gerilmenin artmasına çentik etkisi denir.

Yüksek gerilmeler sünek malzemede bölgesel plastik deformasyonlar doğurur. Sakin yüklemede bölgesel plastik deformasyon sonucu çentik etkisi kopma doğuracak sonuçlar vermez. Fakat zamanla değişen dinamik yüklenmelerde küçük fakat kalıcı aşınmalar oluşur (bomda oluşan çizikler gibi). Bu aşınmalar her yükleme periyodunda birikerek çoğalırlar. Böylece yorulma kopmasına neden olurlar (Şekil 3.27).



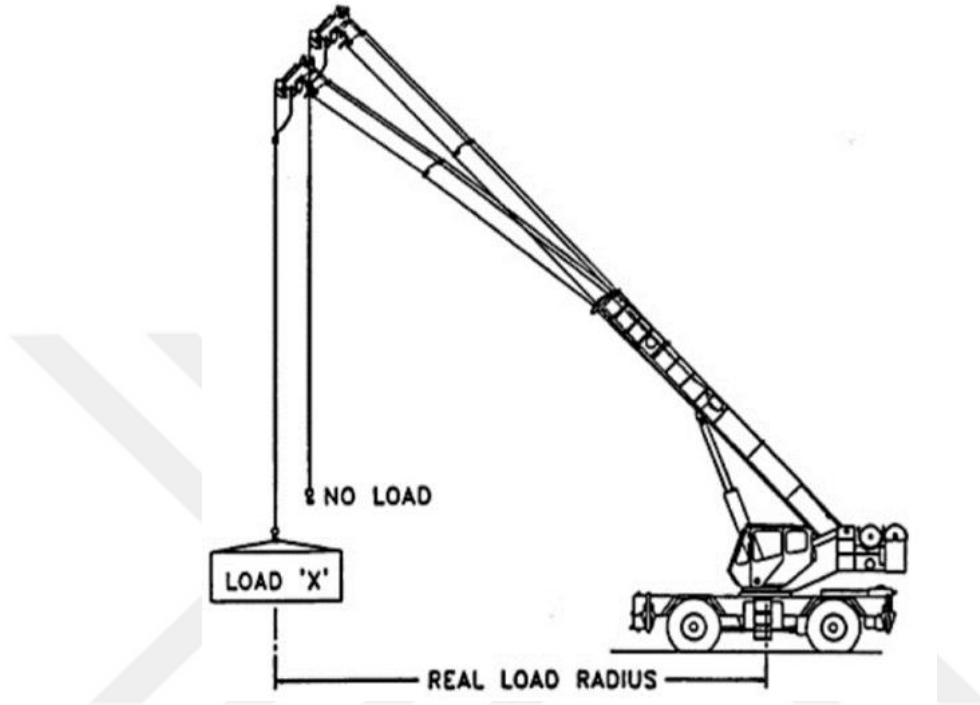
Şekil 3.27. Katlanır bomlu mobil hidrolik vinçte yorulmanın etkisi

3.2.3. Sehimin devrilmeye etkisi

Mobil vinç bomlarında sehimden kaynaklı meydana gelen kazaların başlıca nedenleri şunlardır:

- Mobil vinçlerin uygunsuz kullanımı sonucu meydana gelen kalıcı deformasyon ve bu deformasyonların vinç operatörü tarafından fark edilmemesi,
- Vincin yük diyagramına uygun şekilde kullanılmaması,

- Vinç operatörünün ya da vinç üreticilerinin bomlarda oluşan sehimi göz önüne almadan sadece yük diyagramını kullanması sonucu haliyle sehim nedeniyle momentin yaklaşık %15 artışının göz ardı edilmesi sayılabilir (Şekil 3.28) (Solutions, 2014).



Şekil 3.28. Sehimi nedeniyle oluşan yeni yük kaldırma mesafesi

Mobil vinç bomlarında meydana gelen sehimin vincin genel yapısını ne kadar etkilediğini araştırılması için bomlarda meydana gelen sehimin ölçülmesi gerekmektedir. Bomların kendi çelik yapısından dolayı ya da kaldırdığı yükten dolayı meydana gelen sehimi; bilgisayar destekli analiz, matematiksel modelleme ve eğim sensörleri kullanarak ölçülebilmektedir. Fakat bu yöntemler ile alınan sonuçlar bomlarda oluşan sehimi yorumlamak ve olası problemleri gözlemlemek için yeterli değildir. Hesaplama ve ölçüm zaman kayıplarına neden olmakla birlikte yüksek maliyetler de gerektirmektedir.

Vinç operatörleri mobil vinçler ile sahada çalışma yaptıkları sırada verilen yük diyagramlarına uygun yük kaldırsalar bile bomlarda meydana gelen sehimi nedeniyle vinci devrilmeye zorlayıcı yönde moment artışı olarak vincin devrilmesine neden olur (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Sehim nedeniyle meydana gelen mobil vinç devrilme kazası

3.3. Mobil Vinç Bomlarında Sehim Hesaplama Yöntemleri

Mobil vinç bomlarında meydana gelen sehim aşağıdaki iki yöntem ile ölçülecektir:

- Fotogrametrik ölçüm teknikleri kullanarak sehimin bulunması.
- Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE) analiz programı (ANSYS) ile sehim hesabı.

Bu ölçüm yöntemlerin haricinde ise tek ölçüm parametresi için aşağı yöntemler ile çalışma yapılacaktır

- Çelik metre kullanarak sehim ölçümü
- Açık ölçek cihazları kullanarak sehim ölçümü
- Lazer metre cihazları kullanarak sehim ölçümü

3.3.1. Fotogrametrik ölçüm teknikleri kullanarak sehimin bulunması (tersine mühendislik)

Fotogrametri sözcüğü, eski Yunanca'da ışık anlamına gelen “photos”, çizgi anlamına gelen “gramma” ve ölçme anlamına gelen “metron” kelimelerinin birleşmesiyle elde edilmiştir.

Fotogrametrik ölçüm için kullanılacak iş akışı ana hatlarıyla aşağıda gösterilmiştir;

- Yersel ölçümlerin alınması,
- Fotoğraf alımı,
- Fotogrametrik değerlendirme (yöneltmeler),

- Üç boyutlu modelin oluşturulmasını kapsamaktadır.

Fotogrametrik ölçümde kullanılan kameranın durumu, ölçülecek nesnenin mesafesi, elde edilecek verilerin değerlendirme yöntemi ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılır.

Fotogrametrik ölçümler çekim yapılacak olan nesnenin bulunduğu yerin konumuna göre üçe ayrılır:

- Yersel fotogrametri; bir noktadan çekilmiş fotoğrafla yapılan ölçüm,
- Hava fotogrametri; havadan uçak ya da drone gibi araçlara bağlı kameralarla yapılan ölçüm,
- Yakın resim fotogrametri; nesne ile kamera arası mesafe en çok 300 metre olan ölçümler olarak sınıflandırılabilir.

Fotogrametrik ölçümlerde kullanılan resimlerde kullanılan resim sayısına göre ikiye ayrılır:

- Tek resim fotogrametrisi; tek tek resimler kullanılarak sayısal bilgiler elde edilerek yapılan ölçüm yöntemi,
- Çift resim fotogrametrisi; birden çok ortak alanları bulunan fotoğrafların birleştirilmesiyle elde edilen ölçüm yöntemi olarak sınıflandırılabilir.

Yersel fotogrametride resimler ya çift resim ya da tek resim alım kameraları ile çekilir. Çoğu kez 25 m'ye kadar olan uzaklıkta, stereometrik kameralarla çift fotoğraf alımı yapılır. Bu uzaklıktan sonra tek resim alımı için tek resim alım kameraları veya geçmişte olduğu gibi fototeodolitler kullanılır (Yılmaz, 2000).

Son yıllarda bilgisayar destekli tasarım (CAD), bilgisayar destekli üretim (CAM), bilgisayar destekli mühendislik (CAE) ve diğer yazılım uygulamalarındaki gelişmelerle birlikte tersine mühendislik, üç boyutlu sanal modellerin yaratılması için yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Tersine mühendislik uygulamalarındaki temel hedef, var olan bir nesneyi yeniden üretmek veya geliştirmek amacıyla ürünün üç boyutlu olarak sayısal tasarım bilgilerinin elde edilmesidir.

Yersel fotogrametri yöntemi, üç boyutlu modelleme çalışmalarında son yıllarda başarıyla uygulanmaktadır. Özellikle endüstride ve mühendislik uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Yersel fotogrametrinin, sayısal fotoğraflar kullanılarak üç boyutlu modelleme imkanı sağlaması ve elde edilen sonuç ürünlerin sayısal olması tersine mühendislik uygulamalarındaki kullanımını arttırmıştır.

Digital fotogrametri; kesin sonuçlar elde ederek, plan ve haritaların CAD yazılım sistemine aktarılması ve bu bilgilerin fotografik ve veri tabanları şeklinde bilgisayar ortamında kullanmak amacıyla yapılan çalışmaların bütünüdür.

Digital fotogrametrik dokümanlar mimari, şehir planlama, mühendislik, sigortacılık ve gözlemlene konularında teknik ve kesin sonuçlar elde edilmesi açısından uzmanlaşmıştır. Bu durum digital fotogrametrinin GIS ile birlikte kullanılmasına öncülük etmiş, bitmiş olan çalışmaların modelleme ve tematik konuların yorumlanmasında tabaka (katman) sisteminin oluşmasına imkan da sağlamıştır (Zicarelli, 1996).

3.3.1.1. Grafik fotogrametri

1850-1900'lü yıllar arasında kullanılan ölçüm değerlendirme yöntemi olup fotoğraflar üzerinde açı ve uzunluk ölçümleriyle elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle yapılan ölçüm uygulamasıdır.

3.3.1.2. Analog fotogrametri

1900-1980'li yıllar arasında kullanılan ölçüm değerlendirme yöntemi olup optik cihazlar ile çekilmiş fotoğraflardan 3 boyutlu nesnenin elde edilmesi olarak tanımlanır.

3.3.1.3. Analitik fotogrametri

1970-1980'lü yıllar arasında kullanılan ölçüm değerlendirme yöntemi olup bilgisayar ve elektronik ölçüm cihazları kullanılarak çözümlerin matematiksel yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen ölçüm tekniğidir.

Analitik fotogrametri, çözümlerin matematiksel yöntemlerle yapıldığı, stereo değerlendirme aletine bilgisayar ve ölçme sistemlerinin eklenmesiyle yöneltme, ölçme ve değerlendirme işlemlerinin otomatik ya da yarı otomatik yollarla değerlendirildiği fotogrametri tekniğidir.

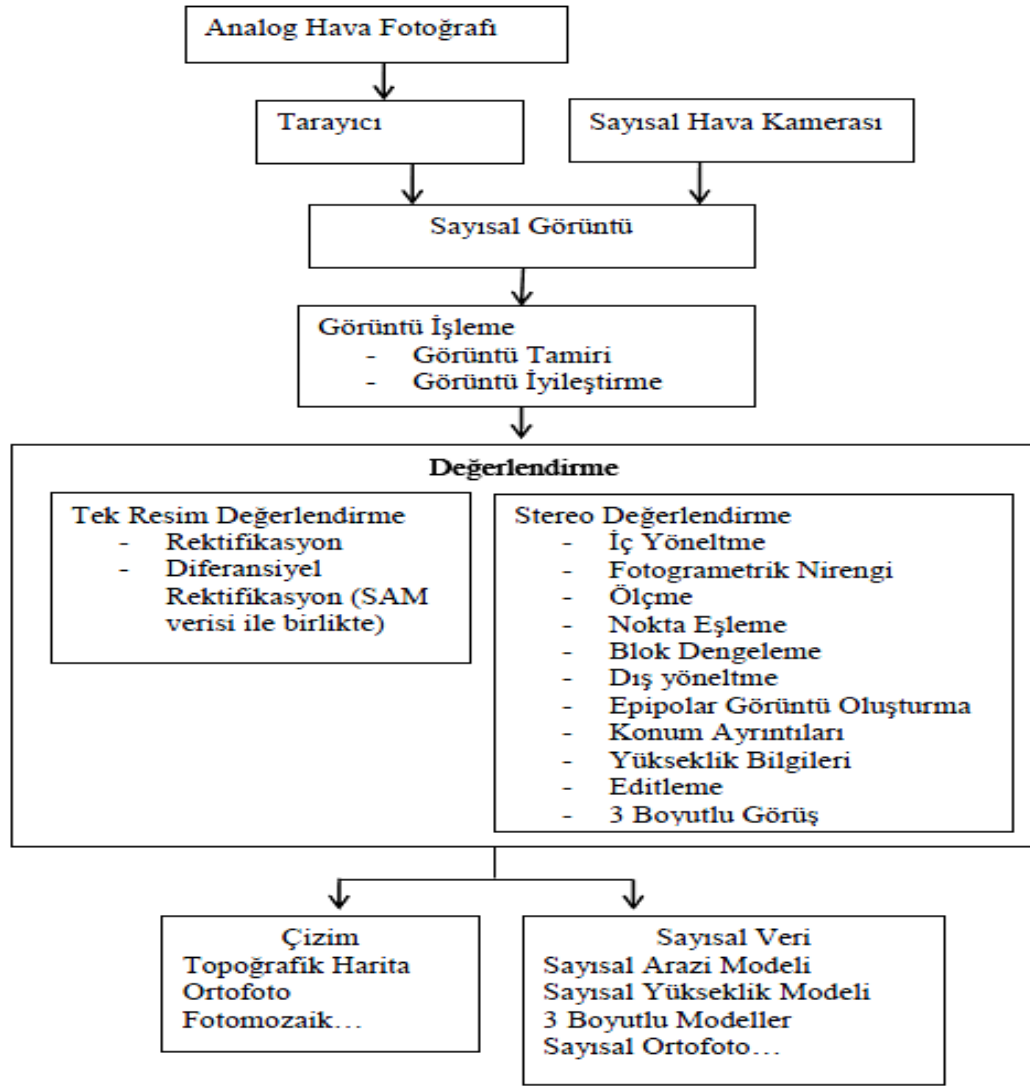
3.3.1.4. Sayısal (dijital) fotogrametri

1990 dan günümüze kadar kullanılan ölçüm değerlendirme yöntemidir. Gelişmiş teknoloji kullanılarak alınan görüntülerin bilgisayar ortamında yüksek hassasiyette üç boyutlu olarak değerlendirilmesidir. Sayısal fotogrametri sayısal görüntüler ile işlem yapar, sayısal ortama aktarılmış görüntülerin tamamen grafik işlemcili bilgisayarlar ile bilgisayar ortamında tüm yöneltme ve değerlendirme işlemlerini kapsar. Görüntüler, ayırma gücü yüksek optik kameralar ile alınmış ise yüksek çözünürlüklü tarayıcılarla

taranarak sayısal forma dönüştürülür ya da doğrudan yüksek çözünürlüklü sayısal kameralarla alınır.

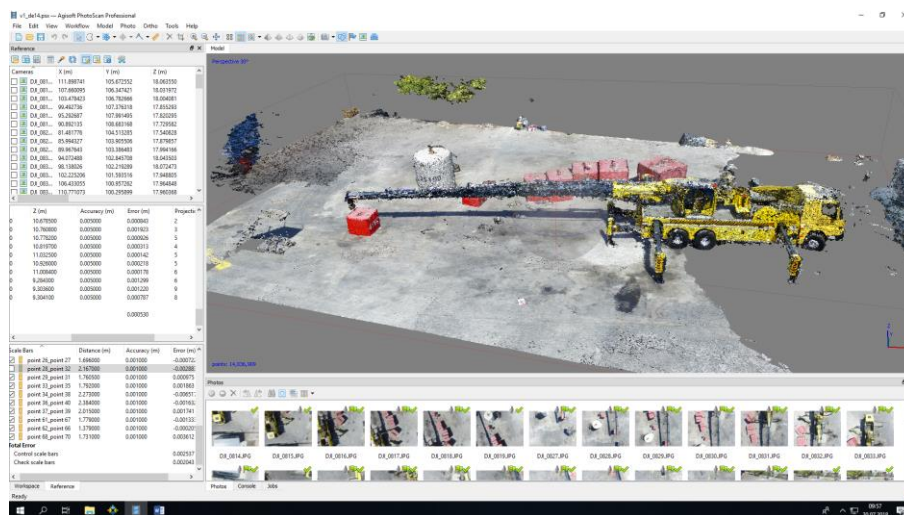
Sayısal fotogrametri, sayısal kameralarla elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntülerin doğrudan kullanılması, yöneltme, stereo görüş ve stereo değerlendirme çalışmalarının bilgisayar ortamında yapılabilmesi ve en önemlisi üretilen ürünlerin sayısal olması nedeni ile günümüzde tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Sayısal fotogrametrinin kullanım avantajları;

- Görüntülerin direkt olarak bilgisayarda görüntülenmesi,
- Film banyosu ve tarama işleminin ortadan kaldırılması,
- Aynı resme ait birden fazla kopya için maliyetin ortadan kalkması,
- İşlem süresinin diğer yöntemlere göre daha kısa olması,
- Nesnelerin görüntüleri alındıktan sonra, bütün işlemlerin araziden bağımsız olarak büroda yapılması,
- Değerlendirilecek görüntülerin kalitesinin bilgisayar ortamında iyileştirebilmesi
- Görüntünün, bilgisayar ortamında kontrast ve ışık şiddeti gibi özelliklerinin değiştirilmesiyle daha anlaşılabilir bir duruma getirilebilmesi,
- Sayısal görüntü işleme teknikleri, fotogrametrik ölçme ve değerlendirme işlerinin otomatik olarak yapılması,
- CAD sistemleri ile eş zamanlı çalışabilmesi (bu özellik, değerlendirme sonrasında elde edilen ürünler, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda eş zamanlı olarak görüntülenebilmesi ve bu şekilde olası hataları erken fark edilme olanağını beraberinde getirmiştir),
- Ürünlerin saklanması (Dijital fotogrametrik değerlendirme sonrasında elde edilen ürünler, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda daha güvenli bir şekilde ve daha az mekân kaplayan arşivlerde depolanabilmektedir.) mümkün olup değerlendirme iş akışı Şekil 3.30'da verilmiştir.



Şekil 3.30. Sayısal fotogrametrik değerlendirme iş akışı

Sayısal fotogrametri yönteminin değerlendirilmesinde bilgisayar teknolojileri yoğun bir şekilde kullanılmakta olup Agisoft Scan programı sayesinde multikopter cihazı üzerinde bulunan kamera ile çekilen fotoğraflar sayısal olarak yorumlanır. Farklı açılarda ve konumlarda çekilen fotoğraflar programa yüklenir. Daha sonra bu programda fotoğraf iyileştirmeleri ve doğrulamaları pratik bir şekilde yapılır. Program ekranında fotoğraflar üzerindeki numaralandırılmış hedef noktaları eşleştirilir. Eşleştirme sonrasında hata payları ve doğrulamalar yapılır. Fotoğraf çekiminde kullanılan kameranın kalibrasyon ayarları da programa tanımlanır. Son olarak program çalıştırılır ve model ekranında nokta bulutlarının birleşmesiyle 3D model elde edilir. Elde edilen 3D Model istenilen CAD formatında dışarı aktarılabilir. Şekil 3.31’ de bu işlemler sıralı olarak verilmiştir.



(a)



(b)

Cameras	X (m)	Y (m)	Z (m)
☐ DJI_081...	111.898741	105.672552	18.063550
☐ DJI_081...	107.660095	106.347421	18.031972
☐ DJI_081...	103.478423	106.782666	18.004081
☐ DJI_081...	99.492736	107.376318	17.855293
☐ DJI_081...	95.292687	107.991495	17.820295
☐ DJI_081...	90.892135	108.683168	17.729582
☐ DJI_082...	81.481776	104.513285	17.540828
☐ DJI_082...	85.994327	103.905506	17.879857
☐ DJI_082...	89.967643	103.386483	17.994166
☐ DJI_083...	94.072488	102.845708	18.043503
☐ DJI_083...	98.138026	102.219289	18.072473
☐ DJI_083...	102.225206	101.593516	17.948805
☐ DJI_083...	106.433055	100.957262	17.964848
☐ DJI_083...	110.771073	100.295899	17.960368

(c)

	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projecti
0	10.678500	0.005000	0.000843	2
0	10.760800	0.005000	0.001923	3
0	10.778200	0.005000	0.000926	5
0	10.819700	0.005000	0.000313	4
0	11.032500	0.005000	0.000142	5
0	10.926000	0.005000	0.000218	5
0	11.008400	0.005000	0.000178	6
0	9.284300	0.005000	0.001299	6
0	9.303600	0.005000	0.001220	9
0	9.304100	0.005000	0.000787	8
			0.000530	

(d)

Scale Bars	Distance (m)	Accuracy (m)	Error (m)
☒ point 26_point 27	1.696000	0.001000	-0.00072
☒ point 28_point 32	2.167000	0.001000	-0.00288
☒ point 29_point 31	1.760500	0.001000	0.000975
☒ point 33_point 35	1.792000	0.001000	0.001863
☒ point 34_point 38	2.273000	0.001000	-0.00651
☒ point 36_point 40	2.384000	0.001000	-0.00163
☒ point 37_point 39	2.015000	0.001000	0.001741
☒ point 61_point 67	1.779000	0.001000	-0.00133
☒ point 62_point 66	1.379000	0.001000	-0.00020
☒ point 68_point 70	1.731000	0.001000	0.003612
Total Error			
Control scale bars			0.002537
Check scale bars			0.002043

(e)

Şekil 3.31. Agisoft Scan ekran tanımlamaları a) Genel görünüm, b) Model ekranı, c) Kontrol noktası koordinatları, d) Kamera koordinatları, e) Kontrol noktaları(marker) arası mesafeler (Ölçüler metre cinsindendir)

3.3.2. Bilgisayar destekli mühendislik (CAE) temelli ANSYS analiz programı ile sehim hesabı

Sonlu elemanlar yöntemi, fizik ve mühendislikte karşılaşılan birçok problemin çözümünde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. Yöntem karmaşık yapıların, üzerinde hesaplama yapılabilecek daha küçük yapılar ile modelleme esasına dayanır (Çayıroğlu, 2018).

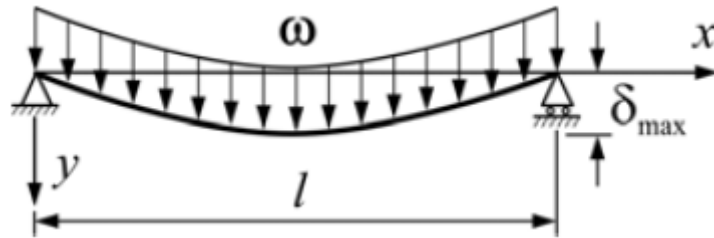
ANSYS yazılımı mühendislerin mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarında fiziğin tüm disiplinlerinin birbiri ile olan etkileşimini simüle etmekte kullanılabilen genel amaçlı bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Bu sayede gerçekleştirilen testlerin ya da çalışma şartlarının simüle edilmesine olanak sağlayan ANSYS, ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerine olanak sağlar. Ayrıca sanal ortamdaki 3 boyutlu simülasyonlar neticesinde yapıların zayıf noktalarının tespiti ve iyileştirilmesi ile ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve muhtemel problemlerin öngörülmesi mümkün olmaktadır.(Figs, 2018)

ANSYS ortamında 3 boyutlu modelleri oluşturmak mümkün olduğu gibi 3 boyutlu modelleri dışarıdan aktarmakta mümkündür.

3.3.3. Analitik hesaplama yöntemleri ile sehim hesabı

Basit bir eğilme altında bir yapı elemanının eğilme göstermeden önceki çubuk eksenini durumu ile elastik eksenini durumu arasındaki deformasyon miktarıdır.

Eğilmeden dolayı sehim meydana geldiği gibi kaymadan dolayı da sehim meydana gelebilir (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Basit bir sehimin gösterilişi

3.3.3.1. Sehim Hesaplamada Sınır Koşulları

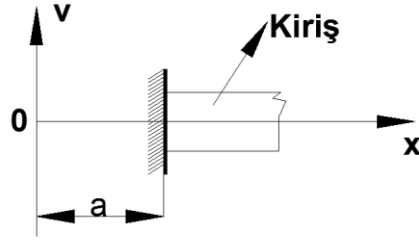
Sehim problemlerinin çözümü esnasında diferansiyel denklemlere ihtiyacımız olacağı gibi sınır şartlarını da belirlememiz gerekir. Homojen şartlarda sıklıkla kullanılan sınır şartları aşağıdaki gibidir.

a. Ankestre veya sabit mesnet:

Şekil 3.33'teki gösterilen ankestre veya sabit mesnet durumlarında v deplasmanı ve dv / dx eğimi sıfır olmalıdır.

$x = a$ ucunda;

$$v_{(a)} = 0, v'_{(a)} = 0 \quad (3.1)$$



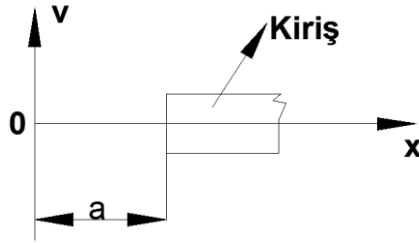
Şekil 3.33. Ankestre mesnet

b. Kayıcı veya basit mesnet

Şekil 3.34'teki gösterilen durumlarda ne sehim ne de M momenti mevcuttur.

$x = a$ ucunda;

$$v_{(a)} = 0, \quad M_{(a)} EI v''_{(a)} = 0 \quad (3.2)$$



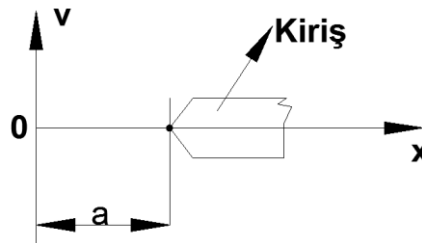
Şekil 3.34. Kayıcı veya basit mesnetli sistem

c. Serbest uç

Şekil 3.35'te gösterilen durumlarda moment ve kesme kuvveti sıfırdır.

$x = a$ ucunda;

$$M_{(a)} = EI v''_{(a)} = 0, \quad V_{(a)} = -(EI v''')' = 0 \quad (3.3)$$



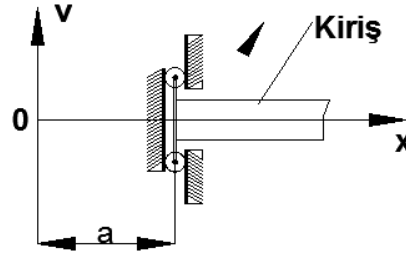
Şekil 3.35. Serbest uçlu sistem

d. Kayıcı ankestre mesnet

Şekil 3.36’te gösterilen durumlarda düşey harekete izin verildiği halde dönmeye mâni olunmuştur. Bu mesnetin hiçbir kesme kuvvetine mukavemeti yoktur.

$x = a$ ucunda;

$$v'(a) = 0, V(a) = -(EIv'')' = 0 \quad (3.4)$$



Şekil 3.36. Kayıcı ankestre mesnetli sistem

Sehim hesaplama yöntemlerinden önemli olanlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Direkt integrasyon yöntemi
- Moment-alan yöntemi

3.3.3.2. Direkt İntegrasyon Yöntemi ile Sehim Hesabı

$$EIv'''' = EI \frac{d^2v}{dx^2} = EI \frac{d}{dx}(v''') = q_y \quad (3.5)$$

$$EIv''' = \int_0^x p \, dx + C1 = T_y \quad (3.6)$$

$$EI v'' = \int_0^x dx \int_0^x p \, dx + C1x + C2 = M_x \quad (3.7)$$

$$EIv' = \int_0^x dx \int_0^x dx \int_0^x p \, dx + \frac{C1x^2}{2} + C2x + C2 = \Omega_x \quad (3.8)$$

$$EIv' = \int_0^x dx \int_0^x dx \int_0^x dx \int_0^x p \, dx + \frac{C1x^3}{6} + \frac{C2x^2}{2} + C3x + C4 = V_z \quad (3.9)$$

Sehim hesabı için eğer yukarıdaki eşitliğin yerine $EIv' = M(x)$ kullanılmış olsaydı iki defa integrasyonunu alarak çözüme ulaşabilirdik.

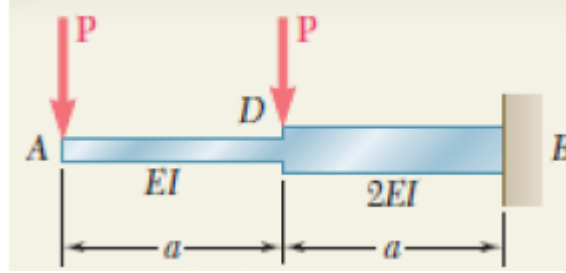
$$EIv = \int_0^x dx \int_0^x M_x \, dx + C3x + C4 \quad (3.10)$$

Sehim problemlerin çözümünde sınır koşullarını göz önünde bulundurarak C1, C2, C3 ve C4 sabitlerini buluruz ve sehim denkleminde bu sabitleri yerine koyarak istediğimiz sonucu elde etmiş oluruz.

3.3.3.3. Moment Alan Yöntemi ile Sehimi Hesabı

İç içe geçmiş iki bomun ucunda meydana gelecek sehimini incelemek biraz karmaşık bir durumdur. Bu durumu basite indirgenmiş halini ele almak daha manidar olacaktır.

AD ve DB birbirine kaynatılmış konsol bir kiriştir (Şekil 3.37). AD ve DB eğilme rijitlikleri ise EI ve $2EI$ ise A ucunda oluşan sehimini bulalım.



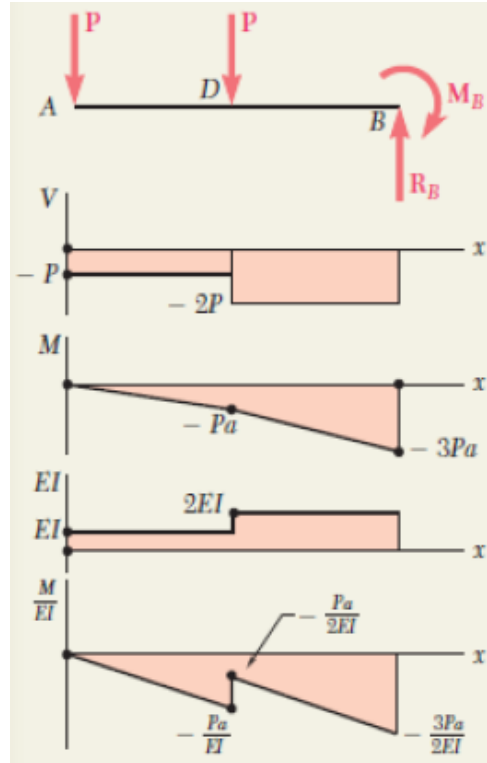
Şekil 3.37. Basit bir sehimi örneği

Şekil 3.38’de gösterilen diyagram aşağıda adım-adım anlatılmıştır;

Adım 1: Eğilme momenti diyagramı çizilir.

Adım 2: M ’nin değerini her bir noktada ilgili kiriş eğilme rijitliği değerine bölerek M/EI diyagramını elde ederiz.

Adım 3: Ankestre mesnet B’den çizilen teğeti referans teğet olarak seçeriz.



Şekil 3.38. Sehimi problemine ait diyagramlar

Şekil 3.39’da sehmin referans teğeti şematik olarak gösterilmiştir.

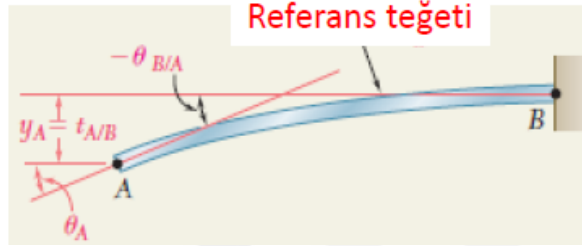
$$\theta_B = 0$$

$y_B = 0$ olduğundan;

$$\theta_A = \theta_B$$

$$y_A = \frac{t_A}{B} \text{ olur.}$$

(3.11)



Şekil 3.39. Sehmin referans teğeti

Adım 4: M/EI diyagramında görüldüğü gibi üç üçgene ayırarak aşağıdaki bağıntıları yazabiliriz. Alanlar toplamı bize eğimi verecektir.

$$A1 = -\frac{1}{2} \frac{Pa}{EI} \alpha = -\frac{Pa^2}{EI} \quad (3.12)$$

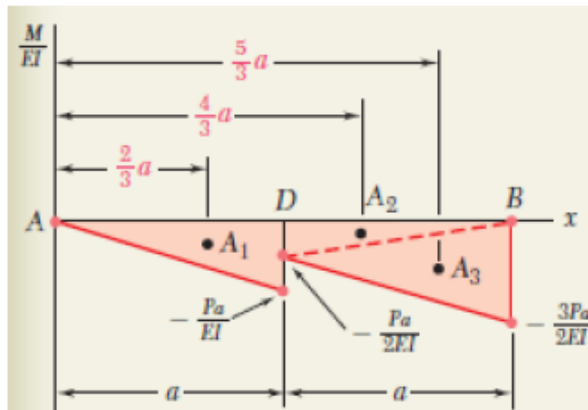
$$A2 = -\frac{1}{2} \frac{Pa}{2EI} \alpha = -\frac{Pa^2}{4EI} \quad (3.13)$$

$$A3 = -\frac{1}{2} \frac{3Pa}{2EI} \alpha = -\frac{3Pa^2}{4EI} \quad (3.14)$$

$$A1 + A2 + A3 = -\frac{3Pa^2}{2EI} \quad (3.15)$$

$$\theta_A = -\frac{\theta_B}{A}, \theta_A = \frac{3Pa^2}{2EI} \quad (3.16)$$

Denklem 3.16’da A noktasındaki eğim elde edilir.



Şekil 3.40. Sehmin ve eğim diyagramı

Adım 5: İkinci moment alan denklemini kullanarak sehimi hesaplayabiliriz.

Bunun için bir önceki adımda bulduğumuz moment alanlarını kullanacağız (Şekil 3.40).

$$y_A = \frac{t_A}{B} = A1 \frac{2\alpha}{3} + A2 \frac{4\alpha}{3} + A3 \frac{5\alpha}{3} \quad (3.17)$$

A_1 , A_2 ve A_3 gördüğümüz yere 4. Adımda bulduğumuz değerleri yazarsak;

$$y_A = -\frac{23Pa^2}{12EI} \quad (3.18)$$

3.18 denkleminde sehim elde edilir.

3.3.4. Çelik metre ve lazer metre kullanarak sehim ölçümü

Çelik metre ve lazer metre kullanarak yapılan ölçümler hemen hemen aynı yöntem olduğundan tek başlık altında ele alınmıştır (Şekil 3.41). Çelik metre kullanarak sehim ölçüm yapmak mümkündür. Bu ölçüm sırasında tamamen insan faktörü geçerli olduğundan hata oranı çok yüksektir. Mobil vinç bomunun belli noktasını iki farklı operatöre ölçtürdüğümüzde kişiler arasında yaklaşık 3 cm hata tespit edilmiştir. Ayrıca ölçümler vincin ayaklarının bastığı zemin ile bom arasında yapıldığından hata oranı daha fazla artmaktadır. Çünkü vincin zemine paralelliği sadece ayakları bastığı alanda doğrulanmış olup bomların uzadığı alanda paralelliğin sağlanamadığı görülmüştür. Bomların uzadığı bölgede paralelliği doğrulayabilmek için çok hassas bir zemine ihtiyaç olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.41. Mobil vinç bomlarının çelik metre ve lazer ölçüm çalışması (MPG A.Ş. Mobil Vinç Test Alanı)

3.3.5. Açı ölçer cihazları kullanarak sehim ölçümü

Açı ölçer cihazlar bir düzlemin bir başka düzleme göre açı farkını yada yer çekime göre açısını vermektedir. Bu ölçümde mitutoyo Pro 360 cihazı tercih edilmiş olup cihazın okuma hassasiyeti $0,1^\circ$ ve hata sınırı yatayda $0,1^\circ$ dikeyde $0,2''$ 'dir. Ölçüm öncesi cihaz mutlaka kalibre edilmeli ve ayarları sıfırlanmalıdır. Ölçümün kolay olabilmesi için cihazın mıknatıslı modeli tercih edilmiştir (Şekil 3.42). Böylece ölçüm esnasına açı ölçerin yüzeye tam oturduğundan emin olunur. Yapmış olduğumuz çalışmalar için yüksek hassasiyette bir cihazdır. Fakat burada ölçüm yapmak için insan faktörü ön plandadır. Bir kişinin bom yüzeylerinden bu ölçümleri alması birkaç saati bulması ve ölçüm boyunca bomun çevresel faktörler nedeniyle sallanması açı referanslarının birbirine göre fazla hatalar oluşmasına neden olur.



Şekil 3.42. Açı ölçer cihazları kullanarak sehim ölçümü

3.3.6. Açı ölçer sensörler kullanarak sehim ölçümü

Açı ölçer sensörler ileri teknoloji iş makinelerinde tercih edilmektedir. Şekil 3.43'de gösterilen sensörler ölçtükleri açı değerini, okuyucuya gönderirler buradan kablosuz vericiye bilgiyi aktarırlar. Kablosuz vericideki bilgiler kablosuz alıcıya transfer olur. Daha sonra operatörün elinde bulunan veri görüntüleme cihazı sayesinde ekranda ölçülen değer kaydedilir. Bu açı değeri her bom için ayrı ayrı veri toplanır ve elde edilen veriler analitik olarak hesaplandıktan sonra arka planda yazılım sayesinde sehim miktarı hesaplanır. Hesaplanan sehim miktarı veri görüntüleme ekranına yansıtılır.

Bu sistemin avantajları:

- Verilerin anlık okunabilmesi,
- Oluşabilecek ani problemlerde müdahale fırsatı olup

Bu sistemin dezavantajları ise;

- Kompleks bir yapıya sahip olması,
- Diğer yöntemlere göre aşırı maliyetli olması,
- Diğer yöntemlere göre arıza problemlerinin çok olması sayılabilir.



Şekil 3.43. Açı ölçer sensörleri kullanarak sehim ölçümü

Konstrüksiyonlarda sehim ölçümü sensörler ile yapılacaksa tüm şartlar için tekrarlı yüklemeler altında veriler toplanmalıdır. Alınan veriler sistemin istenilen hassasiyet aralığına gelinceye kadar devam ettirilmelidir (Holst ve ark., 2013).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Fotogrametrik Ölçüm Test Sonuçları

Mobil vinç bomlarında meydana gelen sehmin fotogrametrik teknik kullanılarak ölçülmesi için AC 130 TM-KÇ 7 mobil vinç modeli tercih edilmiştir. Mobil hidrolik vinçlerde bomlar hidrolik uzatma silindirleri sayesinde istenilen uzaklığa uzatılabilir. AC 130 TM KÇ 7 model vinci maksimum 18525 mm mesafede maksimum 4100 kg yük kaldırma kapasitesine sahiptir.

Fotogrametrik ölçüm sonuçları Çizelge 4.1’ de belirtildiği gibi 4 farklı bom açısı ve 3 farklı yük durumu ile toplamda 12 farklı test yapılmış ve bunların sonuçları tek tek ele alınmıştır.

Çizelge 4.1. Sehim ölçüm parametreleri

YÜK DURUMU	BOM AÇI 1	BOM AÇI 2	BOM AÇI 3	BOM AÇI 4
	0 DERECE	30 DERECE	60 DERECE	82 DERECE
0 kg	ÖLÇÜM 1	ÖLÇÜM 2	ÖLÇÜM 3	ÖLÇÜM 4
2500 kg	ÖLÇÜM 5	ÖLÇÜM 6	ÖLÇÜM 7	ÖLÇÜM 8
4100 kg	ÖLÇÜM 9	ÖLÇÜM 10	ÖLÇÜM 11	ÖLÇÜM 12

Ölçümün Yapılacağı Makine: AC 130 TM KÇ 7 modeline sahip mobil vinç (Şekil 4.1)

Ölçüm İçin Kullanılacak Cihazlar:

1. Dijital kamera (Panasonic Lumix)
2. Multikopter DJI Phantom Pro 3
3. Mitutoyo Pro360 açı ölçme cihazı
4. Fotogrametrik değerlendirme yazılımı (Lisanslı Agisoft Photoscan)



Şekil 4.1. Mobil vinç bomlarının fotogrametrik ölçüm çalışması (MPG A.Ş. Mobil Vinç Test Alanı)

4.1.1. Ölçüm yapılacak mobil vinç modelinin hazırlanması

Vincin 12 farklı durumu için ölçüm alınması hedeflenmektedir. Bu durumların hepsinde aşağıda belirtilen koşulların sağlanması gerekmektedir:

- Vincin şasesinin zeminle paralel olması,
- Bomların yatayda tamamen uzatılması (dik bom merkezinden uzaklık 18525 mm olacak),
- Açı değerlerinin kırma bomuna göre belirlenmesi,
- Vincin bomlarının sallanma hareketinin geçmesinin beklenmesi,
- Rüzgâr hızının minimum seviyede olması (<8 m/s),
- Yağmur ve sis gibi doğa olaylarının olmaması gerekmektedir.

Ölçüm kontrol noktaları için bomların belli noktalarından ölçümler alındı. Mıknatıslı hedef noktası (marker) bomların hareketli ve sabit belli konumlarına konumlandırıldı (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Hedef noktalarının (marker) bom üzerine yerleştirilmesi

Bomların sürtünmesini azaltmak için bomların yüzeyleri gres ile yağlanır. Bu nedenle ölçüm alabilmek için bu yüzeylere kontrol noktalarının yapıştırılması uygun olmayacaktır. Bu yüzden bu yüzeylerde mıknatıslı hedef noktası (marker) parçalarının kullanılması tercih edildi. Hedef noktaları arası mesafeler milimetrik çelik metre ile ölçüldü. Her bir hedef noktası için numara verildi ve bu numaralar arası mesafeler kaydedildi.

Katlanır bomlu mobil vinç AC130 TM KÇ modellenli vinç ayak basma bomları üzerine basarak kamyon tekerleklerinin yerden kesilmesi sağlanmıştır. Böylelikle vinç üzerindeki tüm yüklerin 4 adet ayak basma bomuna gelmesi sağlanmıştır. Vincin şase yapısı Şekil 4.3’de gösterilen Mitutoyo Pro360 açı ölçer cihazı ile ölçümü birkaç yönde yapılmış ve zemine paralellik açısının $0,1^\circ$ ’den daha az olması sağlanmıştır. Ayrıca vinç bomlarının da zeminle olan açısı ve düşey doğrultuda olması bu cihazla sağlanmıştır.

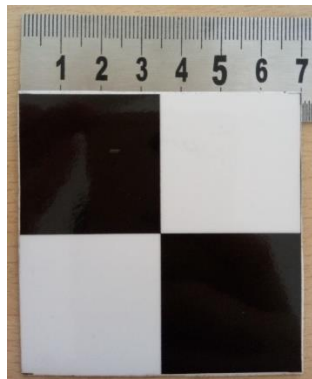


Şekil 4.3. Açı ölçer cihazı Mitutoyo Pro360

4.1.2. Dijital fotogrametri ölçüm cihazlarının hazırlanması

Fotogrametrik teknik ile ölçüm yapılabilmesi için her bir mobil vinç bomu üzerinde ölçüm alınabilecek sabit hedef noktalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sabit hedef noktaları için en uygun konum bomların yan yüzeyleri olarak belirlenmiştir.

Ölçümün daha hassas yapılabilmesi için ölçüm cihazlarının algılaması daha kolay olsun diye siyah beyaz renkler tercih edilmiştir (Şekil 4. 4).



Şekil 4.4. Hedef Noktası 70mm x 70mm (Marker)

Şekil 4.5’de Multikopter DJI Phantom Pro 3 üzerine kamera yerleştirilmiş bir cihaz sistemi mevcuttur. Bu cihaz uzaktan kumanda ile çalışmakta olup istenilen açılarda fotoğraf çekilebilmektedir.



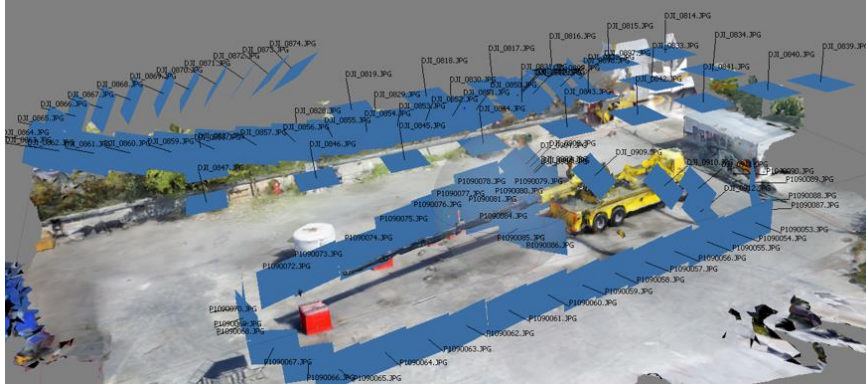
Şekil 4.5. Kamera yerleştirilmiş Multikopter cihazı

Multikopter cihazı sayesinde vincin yaklaşık 10 metre çevresinden ve farklı konumlarından fotoğraflar çekilerek kaydedildi (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Mobil vinç ve multikopter cihazı

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi her test için yaklaşık 30 adet fotoğraf çekildi. Fotoğraf sayısının fazla olması daha hassas sonuçlar almamızı sağlamaktadır.



Şekil 4.7. Multikopter cihazı ile alınan ölçüm ile modellenen mobil vinç

Elde edilen fotoğraflar Agisoft Scan programına yüklendi. Çekilen fotoğraflar farklı mesafelerden ve farklı açılarda olması yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Çekilen fotoğraflarda daha önce numaralandırılan hedef noktaları her fotoğraf için program otomatik numara eşleşmesi yaptı. Mesela Şekil 4.8’de 35 numaralı hedef noktası bütün fotoğraflarda 35 numaralı hedef noktasıdır şeklinde program algıladı. 35 numaralı hedef noktası birçok farklı açılardan fotoğraflandığından hassasiyet arttı. Alınan ölçülerin ölçekleme yöntemiyle doğrulama yapabilmek için daha önce test esnasında kayıt edilen hedef noktaları arası mesafeleri programa girildi. Bu sayede ölçekleme yaparak fotoğraflar üzerindeki ölçülerin tespit edilmesi sağlandı.



Şekil 4.8. Bomlar üzerinde bulunan hedef noktaları

4.1.3. Fotogrametrik ölçüm verilerinin Agisoft Scan programında değerlendirilmesi

Bomların başında ve sonunda bulunan hedef noktalarının kırma bom tarafsız eksenine göre dikey mesafeleri Agisoft Scan programında okunarak tablo haline getirilmiştir.

Fotogrametrik ölçümlerde karesel ortalama hata $\pm 2,5$ mm olarak saptanmıştır. Yani elde ettiğimiz sonuçlar maksimum $\pm 2,5$ mm hata ile ölçüm yapmaktadır.

Çizelge 4.2. Fotogrametrik ölçüm sonuçları

		Kırma Bom (mt)		1.Uzatma Bom (mt)		2.Uzatma Bom (mt)		3.Uzatma Bom (mt)		4.Uzatma Bom (mt)		5.Uzatma Bom (mt)		6.Uzatma Bom (mt)		7.Uzatma Bom (mt)	
	Bom Uzunluk (mt)	0	1,303	1,68	3,065	3,378	4,944	5,25	6,905	7,27	8,959	9,336	11,09	11,47	13,24	13,77	15,76
Yüksüz	Bom Açısı 0°	0	0	0,01	0,037	0,042	0,083	0,088	0,169	0,19	0,274	0,3	0,399	0,4	0,545	0,568	0,649
		0	0	0,01	0,038	0,047	0,102	0,12	0,223	0,256	0,392	0,431	0,6	0,648	0,847	0,898	1,147
		0	0	0,01	0,044	0,054	0,125	0,15	0,275	0,317	0,488	0,535	0,752	0,802	1,068	1,136	1,458
Yüksüz	Bom Açısı 30°	0	0	0,007	0,023	0,026	0,055	0,065	0,121	0,139	0,208	0,229	0,309	0,339	0,431	0,448	0,561
		0	0	0,008	0,036	0,043	0,095	0,113	0,211	0,243	0,37	0,407	0,567	0,614	0,803	0,849	1,088
		0	0	0,01	0,042	0,051	0,119	0,142	0,262	0,3	0,462	0,507	0,713	0,771	1,013	1,078	1,386
Yüksüz	Bom Açısı 60°	0	0	0,005	0,018	0,019	0,04	0,05	0,096	0,112	0,169	0,19	0,255	0,282	0,362	0,387	0,476
		0	0	0,009	0,032	0,036	0,076	0,092	0,17	0,196	0,297	0,329	0,455	0,494	0,647	0,689	0,867
		0	0	0,008	0,034	0,004	0,088	0,105	0,199	0,229	0,352	0,39	0,544	0,592	0,776	0,82	1,058
Yüksüz	Bom Açısı 82°	0	0	0,004	0,01	0,011	0,023	0,028	0,055	0,064	0,097	0,109	0,148	0,169	0,219	0,224	0,285
		0	0	0,006	0,02	0,022	0,044	0,055	0,107	0,124	0,187	0,21	0,289	0,32	0,416	0,435	0,56
		0	0	0,006	0,026	0,029	0,059	0,071	0,132	0,152	0,23	0,255	0,35	0,384	0,501	0,524	0,677

Çizelge 4.2’te aktarılan tablonun daha anlamlı hale gelmesi için tabloda bulunan veriler ayrı ayrı ele alındı. Elde ettiğimiz sonuçları aşağıda inceleyelim.

Bomlar yatayda tamamen uzatılmış ve fotogrametrik ölçüm ile hedef noktaları koordinatları tespit edilmiştir. Bu noktaların kırma bom merkez tarafsız ekseninden çizilen tarafsız eksen çizgisi sehim sonrası düşey mesafe tespit edilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere kırma bom referans alındığında sehim miktarı sıfırdır. Bom sayısı arttıkça sehim miktarı hızla artmaktadır.

Bom açısındaki değişiminde sehim miktarında azalmaya sebep olduğu görülmüştür. En kritik durumun 0° bom açısı ve 4100 kg’da olduğu belirlenmiştir. Yatay konumun problemli sonuçlar vermesindeki temel etkiye moment değişkenliğinin yol açtığı sonucuna varılmış olup bu değerlerin kıyaslamada kullanılması amaçlanmıştır.

Şekil 4.9’da mobil vincin tüm bomları yatayda uzatılarak yük almadan oluşan sehim miktarı dijital fotogrametrik ölçüm yöntemi ile tespit edilmiştir. Kırma bom referans eksenine göre her bom üzerinde bulunan hedef noktaları ayrı ayrı dijital fotogrametrik analiz programında sehim miktarları metre cinsinden tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. Mobil vinçte yük yokken yatay konumundaki sehimin oluşma görüntüsü

Şekil 4.10’da mobil vincin tüm bomları yatayda uzatılarak bomun en uç kısmından 2500 kg yük alınarak oluşan sehim miktarı dijital fotogrametrik ölçüm yöntemi ile tespit edilmiştir. Kırma bom referans eksenine göre her bom üzerinde bulunan hedef noktaları ayrı ayrı dijital fotogrametrik analiz programında sehim miktarları metre cinsinden tespit edilmiştir.



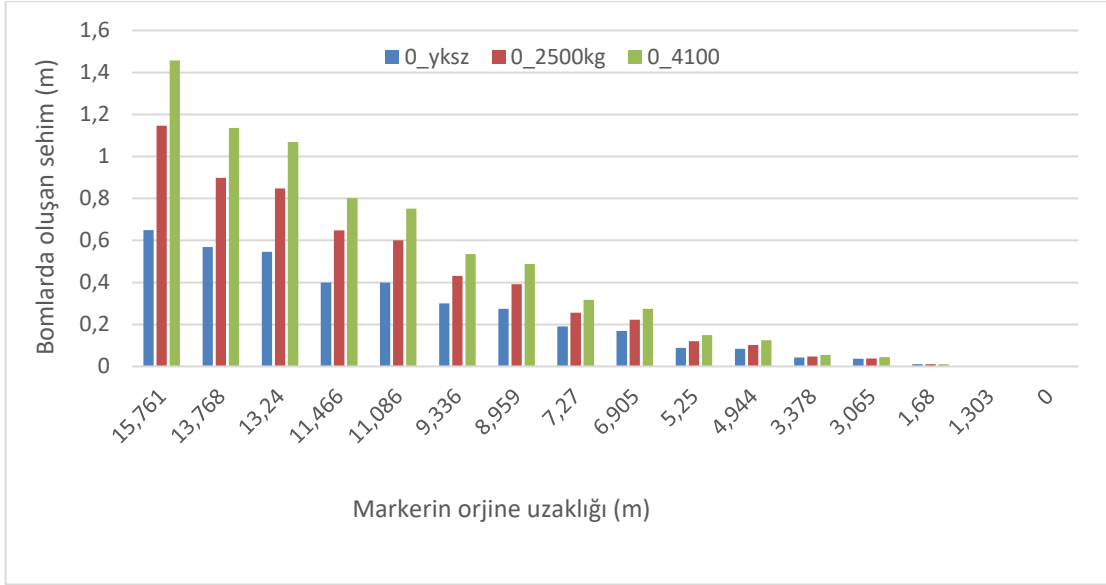
Şekil 4.10. Mobil vinçte 2500 kg yükteki yatay konumundaki sehimin oluşma görüntüsü

Şekil 4.11’de mobil vincin tüm bomları yatayda uzatılarak bomun en uç kısmından 4100 kg yük alınarak oluşan sehim miktarı dijital fotogrametrik ölçüm yöntemi ile tespit edilmiştir. Kırma bom referans eksenine göre her bom üzerinde bulunan hedef noktaları ayrı ayrı dijital fotogrametrik analiz programında sehim miktarları metre cinsinden tespit edilmiştir.



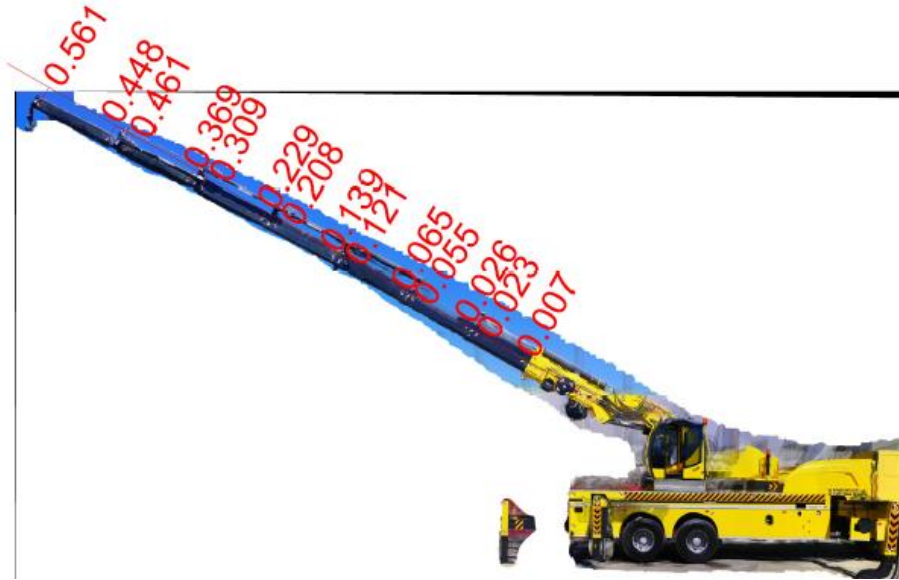
Şekil 4.11. Mobil vinçte 4100 kg yükteki yatay konumundaki sehimin oluşma görüntüsü

Şekil 4.12’de mobil vincin tüm bomları yatayda uzatılarak bomun en uç kısmında yük yok iken ,2500 kg yük alınarak ve 4100 kg yük alınarak her bomda ayrı ayrı oluşan sehim miktarı gösterilmiştir. Kırma bom referans alındığından sehim oluşmamakta ve bomların en ucunda maksimum sehim tespit edilmiştir.



Şekil 4.12. Bomlar yatay konumunda iken sehim değişimi

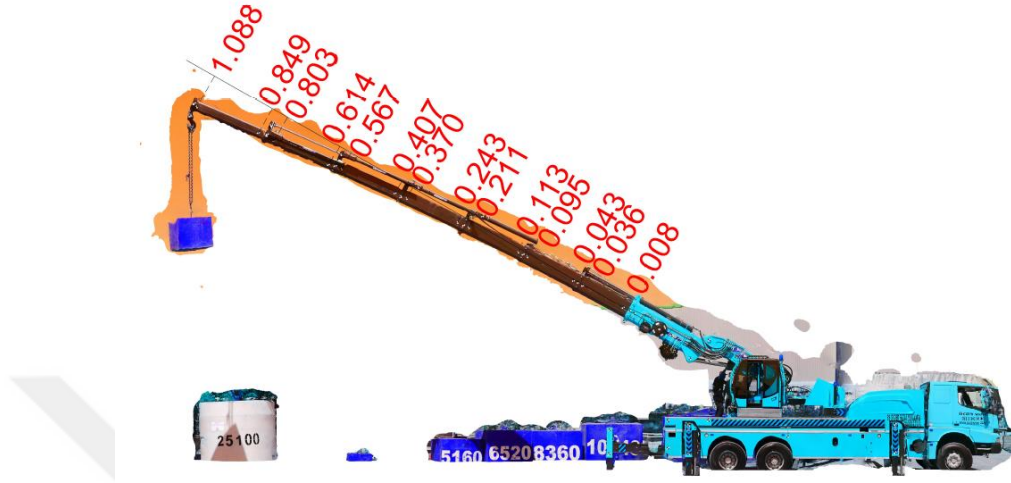
Şekil 4.13’de mobil vincin tüm bomları zeminle 30° açı yapacak şekilde uzatılarak yük almadan oluşan sehim miktarı dijital fotogrametrik ölçüm yöntemi ile tespit edilmiştir. Kıрма bom referans eksenine göre her bom üzerinde bulunan hedef noktaları ayrı ayrı dijital fotogrametrik analiz programında sehim miktarları metre cinsinden tespit edilmiştir.



Şekil 4.13. Mobil vinçte yük yokken 30° konumundaki sehimin oluşma görüntüsü

Şekil 4.14’de mobil vincin tüm bomları zeminle 30° açı yapacak şekilde uzatılarak bomun en uç kısmından 2500 kg yük alınarak oluşan sehim miktarı dijital fotogrametrik ölçüm yöntemi ile tespit edilmiştir. Kıрма bom referans eksenine göre her bom üzerinde

bulunan hedef noktaları ayrı ayrı dijital fotogrametrik analiz programında sehim miktarları metre cinsinden tespit edilmiştir.



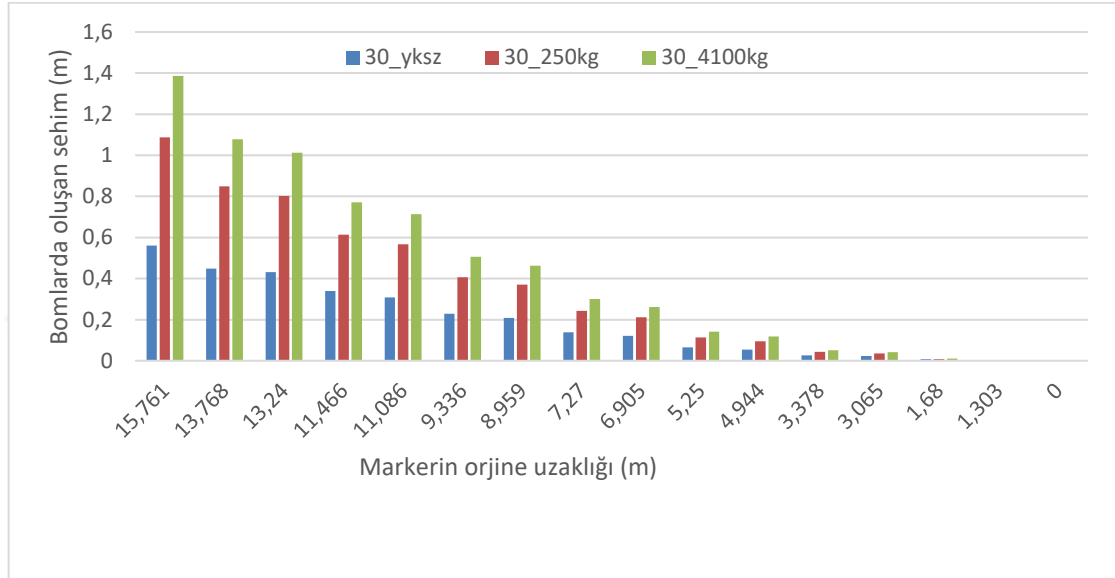
Şekil 4.14. Mobil vinçte 2500 kg yükteki 30° konumundaki sehimin oluşma görüntüsü

Şekil 4.15’de mobil vincin tüm bomları zeminle 30° açı yapacak şekilde uzatılarak bomun en uç kısmından 4100 kg yük alınarak oluşan sehim miktarı dijital fotogrametrik ölçüm yöntemi ile tespit edilmiştir. Kırma bom referans eksenine göre her bom üzerinde bulunan hedef noktaları ayrı ayrı dijital fotogrametrik analiz programında sehim miktarları metre cinsinden tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. Mobil vinçte 4100 kg yükteki 30° konumundaki sehimin oluşma görüntüsü

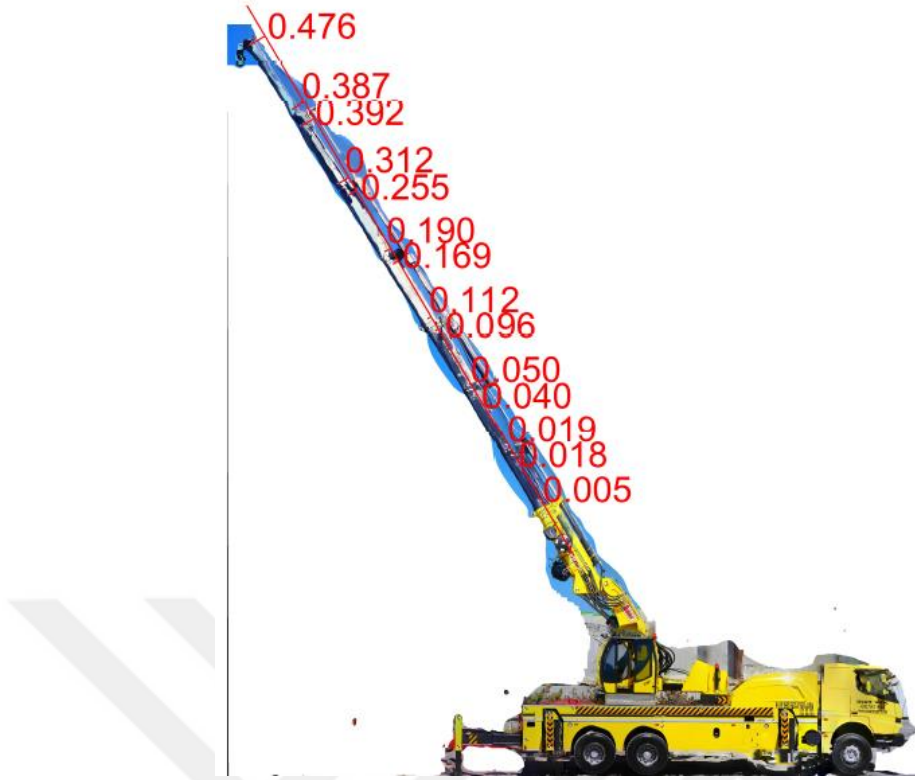
Şekil 4.16’da mobil vincin tüm bomları zeminle 30° açı yapacak şekilde uzatılarak bomun en uç kısmında yük yok iken ,2500 kg yük alınarak ve 4100 kg yük alınarak her bomda ayrı ayrı oluşan sehim miktarı gösterilmiştir. Kırma bom referans alındığından sehim oluşmamakta ve bomların en ucunda maksimum sehim tespit edilmiştir.



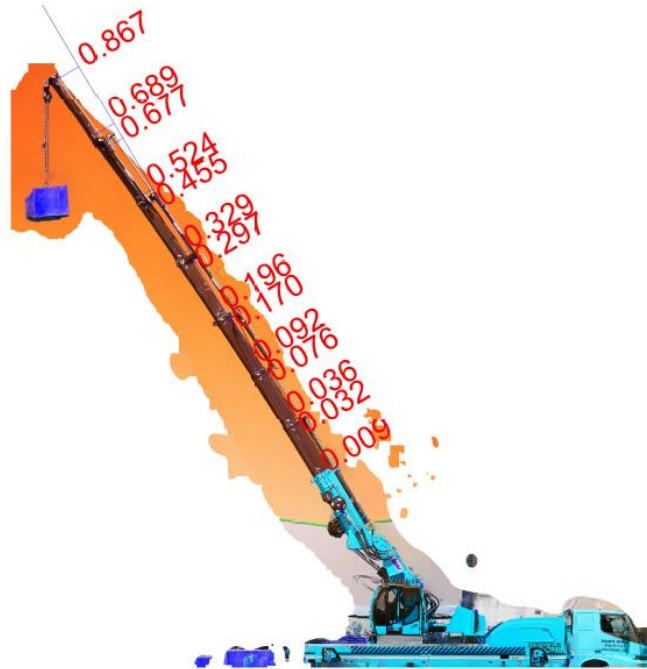
Şekil 4.16. Bomlar 30° konumunda iken sehim miktarları

Şekil 4.17’de mobil vincin tüm bomları zeminle 60° açı yapacak şekilde uzatılarak yük almadan oluşan sehim miktarı dijital fotogrametrik ölçüm yöntemi ile tespit edilmiştir. Kırma bom referans eksenine göre her bom üzerinde bulunan hedef noktaları ayrı ayrı dijital fotogrametrik analiz programında sehim miktarları metre cinsinden tespit edilmiştir.

Şekil 4.18’de mobil vincin tüm bomları zeminle 60° açı yapacak şekilde uzatılarak bomun en uç kısmından 2500 kg yük alınarak oluşan sehim miktarı dijital fotogrametrik ölçüm yöntemi ile tespit edilmiştir. Kırma bom referans eksenine göre her bom üzerinde bulunan hedef noktaları ayrı ayrı dijital fotogrametrik analiz programında sehim miktarları metre cinsinden tespit edilmiştir.

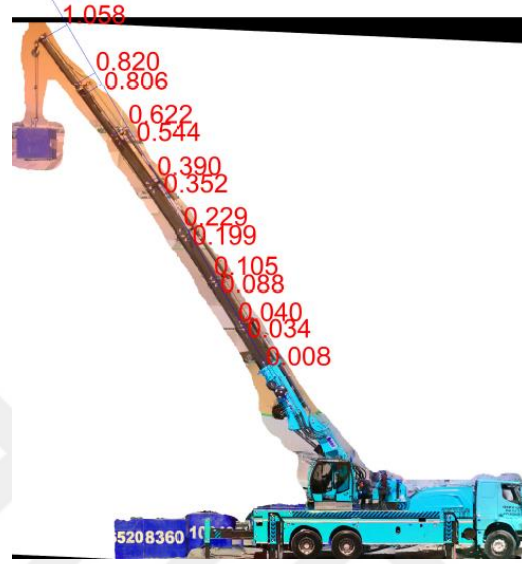


Şekil 4.17. Mobil vinçte yük yokken 60° konumundaki sehimin oluşma görüntüsü



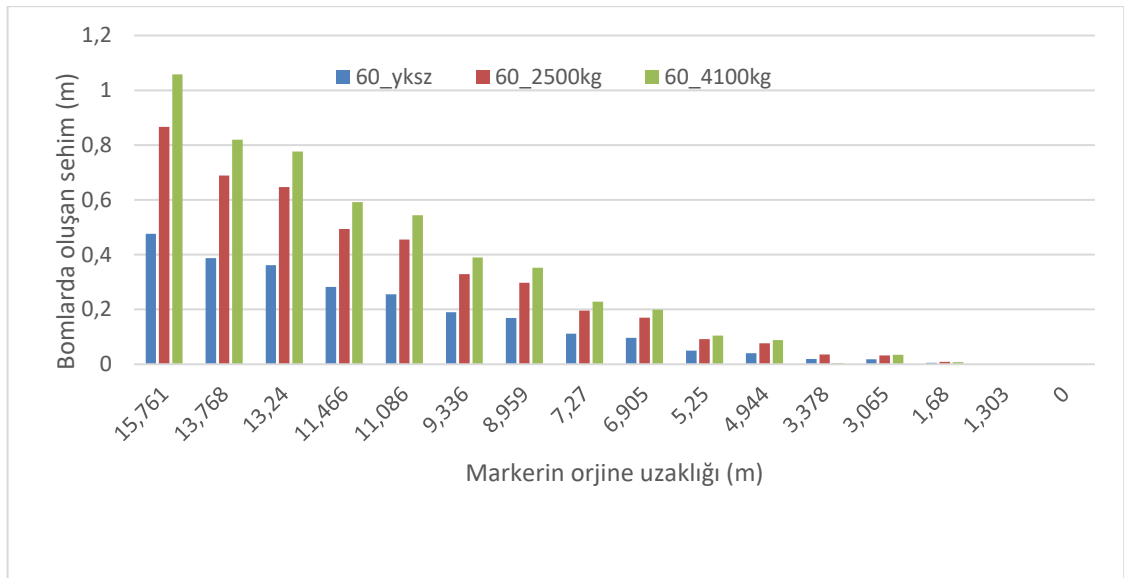
Şekil 4.18. Mobil vinçte 2500 kg yükteki 60° konumundaki sehimin oluşma görüntüsü

Şekil 4.19’da mobil vincin tüm bomları zeminle 60° açı yapacak şekilde uzatılarak bomun en uç kısmından 4100 kg yük alınarak oluşan sehim miktarı dijital fotogrametrik ölçüm yöntemi ile tespit edilmiştir. Kırma bom referans eksenine göre her bom üzerinde bulunan hedef noktaları ayrı ayrı dijital fotogrametrik analiz programında sehim miktarları metre cinsinden tespit edilmiştir.



Şekil 4.19. Mobil vinçte 4100 kg yükteki 60° konumundaki sehimin oluşma görüntüsü

Şekil 4.20’de mobil vincin tüm bomları zeminle 60° açı yapacak şekilde uzatılarak bomun en uç kısmında yük yok iken, 2500 kg yük alınarak ve 4100 kg yük alınarak her bomda ayrı ayrı oluşan sehim miktarı gösterilmiştir. Kırma bom referans alındığından sehim oluşmamakta ve bomların en ucunda maksimum sehim tespit edilmiştir.



Şekil 4.20. Bomlar 60° konumunda iken sehim miktarları

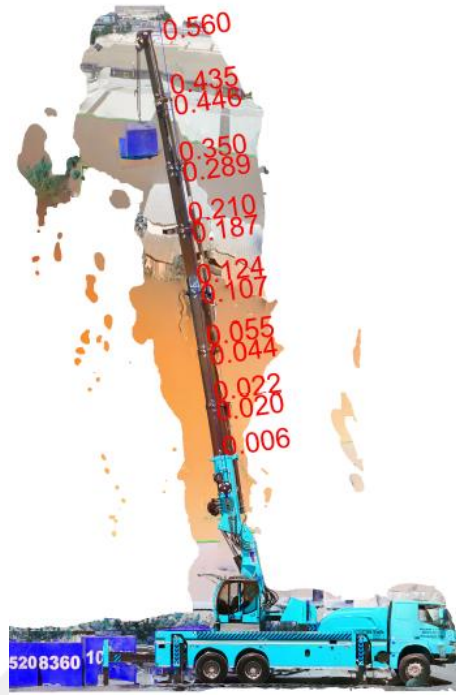
Şekil 4.21’de mobil vincin tüm bomları zeminle 82° açı yapacak şekilde uzatılarak yük almadan oluşan sehim miktarı dijital fotogrametrik ölçüm yöntemi ile tespit edilmiştir. Kırma bom referans eksenine göre her bom üzerinde bulunan hedef noktaları ayrı ayrı dijital fotogrametrik analiz programında sehim miktarları metre cinsinden tespit edilmiştir.



Şekil 4.21. Mobil vinçte yük yokken 82° konumundaki sehimin oluşma görüntüsü

Şekil 4.22’de mobil vincin tüm bomları zeminle 82° açı yapacak şekilde uzatılarak bomun en uç kısmından 2500 kg yük alınarak oluşan sehim miktarı dijital fotogrametrik ölçüm yöntemi ile tespit edilmiştir. Kırma bom referans eksenine göre her bom üzerinde bulunan hedef noktaları ayrı ayrı dijital fotogrametrik analiz programında sehim miktarları metre cinsinden tespit edilmiştir.

Şekil 4.23’de mobil vincin tüm bomları zeminle 82° açı yapacak şekilde uzatılarak bomun en uç kısmından 4100 kg yük alınarak oluşan sehim miktarı dijital fotogrametrik ölçüm yöntemi ile tespit edilmiştir. Kırma bom referans eksenine göre her bom üzerinde bulunan hedef noktaları ayrı ayrı dijital fotogrametrik analiz programında sehim miktarları metre cinsinden tespit edilmiştir.

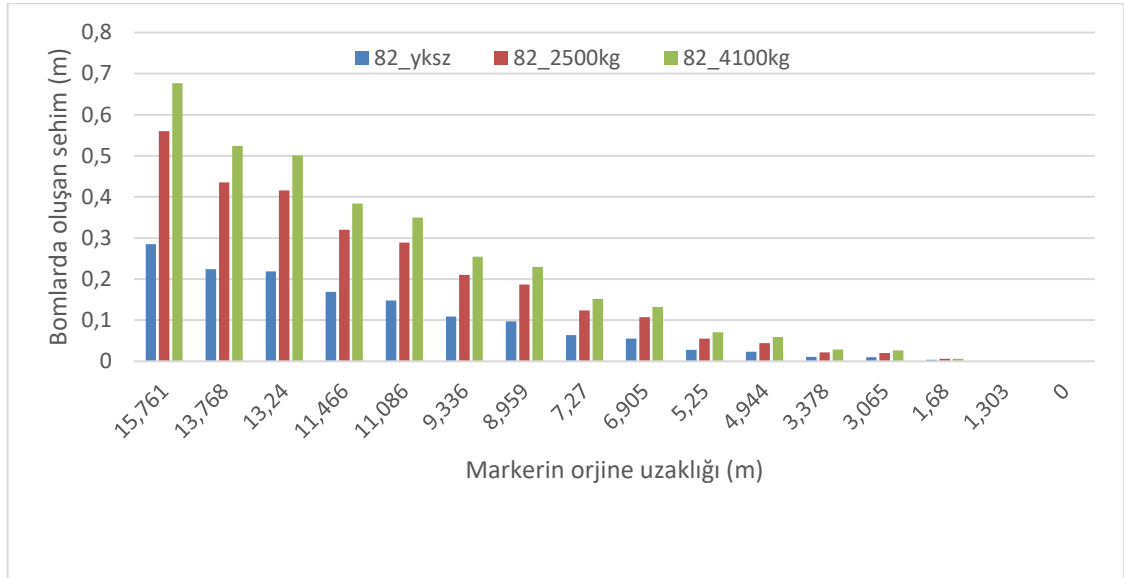


Şekil 4.22. Mobil vinçte 2500 kg yükteki 82° konumundaki sehimin oluşma görüntüsü



Şekil 4.23. Mobil vinçte 4100 kg yükteki 82° konumundaki sehimin oluşma görüntüsü

Şekil 4.24’de mobil vincin tüm bomları zeminle 82° açı yapacak şekilde uzatılarak bomun en uç kısmında yük yok iken, 2500 kg yük alınarak ve 4100 kg yük alınarak her bomda ayrı ayrı oluşan sehim miktarı gösterilmiştir. Kırma bom referans alındığından sehim oluşmamakta ve bomların en ucunda maksimum sehim tespit edilmiştir.



Şekil 4.24. Bomlar 82° konumunda iken sehim miktarları

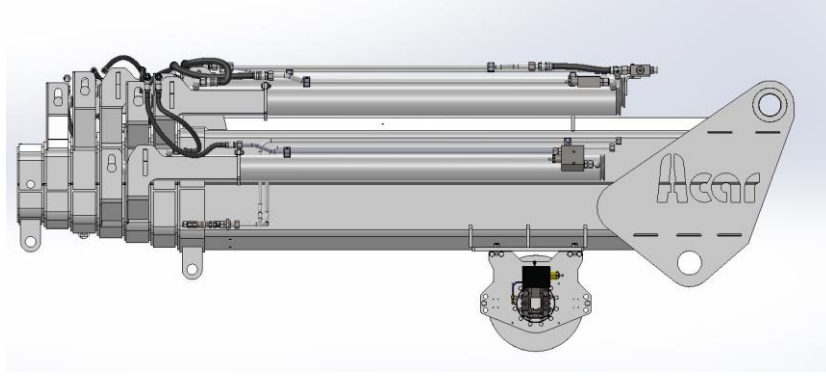
Mobil vincin en uç noktasındaki açı ve yük etkisine göre fotogrametrik ölçüm sonuçları Çizelge 4.3’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.3. Fotogrametrik ölçüm sonuçları

		Yük		
		0 kg	2500 kg	4100 kg
Açı	0 °	0.649 m	1.147 m	1.458 m
	30 °	0.561 m	1.088 m	1.386 m
	60 °	0.476 m	0.867 m	1.058 m
	82 °	0.285 m	0.560 m	0.677 m

4.2. ANSYS Analiz Sonuçları

AC 130 TM KÇ 7 tipi mobil vincin 1. kırma bom grubunun analizinin bilgisayar ortamında sehim hesabı için öncelikle SolidWorks (CAD) programında modelin uygunluğunun kontrol edilmesi gerekmektedir. Şekil 4.25’te görünen modelin ANSYS (CAE) analiz programına aktarılıp sonlu elemanlar analizinin yapılması planlanmaktadır.

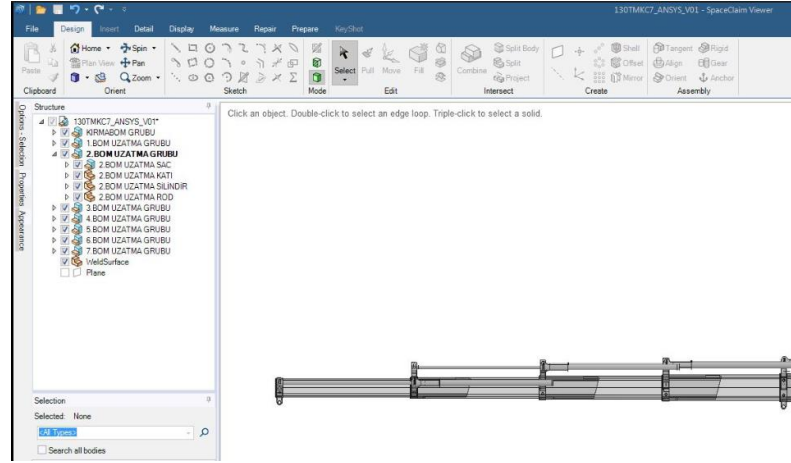


Şekil 4.25. Mobil vinç kırma bom grubu yan görünüş

4.2.1. ANSYS için 3D modelin kontrol edilmesi ve analiz aşamaları

- SolidWorks programında sac levha olan parçaların sac levha komutu ile diğer parçalar ise parça çizimi komutu ile çizildiğinden emin olunmalıdır. Bom ve diğer parçaların montajının doğruluğu kontrol edilmelidir.
- Montajda parçaların bazı bölgelerinin ya da tamamının diğer parça ile çakışması; çakışmaları algıla (interference check) ile kontrol edilmeli varsa çakışmalar düzeltilmelidir.
- SolidWorks programında tasarlanan 3D katı model montaj modeli parasolid olarak kaydedilmelidir. (Parasolid yüzeyleri bölmediğinden dolayı tercih edilmektedir.)
- Hazırlanan bu model ANSYS programının modülü olan Space claim ortamına aktarılmalıdır.
- Midsurface komutu ile sacların orta düzleminden olacak şekilde yeni yüzeyler (shell-kabuk) atanmalıdır.
- Analiz çalışması bu yüzeyler ile yapılmalı bu sayede node sayısı azaltılarak mesh kalitesinin artması sağlanmalıdır.
- Engineering data bölümüne de gerekli malzeme verileri tanımlanmalıdır.
- Modelde bulunan elektronik ürünler ve yapısal açıdan herhangi bir önem arz etmeyen detaylar katı modelden çıkarılmalıdır. Bu modellerin sadece ağırlık bilgileri analize eklenmelidir.
- Model, kabuk parça (shell body) ve katı parça (solid body) olarak modellenmekle birlikte ayrıca kalınlık bilgileri her bir kabuk parça için tanımlanmalıdır.

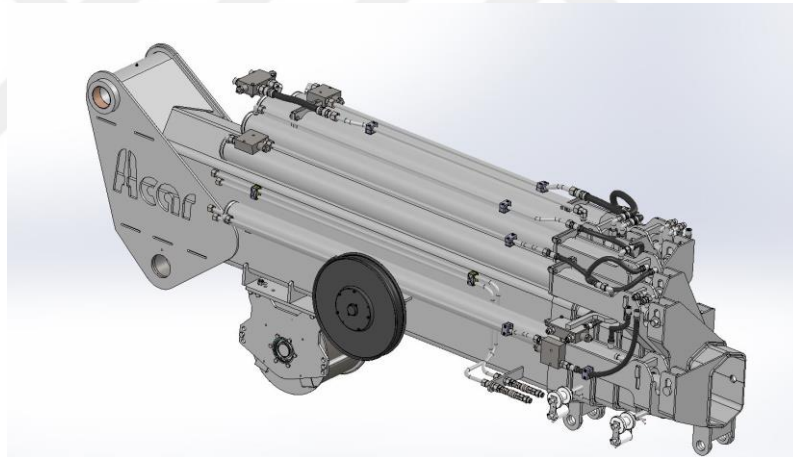
Modelde parçalar bulundukları bölgelere ve işlevlerine göre sınıflandırılacaktır. Bahsedilen sınıflandırma Kırma Bomu, 1. Uzatma Bomu, 2. Uzatma Bomu, 3. Uzatma Bomu, 4. Uzatma Bomu, 5. Uzatma Bomu, 6. Uzatma Bomu ve 7. Uzatma Bomu şeklinde olacaktır. (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Space Claim model ekran görüntüsü

4.2.2. Üç boyutlu katı modelin oluşturulması ve analize hazırlık

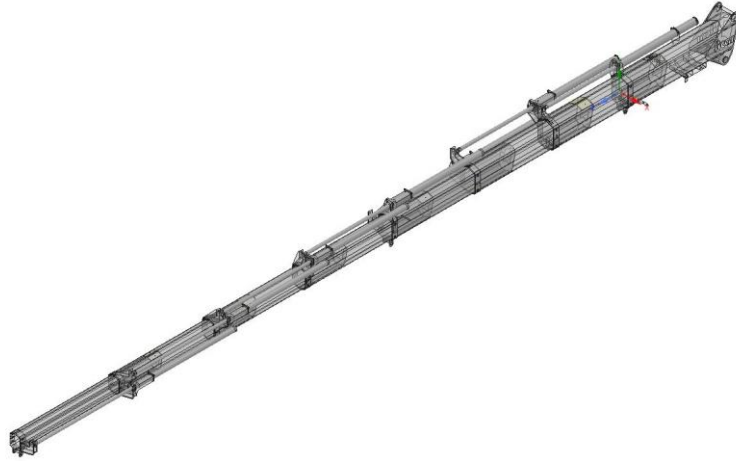
AC 130 TM KC 7 mobil vinç modeli 3D modelleme programı olan Solidworks ortamında modellenmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Mobil vinç kırma bom grubunun Solidworks 3D modeli

Bom yapısının toplam kütlesi 3590 kg, halat tamburu 270 kg ve hortum tamburu 30 kg olarak tespit edilmiştir. Bütün bomlar maksimum uzatılmış ve yapısal analize dahil edilmeyecek olan parçalar silinmiştir.

Kırma bom ve 7 uzatma bom ayrı ayrı gruplandırılmıştır. Her grup sac, katı, rod ve silindir olarak gruplara ayrılmıştır. Midsurface komutu ile sacların orta düzleminden olacak şekilde yeni yüzeyler (shell-kabuk) atanmıştır. Analiz çalışmalarının yüzeyler ile yapılması node sayısı azaltılarak mesh kalitesinin artması sağlanmıştır. Model, kabuk parça (shell body) ve katı parça (solid body) olarak modellenmekle birlikte ayrıca kalınlık bilgileri her bir kabuk parça için tanımlanmıştır (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. ANSYS SpaceClaim’de mobil vincin bomlarını katı ve sac modeli

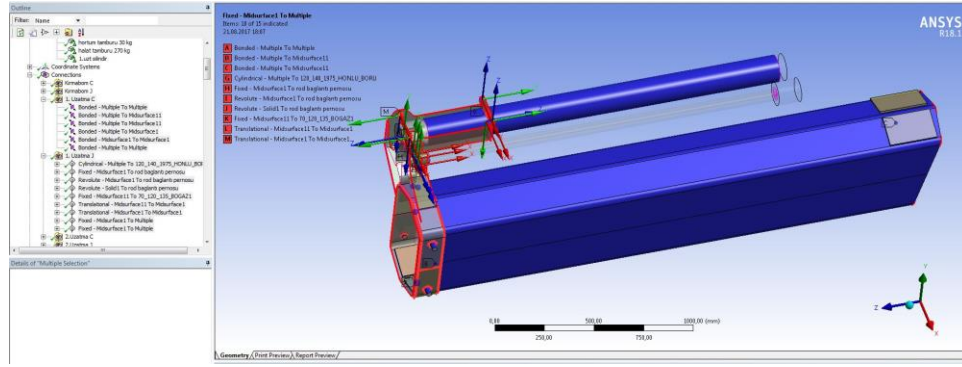
ANSYS Engineering data bölümüne de gerekli malzeme verileri tanımlanmıştır. Bom yapısındaki bütün sac parçalar için Optim 700 MC çelik malzeme; pernolar için 4140 çelik malzeme ve bom yatakları için kestamid malzeme tanımlaması yapılmış olup Çizelge 4.4’de mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. Bom grubunda kullanılan yarı mamul malzemelerin mekanik özellikleri

Malzeme	Çelik Optim 700 MC	Çelik 4140	Kestamid
Yoğunluk [kg/m ³]	7850	7850	1150
Elastisite Modülü [GPa]	200	200	4
Poisson Oranı	0.30	0.30	0.37
Akma Dayanımı [MPa]	700	650	78

Sacların birbirilerine olan bağlantıları bağlantı komutu ile kaynaklı imalatla olduğu gibi bağlanmıştır. Kaynatılmadan bağlanan parçalar ise mafsallı bağlantı komutu ile tanımlanmıştır.

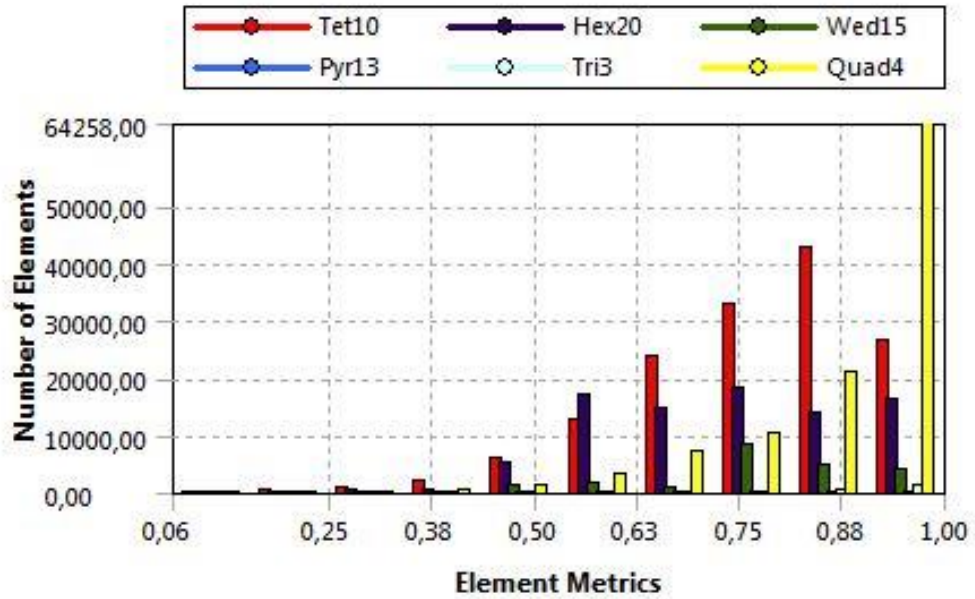
ANSYS’te bu modelin kendi içindeki bağlantılarını tanımlamak için 64 bölgesel bağlantı, 79 mafsallı, 12 kuvvet, 39 sabit bağlantı ve 3 ağırlık noktası kullanılmıştır (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. ANSYS bağlantı ve mafsal komutlarının genel görünümü

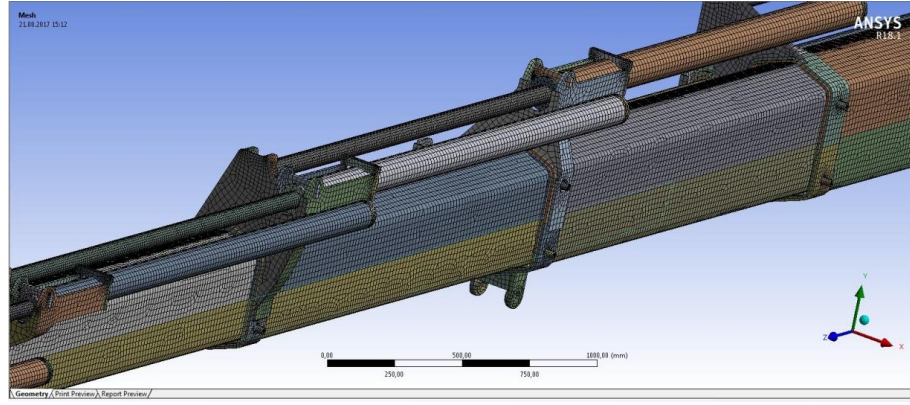
4.2.3. Mesh yapısı

Mesh yapısında 942794 düğüm ve 362491 bölünmüş eleman elde edilmiş olup bölünmüş eleman kalitesi yaklaşık %79,89'dır. Standart Sapma 0.1496'dır. Şekil 4.30'da bölünmüş eleman tiplerinin dağılım oranları gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Element tiplerinin dağılım miktarları ve oranları

Şekil 4.31'de mesh görüntüleri gösterilmiştir. Mesh yapıları üç boyutlu parçaların geometrik yapısına uygun şekilde belirlenmektedir. Eğer mesh yapısı bölünmüş elemanlara uygun şekilde bağlanmazsa analizin çözülmesi zorlaştığı gibi doğru sonuçlardan uzaklaşılır.



Şekil 4.31. Mesh görünümü

4.2.3.1. Eleman tipi ve boyutuna karar vermek

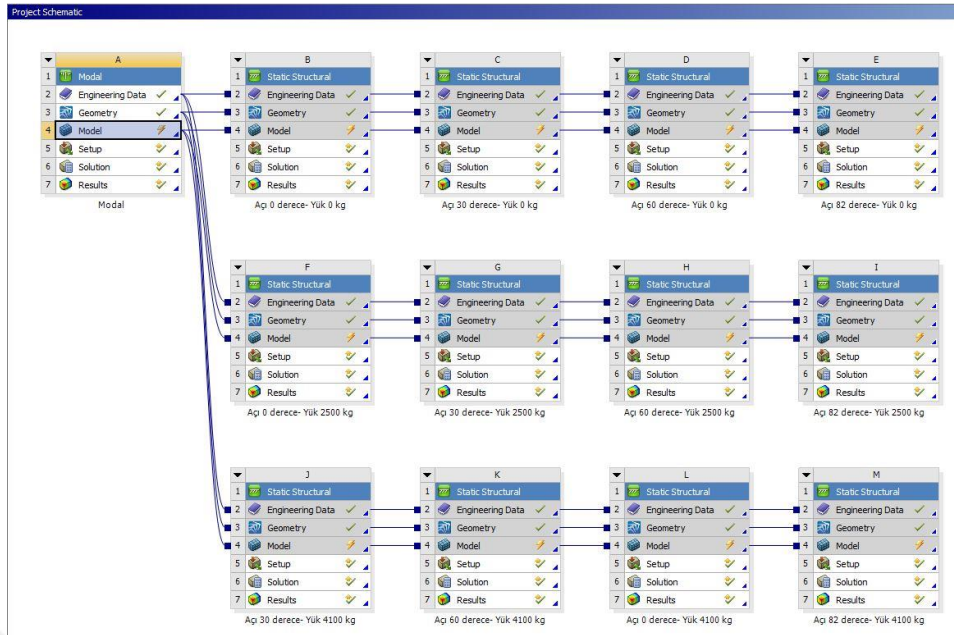
Sonlu elemanlarda gerçeğe yakın bir sonuç elde edebilmek için uygun eleman tipinin seçimi ve gerekli sayıda kullanılması önemli bir husustur. Kullanılan elementlerin büyüklüğü hesaplama alanı içindeki değişimleri yansıtacak kadar küçük olması istenir. Gereksiz çok sayıda eleman kullanılması istenilmez. Bu durumda hem fazla hesaplama zamanı harcanır hem de sayısal hesaplamalarda oluşabilecek bir hatanı artmasına neden olacaktır. Gerilmelerin yoğun olduğu bölgeler gibi sonucu daha fazla etkileyen kısımlarda element boyutları düşürülmelidir.

Bölünmüş elemanlarda müsaade edilecek biçim bozukluklarına dikkat edilmelidir:

Geometrik şekil bölünmüş elemanlarla örülürken şeklin karmaşık olması durumlarında ya da uygun element ağının oluşturulamadığı durumlarda bazı bölgelerde bölünmüş elemanlar aşırı derecede şekil bozukluğuna uğrar. Bu gibi yerlerde elementlerin şekil bozukluğunun kabul edilebilir sınırlar içinde olmasına dikkat edilmelidir. Mesh yaparken (element ağı örülürken) kontrolü tamamen programa bırakmak bazen bu sonucu verebilir. Bu nedenle mesh yapmadan önce hangi kenarların ne kadar parçaya bölüneceği, ya da o bölgelerde kullanılacak element boyutlarının ne olacağı gibi bazı kararların kullanıcının alması gerekir (Çayıroğlu, 2018).

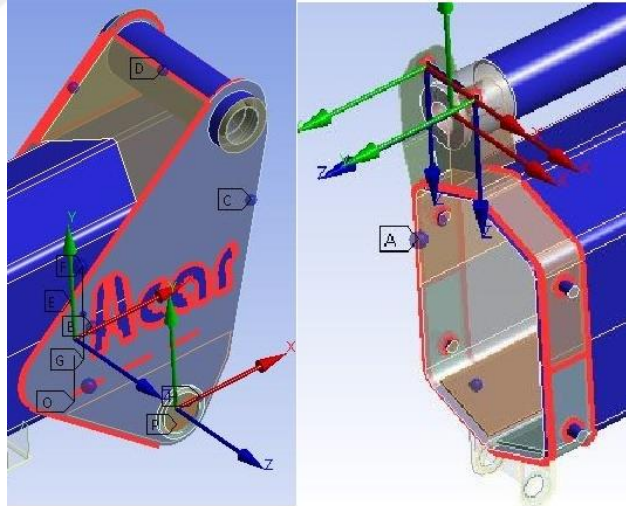
4.2.4. Sınır şartları

Analizi yapılacak olan modelin sınır şartları belirlenerek analiz programına bilgilerin girilmesi gerekmektedir. Farklı bom açılarında ve farklı yüklemelerde göz önünde bulunarak Şekil 4.32’de gösterildiği gibi 12 farklı analiz hesaplama yapılmasına karar verilmiştir.



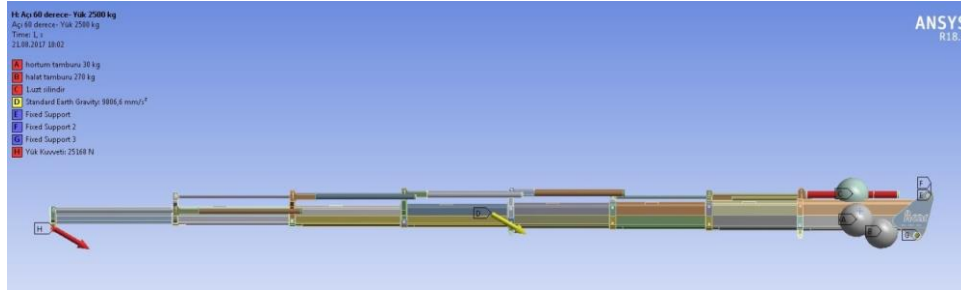
Şekil 4.32. ANSYS bom analiz bağlantı diyagramı

Sınır şartları Şekil 4.33 ‘da görüldüğü gibi E, F ve G yüzeylerinden bom grubu sabitlenmiştir. H yüzeyine ise yük kuvveti eklenmiştir. A, B ve C noktalarına noktasal yük eklenmiştir.



Şekil 4.33. Bom analizinin bağlantı gösterimi

Şekil 4.34’de yer çekim ivmesinin yönünü göstermekte olup; bom açılarını değiştirmek yerine yer çekim ivmesi yönü değiştirilmiştir.



Şekil 4.34. Sınır şartları 60° 2500 kg yük etkisinde

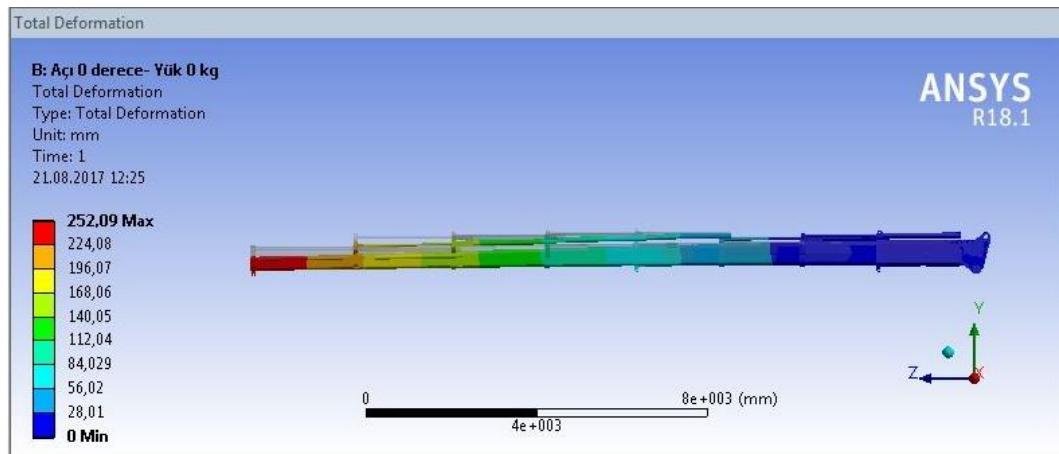
4.2.5. ANSYS analiz sonuçlarının elde edilmesi

Solidworks programında üç boyutlu tasarım tamamlandıktan sonra ANSYS Space Claim modülünde ise üç boyutlu model statik analize uygun hale getirilmiştir. Gerekli malzeme parametreleri tanımlanmıştır. Halat tamburu ve hortum tamburu gibi sabit ağırlıktaki parçalar yük olarak modele eklenmiştir.

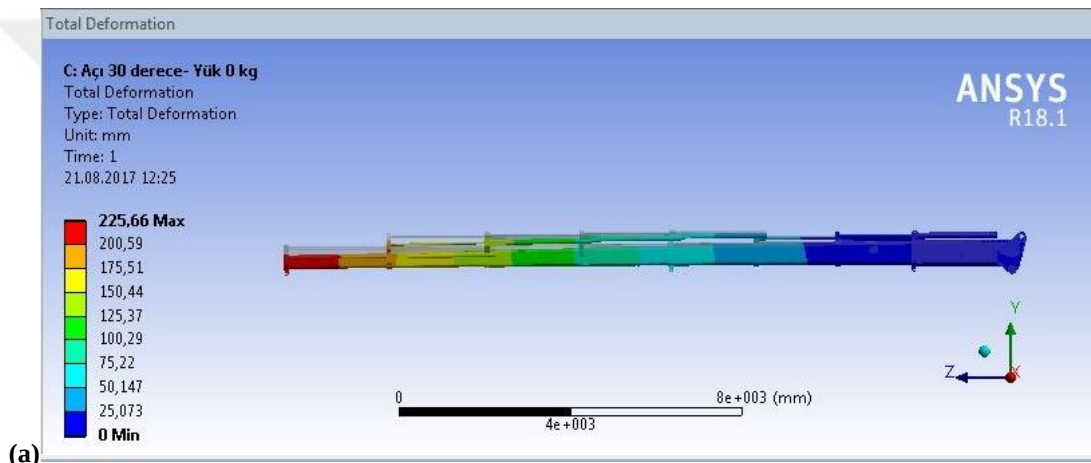
Analiz sonuçlarının gerçeğe yakın sonuçlar verebilmesi için mesh kalitesinin artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu yüzden analiz için tercih edilen 3D modelin sac levha değil kabuk model olması gerektiği belirlenmiştir.

Yukarıda belirtilen genel tanımlamalar yapıldıktan sonra toplamda 12 farklı statik analiz yapılmıştır. Sonuçları aşağıdadır;

- Bom ucunda bulunan kancada herhangi bir yük asılı değilken (yüksüzken) ve bom açısı zeminle 0° iken maksimum sehim miktarı 252,09 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.35a).
- Bom ucunda bulunan kancada herhangi bir yük asılı değilken (yüksüzken) ve bom açısı zeminle 30° iken maksimum sehim miktarı 225,66 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.35b).
- Bom ucunda bulunan kancada herhangi bir yük asılı değilken (yüksüzken) ve bom açısı zeminle 60° iken maksimum sehim miktarı 143,81 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.35c).
- Bom ucunda bulunan kancada herhangi bir yük asılı değilken (yüksüzken) ve bom açısı zeminle 82° iken maksimum sehim miktarı 70,897 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.35d).

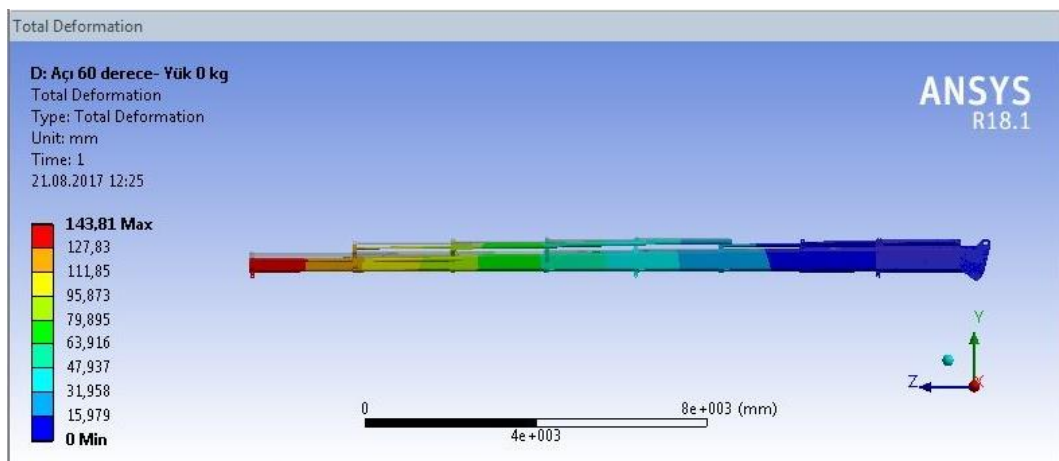


(a)

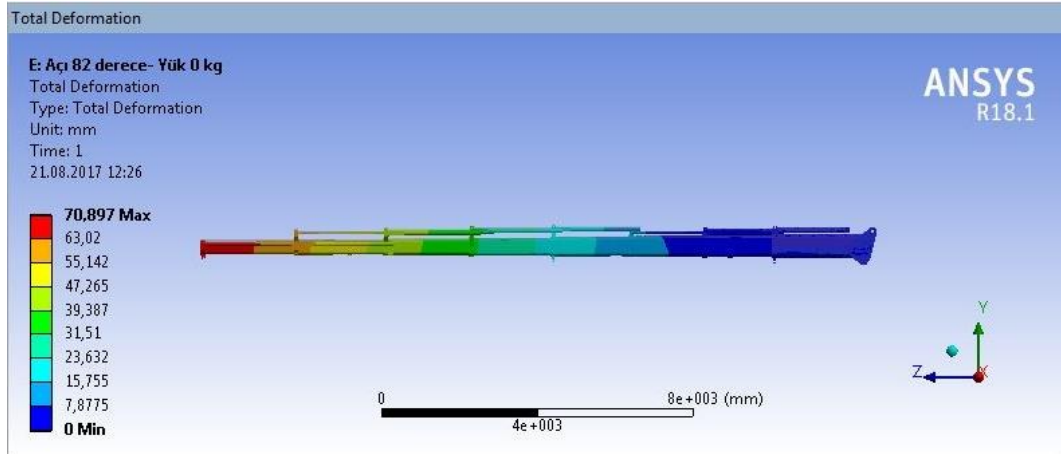


(a)

(b)



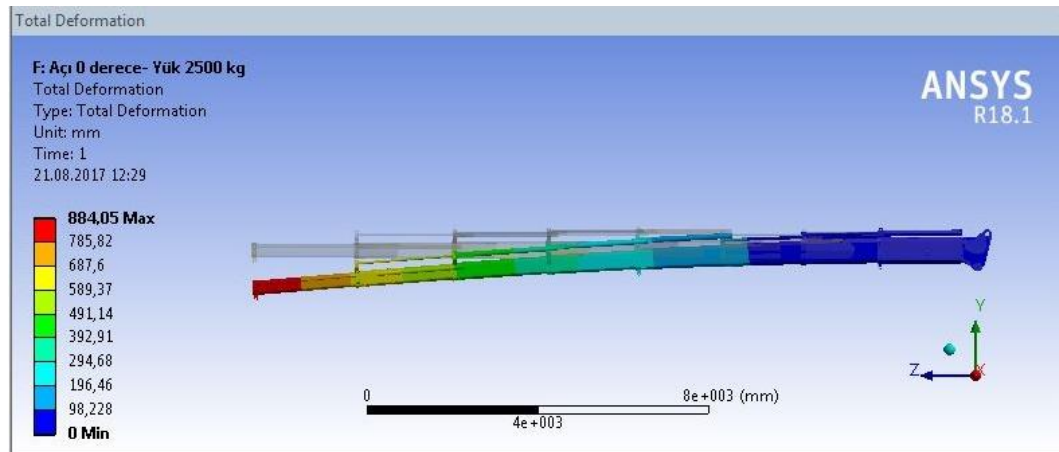
(c)



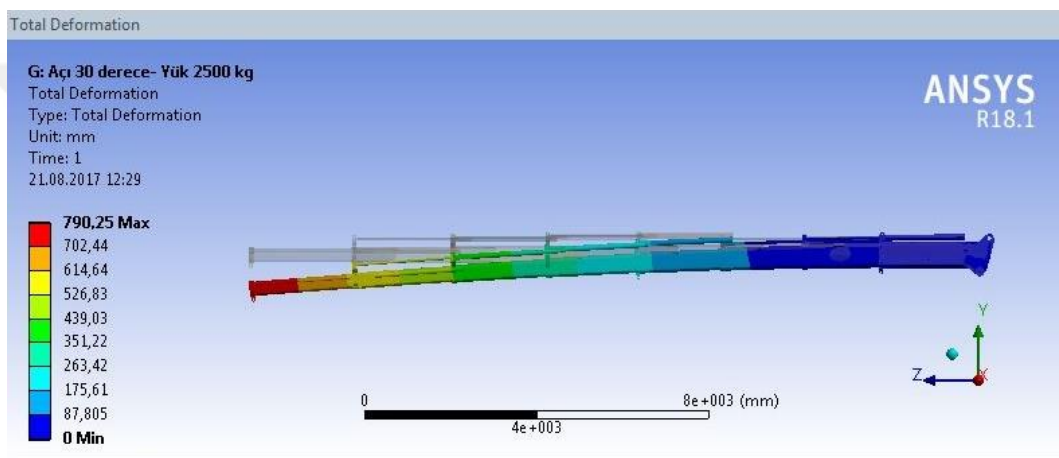
(d)

Şekil 4.35. Yük uygulanmadığı durumda sehim miktarındaki değişim **a)** 0° **b)** 30°, **c)** 60°, **d)** 82°

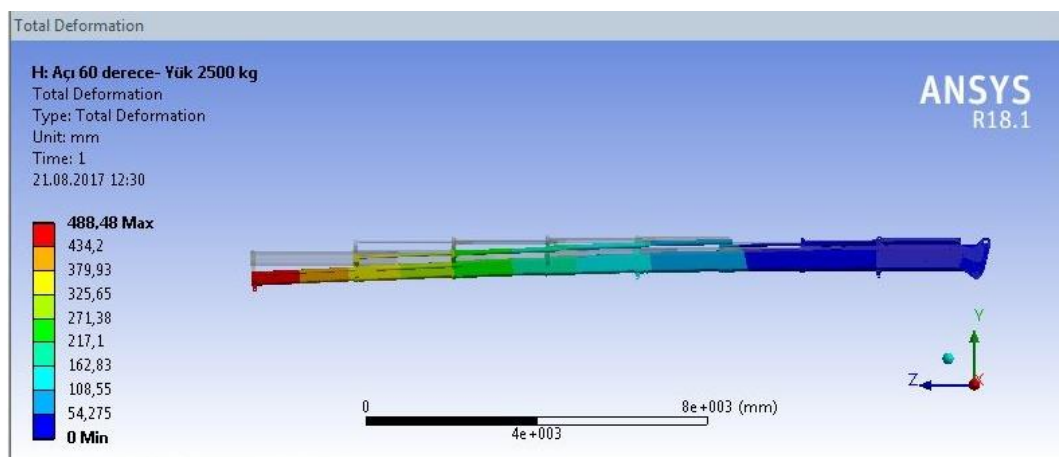
- Bom ucunda bulunan kancada 2500 kg yük asılı iken ve bom açısı zeminle 0° iken maksimum sehim miktarı 884,05 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.36a).
- Bom ucunda bulunan kancada 2500 kg yük asılı iken ve bom açısı zeminle 30° iken maksimum sehim miktarı 790,25 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.36b).
- Bom ucunda bulunan kancada 2500 kg yük asılı iken ve bom açısı zeminle 60° iken maksimum sehim miktarı 488,48 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.36c).
- Bom ucunda bulunan kancada 2500 kg yük asılı iken ve bom açısı zeminle 82° iken maksimum sehim miktarı 190,14 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.36d).



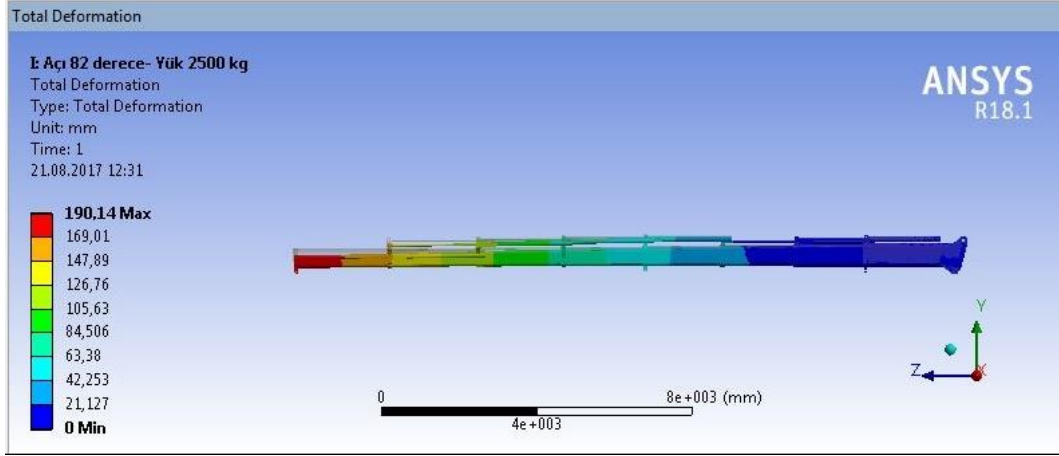
(a)



(b)



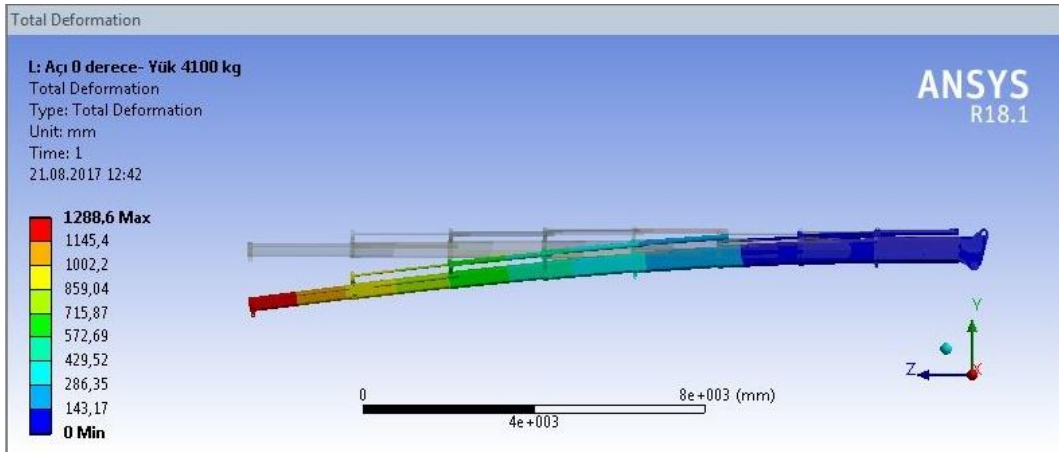
(c)



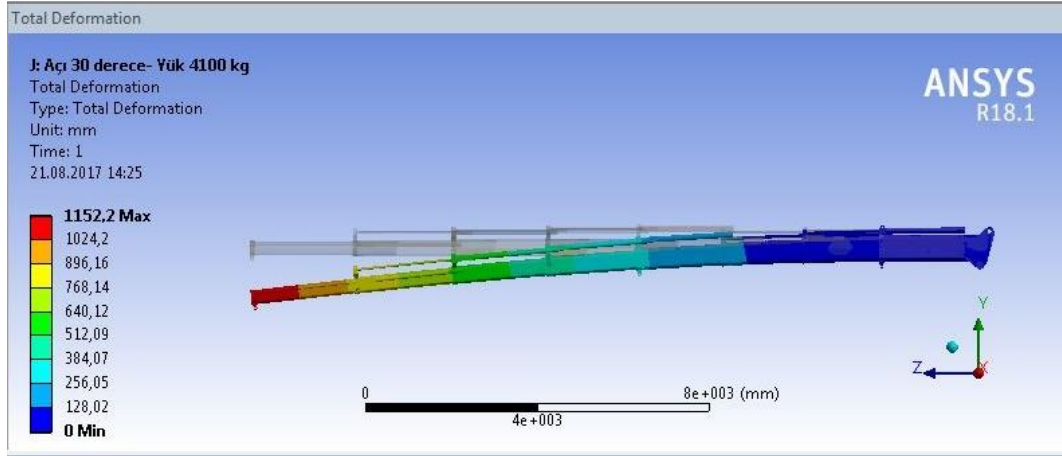
(d)

Şekil 4.36. 2500 kg yük uygulandığı durumda sehım miktarındaki değışim a) 0° b) 30°, c) 60°, d) 82°

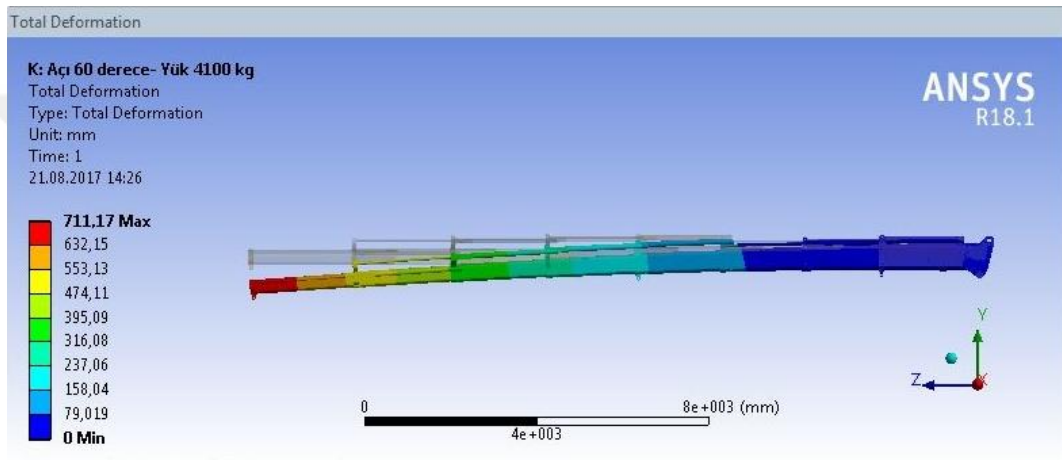
- Bom ucunda bulunan kancada 4100 kg yük asılı iken ve bom açısı zeminle 0° iken maksimum sehım miktarı 1288,6 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.37a).
- Bom ucunda bulunan kancada 4100 kg yük asılı iken ve bom açısı zeminle 30° iken maksimum sehım miktarı 1152,2 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.37b).
- Bom ucunda bulunan kancada 4100 kg yük asılı iken ve bom açısı zeminle 60° iken maksimum sehım miktarı 711,17mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.37c).
- Bom ucunda bulunan kancada 4100 kg yük asılı iken ve bom açısı zeminle 82° iken maksimum sehım miktarı 270,98 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.37d).



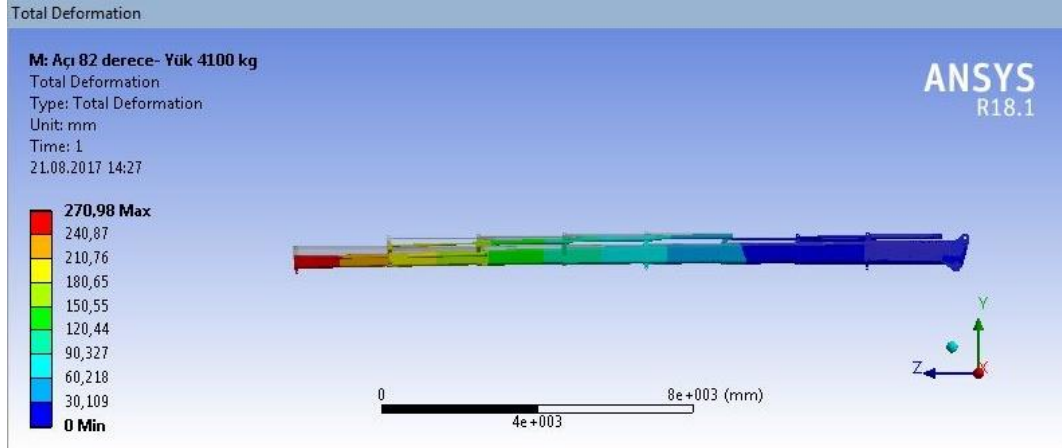
(a)



(b)



(c)



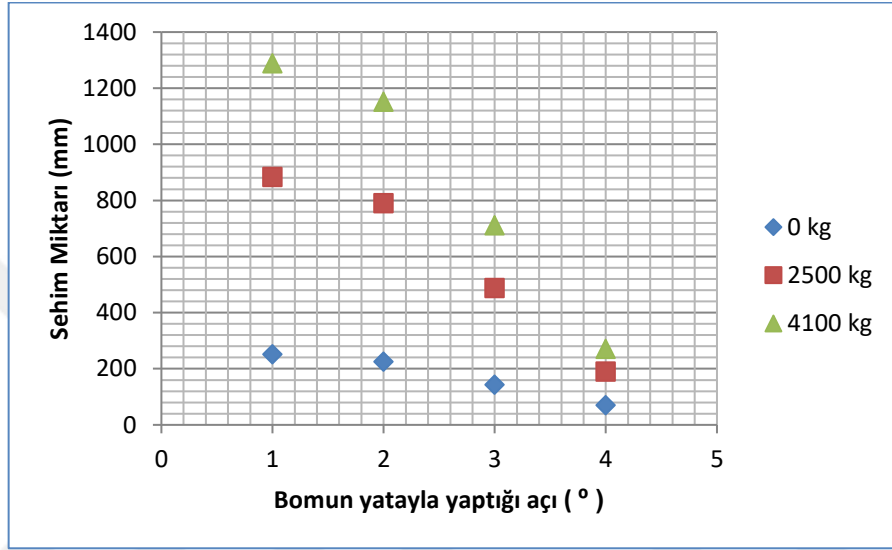
(d)

Şekil 4.37. 4100 kg yük uygulandığı durumda sehim miktarındaki değişim a) 0° b) 30°, c) 60°, d) 82°

Yukarıda SEA ile hesaplanan aç ı ve yüke bağı lı maksimum sehim miktarlarını gra-fiksel olarak Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Mobil vinç bomlarında açı ve yüke bağlı çözümleme sonucunda elde edilen sehim mesafeleri (sehim miktarları milimetre cinsindendir)

		Yük		
		0 kg	2500 kg	4100 kg
Açı	0 °	252,09	884,05	1288,6
	30 °	225,66	790,25	1152,2
	60 °	143,81	488,48	711,17
	82 °	71	190,14	270,98



Şekil 4.38. ANSYS analiz sehimi miktarları

Şekil 4.38’de gösterilen grafikte SEA sonucunda elde edilen bulgular şunlardır:

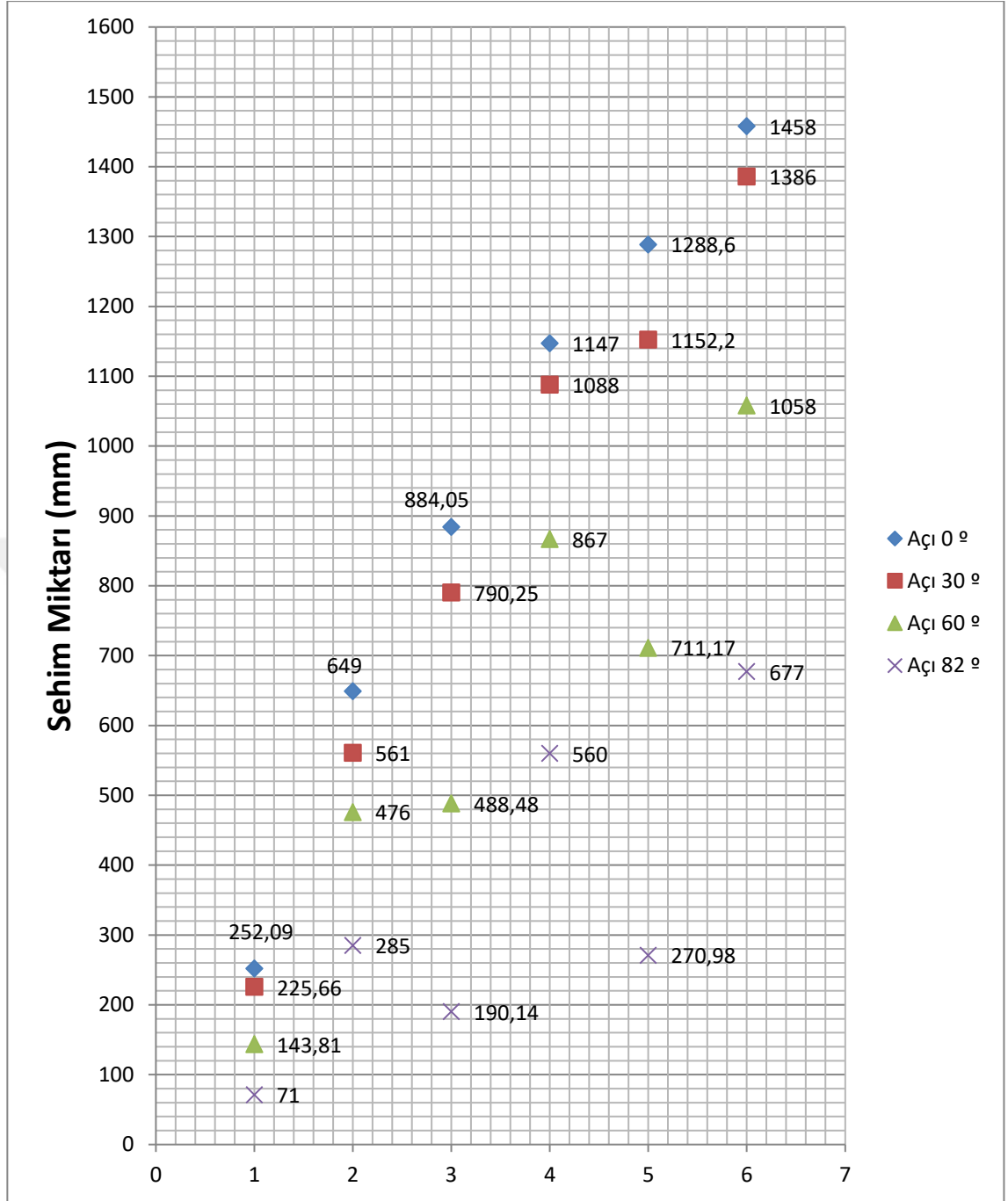
- Bomların en ucunda yük yokken bomun boşluklu yapısı ve kendi ağırlığından dolayı başlangıç sehimini mevcuttur.
- Bütün koşullar aynı kalmak şartıyla sadece bom açısı 82°’ye doğru artarsa yani bomlar yukarı dikilirse sehimi miktarı azalmıştır.
- 0°-30° bom açısı arası maksimum sehimi miktarı çok yavaş azalırken 30° bom açısı sonrası 82°’ye kadar hızlı bir şekilde azalmıştır.
- Bom açısı 82°’de iken sehimi miktarları neredeyse birbirine çok yakın bulunmuş olup bu açıda sehimin doğal sehimi değerini yakaladığı tespit edilmiştir.

4.3. Fotogrametrik ölçüm ve ANSYS analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Mobil vinç bomlarında meydana gelen sehimi fotogrametrik ölçüm sonuçları ve diğer hesaplama sonuçları ile karşılaştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Fotogrametrik ölçüm sonuçlarının diğer hesaplama yöntemlerine göre daha yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilmiştir (maksimum 2 mm hata).
- Fotogrametrik ölçüm sonuçları diğer yöntemlere göre daha kısa sürede elde edilmiştir. Fotogrametrik ölçüm yöntemiyle sonuçlar 1 günde çıkabilirken diğer yöntemler en az 2 hafta sürebilmektedir.
- Fotogrametrik ölçümde sehim; eksen boyunca ölçüldüğünden bölgesel iyileştirmeler ve yorumlar konusunda daha net fikirler sunmaktadır.
- Fotogrametrik ölçüm ile çevresel koşullar (rüzgâr hızı, sıcaklık vb.) doğrudan dikkate alınmıştır. Diğer metotlarda bunlar göz ardı edilmektedir.
- Mobil vincin bom yapısında imalat toleransları, bom boşlukları, tedarik edilen malzemelerin toleransları ANSYS’de hesaba katılamazken; fotogrametrik ölçümde tersine mühendislik yapıldığından bu parametrelerin hesaba katılmasına gerek duyulmamaktadır.
 - Ancak mobil vinç tasarım aşamasında ise yaklaşım yaparak ANSYS programının analiz etkisiyle yorumlama avantajı sınanabilmektedir.

Çizelge 4.6’da tabloda gösterilen sonuçlar Şekil 4.39’da grafiğe aktarılmış olup sonuçlar karşılaştırılmış ve ANSYS analiz sonuçları ve fotogrametrik ölçüm sonuçları ele alındığında büyük farkların olduğu ve bazı şeylerin yanlış gittiği fark edilmiştir.



Şekil 4.39. ANSYS analiz fotogrametrik ölçüm sehim mesafeleri

Çizelge 4.6 ANSYS ve fotogrametrik ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

ANSYS ANALİZ SONUÇLARI		Yük (kg)		
		0 kg	2500 kg	4100 kg
Açı	0 °	252,09	884,05	1288,6
	30 °	225,66	790,25	1152,2
	60 °	143,81	488,48	711,17
	82 °	71	190,14	270,98

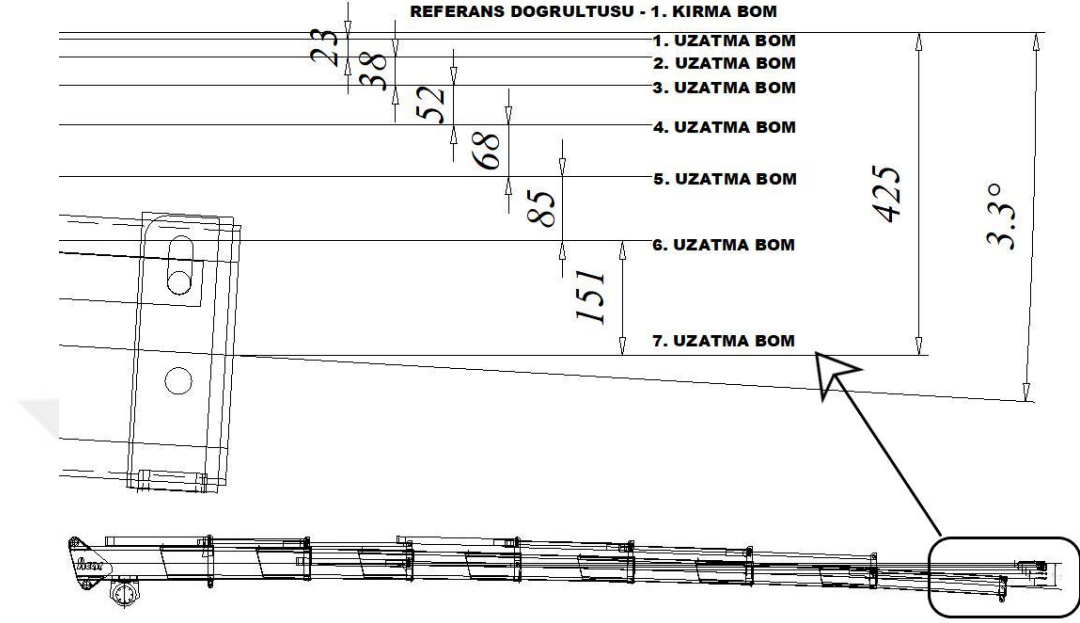
FOTOGRAMETRİK ÖLÇÜM SONUÇLARI		Yük (kg)		
		0 kg	2500 kg	4100 kg
Açı	0 °	649	1147	1458
	30 °	561	1088	1386
	60 °	476	867	1058
	82 °	285	560	677

ANSYS ANALİZ VE FOTOG- RAMETRİK ÖLÇÜM FARK DEĞERLERİ (mm)		Yük (kg)		
		0 kg	2500 kg	4100 kg
Açı	0 °	396,91	262,95	169,4
	30 °	335,34	297,75	233,8
	60 °	332,19	378,52	346,83
	82 °	214	369,86	406,02

ANSYS analiz sonuçları ve fotogrametrik ölçüm sonuçları arasında ki bu farkın en başında iç içe geçmiş bomlarda yer çekimi ihmal edildiğinde bomların kendi yapısından dolayı bomun içinde kalan bom üst duvar kestamidi ile bom arasında 3-4 mm boşluk belirlenmiştir. Bu boşlukları birbiri ile temas ettirdiğimizde bom tarafsız ekseninden aşağı doğru kaymaktadır. Bunu her bom için ayrı ayrı temas ettirecek olursak rijit boşluktan dolayı oluşan sehim mesafesi hesaplanmış olabilir.

Fotogrametrik ve ANSYS sonuçlarındaki farklılık incelendiğinde rijit bomboşluklarının hesaba katılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Böylece rijit bom boşluklarının tespit edilebilmesi için Autocad 2D programı tercih edilmiştir (Şekil 4.40). Bomların arka üst bölgesinde bulunan kestamitler dinamik olarak içine geçtiği bomun iç yüzeyine

temas ettirilmiştir. Bu işlem tüm bomlar için gerçekleştirilmiş olup ve rijit bom boşluğundan dolayı bomların en ucunda oluşan maksimum sehim miktarı yaklaşık 425 mm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.40. Rijit bom boşluklarından kaynaklanan sarkma mesafeleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Mobil vinç bomlarında meydana gelen sehim miktarı fotogrametrik yöntemle ve sonlu elemanlar analizi yöntemi ile hesaplanmıştır. Mühendislik ve tersine mühendislik çalışmaları belirgin bir şekilde ortaya konulmuştur.

Fotogrametrik ölçüm metotları ile mobil vinç bomlarında sehim miktarı hesaplanırken çevre koşulları, imalat toleransları, makine montaj toleransları da hesaba katılmıştır. Fotogrametrik ölçüm yöntemleri kullanarak sehim hesabını çok kısa sürede (1 günde) yapmanın mümkün olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçların diğer ölçüm yöntemlerine göre yüksek doğrulukta olduğu belirlenmiştir.

Sonlu elemanlar analiz programı ANSYS kullanarak mobil vinç bomlarında meydana gelen sehimin hesaplanmasında ise çevre koşulları, imalat toleransları, makine montaj toleransları göz ardı edilmiştir. Yani mobil vinç bomlarında kullanılan malzemenin homojen olduğu varsayılmış ve imalatın mükemmel seviyede sıfır hata ile yapıldığı kabul edilmiştir. Bunların mümkün olmadığı belli toleransların var olduğu bilinen bir gerçektir. Ayrıca sonlu elemanlar analizi yöntemiyle sehimin hesaplanması çok uzun sürede (en az 2 hafta) yapılabilmektedir. En önemli sorun ise analize yansıtılacak tüm koşullar ve parametreler her defasında programa aktarılarak hesaplamaların tekrarlanması gerektirmektedir.

Fotogrametrik ve ANSYS ile sehim ölçümü yapılan 12 durumda ortalama fark 312 mm iken toplam rijit bom boşluğu olan 425 mm eklenince ortalama hata 113 mm'ye düştüğü tespit edilmiştir. Bu farkın oluşmasında imalat ve çevresel koşullar etkin rol oynamaktadır.

Ayrıca fotogrametrik ölçüm sonucunda;

- 4.uzatma bomdan itibaren kırma bom tarafsız eksenine göre yaptığı açı daha büyük olduğu; bu da sehimini daha hızlı artırdığı tespit edilmiştir. Bomların montaj toleransları 4. uzatmaya kadar daha düşük iken; 4. uzatma bomundan itibaren daha büyük toleranslarda olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla imalatla belirlenen bom montaj toleranslarının sehimini doğrudan etkilediği sonucuna varılmıştır.
- Bomların rijit olduğu varsayıldığında bom montaj boşluğundan dolayı meydana gelen sehim miktarının mühendislik ölçüm yöntemlerinde (ANSYS vb.) dikkate alınması gerektiği belirlenmiştir.

- Sehim miktarının hesaplanmasında tersine mühendislik yani fotogrametrik ölçüm yönteminin yüksek doğrulukta ve kısa sürede çözümleme konusunda daha hassas olduğu tespit edilmiştir.
- Fotogrametrik ölçüm sonuçlarının daha yüksek doğrulukta olduğundan yapılan analiz çalışmalarını tekrar gözden geçirmek için Sonlu Elemanlar Analizi yönlendirdiği sonucuna varılmıştır.
- ANSYS seri imalatına henüz başlanmamış prototip vinçler için tasarıma yön vermek, güvenilir ve sağlam yapılar yapmak için ideal bir sonuçtur. Ama tasarım iyileştirme ve analize yön vermek için tersine mühendislik yöntemi tercih etmek büyük fayda sağladığı bu tez çalışması ile ispatlanmıştır.

5.2. Öneriler

Sehimi azaltmak için bom yapısında aşağıda özetlenen önlemler alınarak çözüm alternatifleri türetilmekle birlikte belli zorlukları da beraberinde getireceği göz önüne alınmalıdır. Temel öneriler şu şekilde sıralanabilir;

- 1. uzatma bom, 2. uzatma bom ve 3. uzatma bomunda; bom tabanlarında meydana gelen göçmeleri önlemek için bom yapımında kullanılan saclar Strenx S700 sac malzeme yerine daha yüksek mukavemetli Strenx S960 malzeme tercih edilebilir. Ama maliyet de göz önünde bulundurmak gerekir.
- Uzatma bom alt duvar sac kalınlığı artırılarak bom ataletinin artması ve bom yapısının da daha mukavemetli olması sağlanabilir.
- 1.uzatma bom, 2. uzatma bom ve 3. uzatma bom çalışma boşlukları azaltılabilir. Ancak bu durum montaj işlemlerini zorlaştıracaktır.
- Bomların birbiri içine giren kısımları kontrol edilerek 6. uzatma bom ve 7. uzatma bomu uzama mesafeleri azaltılabilir.
- Bomların birbirine göre ters açı verilebilir. Yani bomun kaydığı alt kestimid ve bomun arka üst kestimidin kalınlığı artırılarak çözüm üretilebilir.

KAYNAKLAR

- Aktaş, A. ve Tanık, C., 1999, Düzgün Yayılı Yüke Maruz Ortotropik Kompozit Ankestre Kirişte Şehim Hesabı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5 (1).
- An, J. Q., Qi, H., Liu, W. R. ve Wu, M., 2015, A calculation method of crane deflection considering the boom gap, *2015 10th Asian Control Conference (Ascc)*, 1-5.
- Avsar, Ö., Akca, D. ve Altan, O., 2014, Photogrammetric Deformation Monitoring of the Second Bosphorus Bridge in Istanbul, *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5, 71-76.
- Bakr Noori, K., 2013, Finite Element Analysis of the Boom of Crane Loaded Statically *Engineering & Technology Journal*, 31 (9 Part (A) Engineering), 1626-1639.
- Çayiroğlu, İ., 2018, Bilgisayar Destekli Tasarım Ve Analiz (Ansys), 6-7.
- Erdik, A., 2015, Portal Kren Gövdesinin Sonlu Elemanlarla Modellenmesi Ve Statik Gerilme Analizi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Figes, 2018, Ansys Nedir ? , (<http://www.figes.com.tr/ansys/ansys-nedir.php>), [Ziyaret Tarihi : 7 Temmuz 2018].
- Güder, E., 2015, Mobil Vinçlerde Teleskobik Bomların Optimizasyonu, *Selçuk University Journal of Engineering ,Science and Technology*, 1 (3), 22-22.
- Holst, C., Burghof, M. ve Kuhlmann, H., 2013, Modeling the beam deflection of a gantry crane under load, *Journal of Surveying Engineering*, 140 (1), 52-59.
- Jiang, R. ve Jauregui, D. V., 2010, Development of a digital close-range photogrammetric bridge deflection measurement system, *Measurement*, 43 (10), 1431-1438.
- Koçer, H., Ünüvar, A. ve Ersoyoğlu, A. S., 2010, Bilgisayar Destekli Hidrolik Mobil Vinç Tasarım, Analiz Ve Optimizasyonu.
- Li, B., Song, Z. L., Ke, Y. X. ve Liu, H. D., 2013, Analysis of Local Stress and Vertical Deflection of Down Chord of Inverted Triangle Cargo Boom of Tower Crane, *Advanced Designs and Researches for Manufacturing, Pts 1-3*, 605-607, 1212-1216.
- Predan, P. J., 2011, Leica TS30 Measures Lifting Cranes, 16-17.
- Rouvinen, A. ve Handroos, H., 1997, Deflection compensation of a flexible hydraulic manipulator utilizing neural networks, *Mechatronics*, 7 (4), 355-368.
- Samal, A. K., 2016, Analysis of Stress and Deflection of Cantilever Beam and its Validation Using ANSYS, *International Journal of engineering Research and Applications*, 1 (6), 119-126.
- Saman, S., 2014, History of Crane (<http://samanshafafzadeh.wixsite.com/mobile-crane/history>), [Ziyaret Tarihi : 5 Ağustos 2018].
- Solutions, S. E., 2014, What is Load Moment, 3-4.
- Xu, G.-N. ve Gao, G.-H., 2013, Displacement Calculation Method of Superlong Telescopic jib Structure Considering the Effect of Self Weight and Large Deformation, *Researches and Applications in Mechanical Engineering*, 2 (4), 99-104.
- Yılmaz, M., Karabörk, H., Yakar, M., 2000, Yersel Fotogrametrinin Kullanım Alanları, p.
- Yoneyama, S., Kitagawa, A., Iwata, S., Tani, K. ve Kikuta, H., 2007, Bridge deflection measurement using digital image correlation, *Experimental Techniques*, 31 (1), 34-40.
- Zicarelli, P., 1996, Industrial Close-Range Photogrammetry: A Dormant Technology Erupts, *Tappi Engineering Conference*, 145-148.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emrah SERT
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya / 07.09.1988
Telefon : 0541 358 0677
Faks :
e-mail : emrahsertlt@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Beyşehir Lisesi	2006
Üniversite	: Mersin Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık- Fakültesi Makina Müh. Böl. Çiftlikköy/MERSİN	2011
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim En- stitüsü Mak. Müh. A.B.D.Selçuklu/KONYA	
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2012	TEKGER MÜHENDİSLİK	Ar&Ge Mühendisi
2012-2013	Dirinler Şirket Grubu	Ar&Ge Mühendisi
2013-	Makina Prodüksiyon Grubu A.Ş.	Üretim Planlama Sorumlusu

UZMANLIK ALANI

Konstrüksiyon ve imalat, Hidrolik sistemler, Üretim Planlama, Üretim sistem geliştirme

YABANCI DİLLER

İngilizce

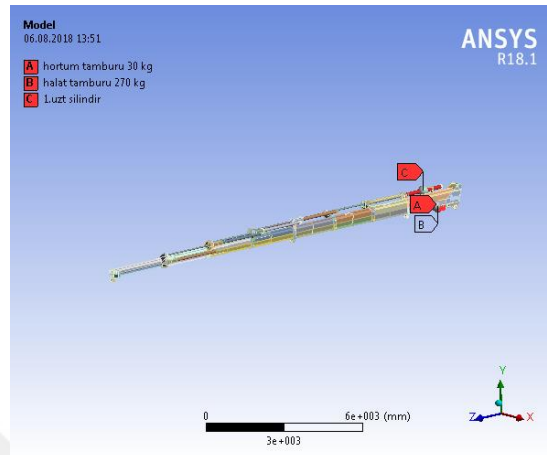
BELİRTMEK İSTEDİĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Sert, E. ve Bağcı, M., 2018, Mobil Vinç Bomlarındaki Sehim Kontrolünün ANSYS ve Alternatif Metodlarla Karşılaştırılması, *1.International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, 485-490.

EK-1 ANSYS Analiz Raporu

First Saved	Thursday, June 15, 2017
Last Saved	Monday, August 06, 2018
Product Version	18.1 Release
Save Project Before Solution	Yes
Save Project After Solution	Yes



Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Geometry

TABLE 2
Model (13 Systems) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\130TMKÇ7_ANALİZ\ANSYS\01082017\130TMKÇ7Analiz_files\dp0\SYS-3\DM\SYS-3.scdoc
Type	SpaceClaim
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	931,64 mm
Length Y	1045,7 mm
Length Z	17310 mm
Properties	
Volume	4,6211e+008 mm ³
Mass	3937,2 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	300

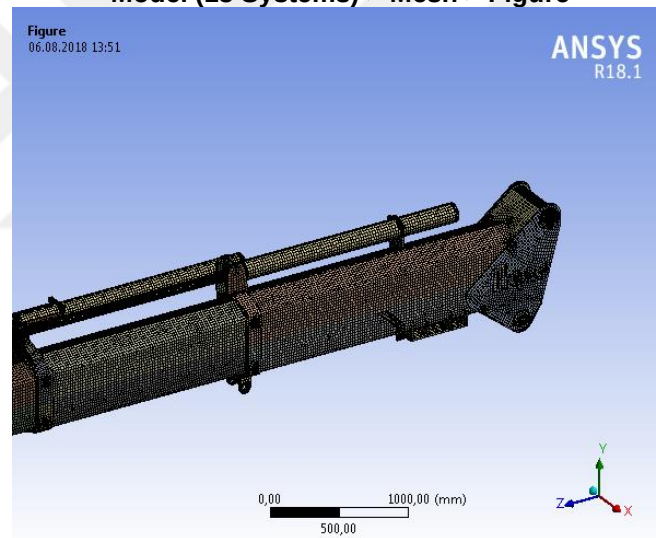
Active Bodies	300
Nodes	942794
Elements	362491
Mesh Metric	Element Quality
Min	5,69787671301258E-02
Max	0,999995491409793
Average	0,798899897420339
Standard Deviation	0,149595823738777
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	Yes
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\SERTV\AppData\Roaming\Ansys\v181
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

Mesh

TABLE 83
Model (13 Systems) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Body Sizing	Contact Sizing
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	2 Bodies	
Contact Region		No Separation - Midsurface1 To Midsurface1
Definition		
Suppressed	No	
Type	Element Size	
Element Size	8, mm	5, mm
Advanced		
Defeature Size	Default (2,7599 mm)	
Size Function	Uniform	
Behavior	Soft	
Growth Rate	Default (1,850)	

FIGURE 1
Model (13 Systems) > Mesh > Figure



Açı 0 derece- Yük 4100 kg (L5)

TABLE 187
Model (13 Systems) > Analysis

Object Name	Açı 0 derece- Yük 4100 kg (L5)
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 188
Model (13 Systems) > Aç 0 derece- Yük 4100 kg (L5) > Analysis Settings

Object Name	Analysis Settings
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Step Identifier	Load Case 1
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combined Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	Yes
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Cache Results in Memory (Beta)	Never
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\130TMKÇ7_ANALİZ\ANSYS\01082017\130TMKC7Analiz_files\dp0\SYS-14\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System

TABLE 189
Model (13 Systems) > Aç 0 derece- Yük 4100 kg (L5) > Accelerations

Object Name	<i>Standard Earth Gravity</i>
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	0 derece
X Component	0, mm/s ² (ramped)
Y Component	-9806,6 mm/s ² (ramped)
Z Component	0, mm/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Y Direction

TABLE 190
Model (13 Systems) > Aç 0 derece- Yük 4100 kg (L5) > Loads

Object Name	Fixed Support	Fixed Support 2	Fixed Support 3	Yük Kuvveti
State	Fully Defined			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	1 Face			4 Edges
Definition				
ID (Beta)	9911	9913	9915	9917
Type	Fixed Support			Force
Suppressed	No			
Define By				Components
Coordinate System				0 derece
X Component				0, N (ramped)
Y Component				-40867 N (ramped)
Z Component				0, N (ramped)

Solution (L6)

TABLE 191
Model (13 Systems) > Aç 0 derece- Yük 4100 kg (L5) > Solution

Object Name	<i>Solution (L6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	22 m 54 s
MAPDL Memory Used	11,635 GB
MAPDL Result File Size	517,75 MB
Post Processing	
Distributed Post Processing (Beta)	Program Controlled
Mesh Source (Beta)	Program Controlled
Beam Section Results	No
On Demand Stress/Strain (Beta)	No

TABLE 192
Model (13 Systems) > Aç 0 derece- Yük 4100 kg (L5) > Solution (L6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 193
Model (13 Systems) > Aç 0 derece- Yük 4100 kg (L5) > Solution (L6) > Results

Object Name	Equivalent Stress	Total Deformation
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Layer	Entire Section	
Position	Top/Bottom	
Definition		
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	
Results		
Minimum	1,9648e-005 MPa	0, mm
Maximum	3876,8 MPa	1288,6 mm
Minimum Occurs On	100_115_32_SIL_ARKA_KAPAK(02_08)	98_103_50_BRONZ
Maximum Occurs On	140_250_10_KESTAMIT	Midsurface1
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	

TABLE 195

Model (13 Systems) > Aç 0 derece- Yk 4100 kg (L5) > Solution (L6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1,	0,	1288,6

FIGURE 55

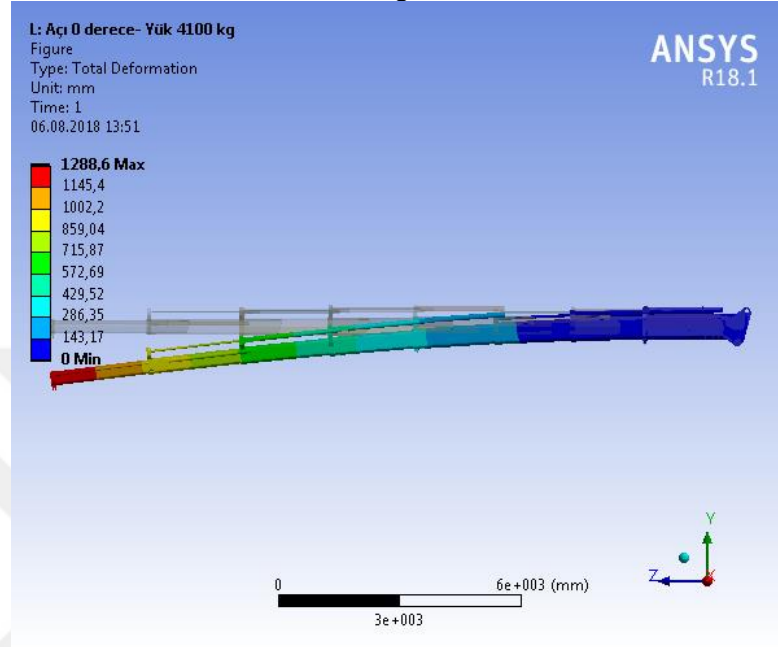
Model (13 Systems) > Aç 0 derece- Yk 4100 kg (L5) > Solution (L6) > Total Deformation
> Figure

TABLE 196

Model (13 Systems) > Aç 0 derece- Yk 4100 kg (L5) > Solution (L6) > Probes

Object Name	Force Reaction
State	Solved
Definition	
Type	Force Reaction
Location Method	Contact Region
Contact Region	Bonded - Multiple To Midsurface1
Orientation	0 derece
Extraction	Contact (Underlying Element)
Suppressed	No
Options	
Result Selection	All
Display Time	End Time
Results	
X Axis	-809,14 N
Y Axis	1,0068e+006 N
Z Axis	7,4436e-004 N
Total	1,0068e+006 N
Maximum Value Over Time	
X Axis	-809,14 N
Y Axis	1,0068e+006 N
Z Axis	7,4436e-004 N
Total	1,0068e+006 N
Minimum Value Over Time	
X Axis	-809,14 N

Y Axis	1,0068e+006 N
Z Axis	7,4436e-004 N
Total	1,0068e+006 N
Information	
Time	1, s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1

TABLE 197**Model (13 Systems) > Aç 0 derece- Yük 4100 kg (L5) > Solution (L6) > Force Reaction**

Time [s]	Force Reaction (X) [N]	Force Reaction (Y) [N]	Force Reaction (Z) [N]	Force Reaction (Total) [N]
1,	-809,14	1,0068e+006	7,4436e-004	1,0068e+006

Material Data**Structural Steel****TABLE 231
Structural Steel > Constants**

Density	7,85e-006 kg mm ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4,34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	6,05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Resistivity	1,7e-004 ohm mm

**TABLE 232
Structural Steel > Appearance**

Red	Green	Blue
132,	139,	179,

**TABLE 233
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa
0,

**TABLE 234
Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa
250,

**TABLE 235
Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa
250,

**TABLE 236
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa
460,

TABLE 237
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22,

TABLE 238
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999,	10,	0,
2827,	20,	0,
1896,	50,	0,
1413,	100,	0,
1069,	200,	0,
441,	2000,	0,
262,	10000	0,
214,	20000	0,
138,	1,e+005	0,
114,	2,e+005	0,
86,2	1,e+006	0,

TABLE 239
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920,	-0,106	0,213	-0,47	1000,	0,2

TABLE 240
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923

TABLE 241
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

Kestamit L

TABLE 242
Kestamit L > Constants

Density	1,15e-006 kg mm ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4,34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	6,05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Resistivity	1,7e-004 ohm mm

TABLE 243
Kestamit L > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa
0,

TABLE 244
Kestamit L > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa
95,

TABLE 245
Kestamit L > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
85,

TABLE 246
Kestamit L > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
85,

TABLE 247
Kestamit L > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22,

TABLE 248
Kestamit L > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999,	10,	0,
2827,	20,	0,
1896,	50,	0,
1413,	100,	0,
1069,	200,	0,
441,	2000,	0,
262,	10000	0,
214,	20000	0,
138,	1,e+005	0,
114,	2,e+005	0,
86,2	1,e+006	0,

TABLE 249
Kestamit L > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920,	-0,106	0,213	-0,47	1000,	0,2

TABLE 250
Kestamit L > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	4000,	0,3	3333,3	1538,5

TABLE 251
Kestamit L > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

TABLE 252
Kestamit L > Appearance

Red	Green	Blue
139,	255,	38,

Bronz L

TABLE 253
Bronz L > Constants

Density	8,802e-006 kg mm ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,8e-005 C ⁻¹
Specific Heat	3,85e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	0,401 W mm ⁻¹ C ⁻¹

TABLE 254
Bronz L > Appearance

Red	Green	Blue
206,	206,	41,

TABLE 255
Bronz L > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa
0,

TABLE 256
Bronz L > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa
280,

TABLE 257
Bronz L > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
230,

TABLE 258
Bronz L > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
430,

TABLE 259
Bronz L > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
20,

EK-2 Fotogrametrik İşlem Raporu

Agisoft PhotoScan

Processing Report 20 July 2018



Survey Data

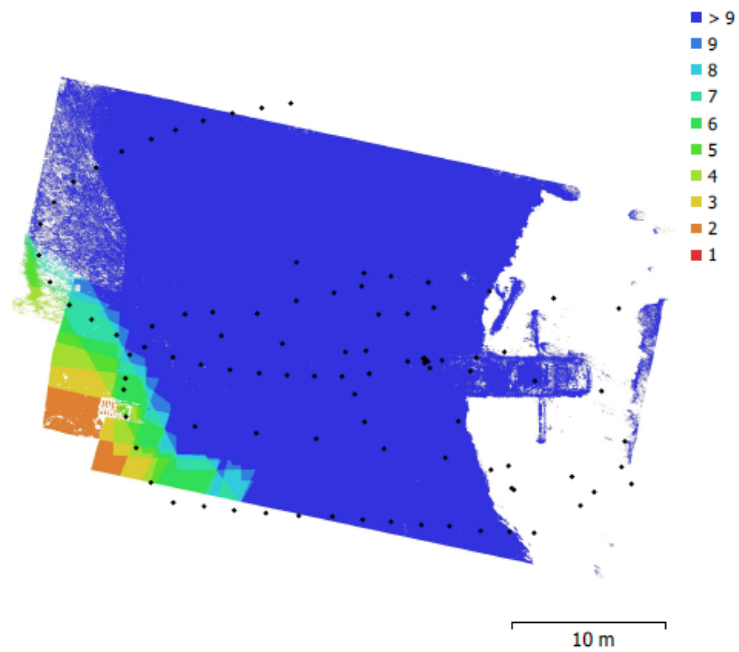


Fig. 1. Camera locations and image overlap

Camera Model	Resolution	FocalLength	Pixel Size	Precalibrated
DMC-GX1 (14 mm)	4592x3448	14 mm	3.77x3.77 μm	Yes
FC300X (3.61 mm)	4000x3000	3.61 mm	1.56x1.56 μm	Yes

Table 1 . Cameras

Camera Calibration

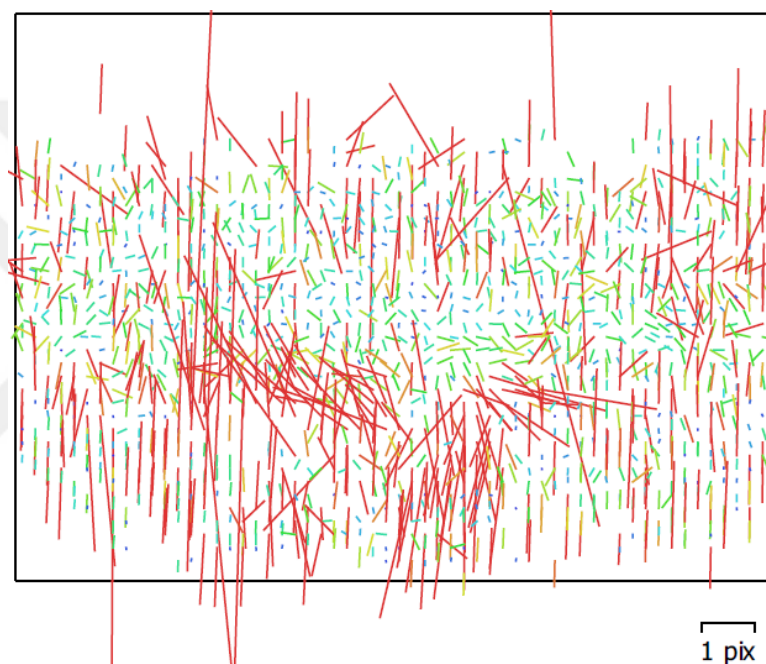


Fig. 2. Image residuals for DMC-GX1 (14 mm).

DMC-GX1 (14 mm)

38 images, rolling shutter, precalibrated

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	4592 x 3448	14 mm	3.77x3.77 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	3829.74	2.4	1.00	-0.32	0.42	-0.96	-0.28	0.23	-0.01	-0.01	0.02	-0.32	-0.10	0.18	-0.16
Cx	-224.553	6.6		1.00	-0.06	0.07	-0.00	-0.55	-0.19	0.22	-0.28	1.00	-0.47	-0.47	0.37
Cy	4.81999	1.6			1.00	-0.46	0.01	0.12	-0.09	0.07	-0.08	-0.05	-0.67	0.15	-0.15
B1	24.4659	2.3				1.00	0.30	-0.11	0.08	-0.07	0.07	0.06	0.26	-0.05	0.06
B2	13.8986	1.6					1.00	0.02	0.01	-0.01	0.02	-0.02	0.00	0.05	-0.02
K1	-0.0530857	0.0003						1.00	-0.69	0.63	-0.52	-0.55	0.30	0.03	0.07
K2	0.0522426	0.002							1.00	-0.98	0.93	-0.19	0.06	0.36	-0.40
K3	-0.00991657	0.0062								1.00	-0.97	0.22	-0.07	-0.33	0.38
K4	-0.0236378	0.0061									1.00	-0.28	0.14	0.20	-0.23
P1	-0.0162871	0.00047										1.00	-0.47	-0.45	0.35
P2	0.000676372	2e-05											1.00	0.02	0.03
P3	0.0914657	0.0082												1.00	-0.97
P4	0.0862781	0.019													1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Calibration

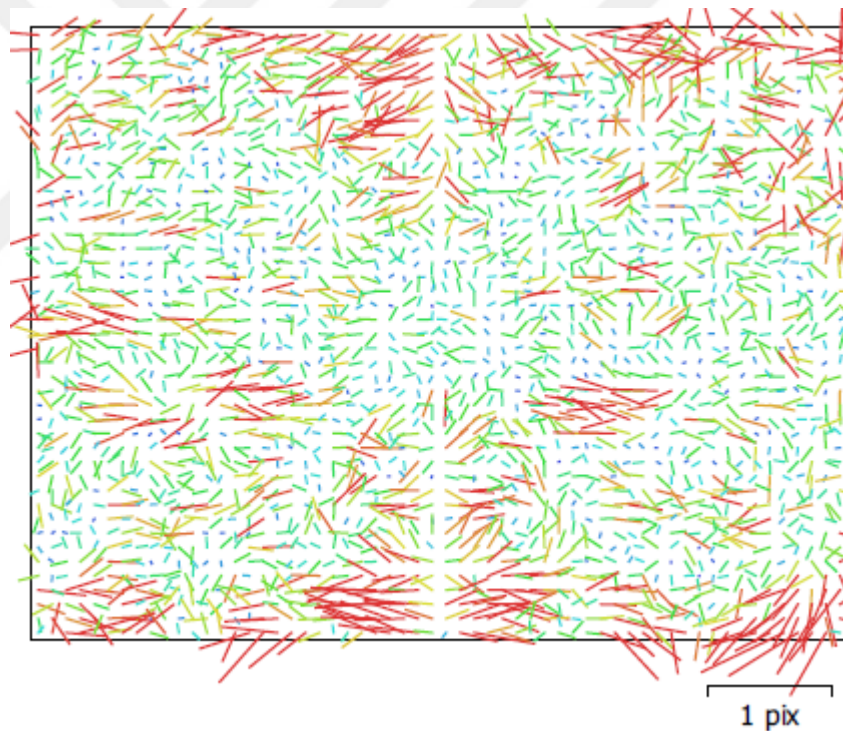


Fig. 3. Image residuals for FC300X (3.61 mm).

FC300X (3.61 mm)

63 images, rolling shutter, precalibrated

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 μm

Table 3. Calibration coefficients and correlation matrix.

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	2324.02	0.34	1.00	-0.01	-0.11	-0.60	-0.07	0.02	0.05	-0.04	0.04	-0.03	0.01	-0.02	-0.01
Cx	13.455	0.25		1.00	-0.34	0.00	0.06	0.00	-0.01	0.03	-0.05	0.83	-0.87	0.91	-0.69
Cy	-2.16154	0.18			1.00	0.02	0.34	-0.05	0.04	-0.04	0.04	-0.36	0.34	-0.37	0.26
B1	-3.85654	0.22				1.00	0.15	-0.09	0.05	-0.03	0.02	0.04	-0.03	0.04	0.01
B2	0.466844	0.14					1.00	-0.03	0.04	-0.03	0.02	0.08	-0.08	0.06	0.04
K1	-0.00106488	0.0002						1.00	-0.96	0.91	-0.86	-0.04	0.04	-0.01	-0.08
K2	-0.0185108	0.00066							1.00	-0.99	0.96	0.04	-0.03	0.00	0.12
K3	0.0434432	0.00089								1.00	-0.99	-0.02	0.01	0.02	-0.13
K4	-0.0178586	0.00041									1.00	-0.01	0.02	-0.04	0.13
P1	4.13565e-05	3.2e-05										1.00	-0.98	0.97	-0.49
P2	-2.36759e-05	2.2e-05											1.00	-0.97	0.53
P3	-22.4179	0.66												1.00	-0.67
P4	2.26604	0.13													1.00

Ground Control Points

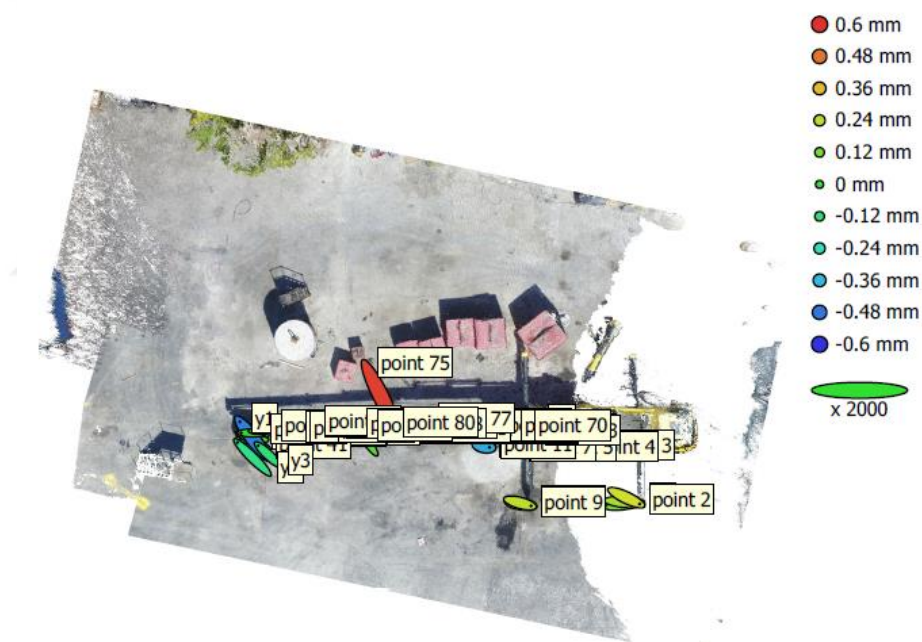


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	Xerror (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	XY error (mm)	Total (mm)
85	0.434396	0.261996	0.153732	0.507289	0.530071

Table 4. Control points RMSE.

Label	X error (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	Total (mm)	Image (pix)
a1	0.286816	-0.0126885	-0.257229	0.385476	0.395 (9)
a2	0.8579	0.125215	0.127337	0.876291	0.059 (6)
b1	0.497957	0.150733	0.0558024	0.523254	0.461 (7)
b2	0.480362	0.172499	0.0167742	0.510671	0.225 (7)
point 1	0.874627	-0.0789296	0.205321	0.901864	0.044 (4)
point 2	0.757473	-0.360328	0.276154	0.883098	0.014 (4)
point 3	0.645956	0.103724	-0.198434	0.683662	0.201 (13)
point 4	0.550726	0.0653631	-0.290319	0.625984	0.271 (12)
point 5	0.415907	0.0382037	-0.191006	0.459262	0.247 (16)
point 6	0.442528	0.00369738	-0.188503	0.481017	0.287 (13)
point 7	0.358409	-0.0362161	-0.333715	0.491055	0.271 (11)
point 8	0.606328	-0.101613	0.299388	0.683807	0.084 (8)
point 9	0.631179	-0.167379	0.244116	0.697134	0.111 (8)
point 10	0.287683	-0.00921144	-0.199278	0.350083	0.299 (11)
point 11	0.316105	-0.0676635	-0.38624	0.503668	0.240 (13)
point 12	0.451194	0.0674267	-0.157624	0.482667	0.344 (12)
point 13	0.46286	0.129768	-0.0289586	0.481578	0.237 (12)
point 14	0.33248	0.0475609	-0.0646629	0.342033	0.300 (13)
point 15	0.351993	0.00226114	-0.0101967	0.352148	0.446 (14)
point 16	0.296569	0.0454705	-0.0746793	0.309189	0.405 (15)
point 17	0.168724	-0.0138007	-0.0525337	0.177251	0.285 (11)
point 18	0.152178	0.0222463	-0.0687317	0.168455	0.357 (10)
point 19	0.157348	-0.0195425	-0.0067605	0.158701	0.398 (9)
point 20	0.11082	-0.0650459	-0.0109352	0.128964	0.376 (10)
point 21	0.100146	-0.00106136	0.01955	0.102042	0.522 (11)
point 22	0.0582645	-0.0608053	-0.0390525	0.0928285	0.522 (11)
point 23	-0.026805	-0.0511206	-0.011942	0.0589444	0.351 (7)
point 24	-0.110178	-0.087535	0.127752	0.190059	0.264 (9)
point 25	-0.0947703	-0.108691	-0.0565267	0.154888	0.220 (6)
point 26	-0.108189	-0.075929	-0.0312776	0.135825	0.453 (10)
point 27	-0.194468	-0.0239334	-0.0340325	0.198869	0.230 (7)

Label	X error (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	Total (mm)	Image (pix)
point 28	-0.280554	-0.0666876	-0.0549033	0.293551	0.282 (7)
point 29	-0.257217	-0.10758	-0.0134376	0.279132	0.309 (10)
point 30	-0.281374	-0.145231	0.0937804	0.33024	0.202 (9)
point 31	-0.426041	-0.0671617	-0.0265026	0.432116	0.291 (7)
point 32	-0.402532	-0.108899	-0.0212563	0.417544	0.279 (8)
point 33	-0.434174	-0.11349	0.0113055	0.448905	0.317 (7)
point 34	-0.434235	-0.115993	0.150625	0.474028	0.207 (10)
point 35	-0.485868	-0.0391584	-0.0314288	0.488455	0.368 (6)
point 36	-0.57884	-0.0785885	0.0490712	0.586208	0.233 (7)
point 37	-0.551575	-0.0324985	0.0185267	0.552842	0.323 (9)
point 38	-0.566489	-0.136513	0.125341	0.596033	0.216 (6)
point 39	-0.665655	0.040473	-0.00493671	0.666903	0.280 (5)
point 40	-0.700793	0.0183639	0.0555975	0.703235	0.256 (6)
point 41	-0.773511	0.396932	-0.0482562	0.870749	0.242 (6)
point 42	0.290973	0.0451684	-0.151938	0.331346	0.303 (13)
y1	-0.74306	0.958535	-0.464893	1.29887	0.085 (6)
y2	-0.858927	0.851732	-0.155886	1.21963	0.179 (9)
y3	-0.569781	0.526917	-0.128328	0.786612	0.175 (8)
point 44	-0.630988	0.00470748	0.00381361	0.631017	0.304 (8)
point 45	-0.596921	-0.0380458	0.00456019	0.59815	0.305 (6)
point 46	-0.526819	-0.014104	0.0365998	0.528277	0.422 (8)
point 47	-0.51405	-0.00448062	0.0228072	0.514575	0.228 (4)
point 49	-0.435832	-0.0252637	0.0446345	0.43884	0.370 (7)
point 50	-0.388612	-0.0879279	0.0153718	0.398732	0.830 (5)
point 51	-0.373756	-0.0674599	-0.0251109	0.380624	0.346 (14)
point 52	-0.278258	-0.0687812	-0.0440728	0.290001	0.503 (9)
point 53	-0.266963	-0.0116609	-0.00632645	0.267292	0.303 (11)
point 54	-0.219945	-0.0777911	0.0686275	0.243181	0.273 (17)
point 55	-0.202208	0.0246064	0.0635298	0.213376	0.359 (15)
point 56	-0.145079	-0.0349211	-0.0277837	0.151787	0.289 (18)
point 57	0.0773966	0.0186942	0.0288668	0.0846936	0.535 (14)
point 58	0.141647	-0.00529837	-0.0176497	0.142841	0.461 (12)

Label	X error (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	Total (mm)	Image (pix)
point 59	0.185694	0.0290462	0.0495595	0.194376	0.594 (10)
point 60	0.154164	-0.0123356	-0.020105	0.155958	0.367 (11)
point 61	0.219069	-0.020768	0.0650299	0.229459	0.417 (9)
point 62	0.213489	-0.0324245	-0.00635059	0.21603	0.658 (10)
point 63	0.215637	0.00677216	0.0347448	0.218524	0.382 (7)
point 64	0.10616	0.00482936	-0.00791452	0.106565	0.675 (11)
point 65	0.251399	0.00517085	0.0211783	0.252342	0.687 (8)
point 66	0.292592	0.0330241	0.0199291	0.295123	0.502 (12)
point 67	0.303767	0.0576315	-0.0175696	0.309685	0.412 (10)
point 68	0.335785	0.0309337	0.0411799	0.339712	0.567 (13)
point 69	0.392383	0.0340264	0.0340992	0.395328	0.499 (13)
point 70	0.437941	0.13871	-0.00399177	0.4594	0.382 (12)
point 71	0.0808021	0.0113661	0.0280905	0.0862974	0.429 (8)
point 72	-0.496123	-0.0919203	-0.0148392	0.504785	0.387 (6)
point 73	-0.463881	-0.111764	0.0848456	0.484639	0.001 (2)
point 74	-0.481768	0.689708	0.0580301	0.843307	0.001 (2)
point 75	0.820388	-1.6408	0.576773	1.923	0.032 (3)
point 76	0.715329	-0.0975819	0.579935	0.926036	0.020 (5)
point 77	0.151483	0.183822	0.202488	0.312632	0.025 (4)
point 78	-0.114313	-0.0844468	-0.00275501	0.142149	0.154 (5)
point 79	-0.210213	-0.0574944	0.013837	0.218373	0.157 (5)
point 80	-0.122157	-0.129315	0.0127311	0.178345	0.297 (6)
Total	0.434396	0.261996	0.153732	0.530071	0.368

Table 5. Control points.

Label	Distance(m)	Error (m)
point 1_point8	6.21959	0.00459251
point 3_point4	1.12172	0.00171909
point 4_point5	2.43301	-0.00448671
point 5_point6	1.21818	0.000184468
point 6_point7	0.823545	-0.00145458
point 8_point9	0.859943	-0.00105724
point10_point11	0.722438	-0.00156225
point12_point13	0.807313	-0.000686629
point15_point18	1.76893	-0.0020656
point16_point17	1.38391	-0.0010937
point18_point21	1.87407	-0.0049292
point19_point20	1.56761	0.0026105
point22_point23	1.65714	-0.00186303
point25_point28	2.08292	-0.00157996
point26_point27	1.69528	-0.000721639
point29_point31	1.76147	0.000974692
point33_point35	1.79386	0.00186294
point36_point40	2.38237	-0.00163211
point37_point39	2.01674	0.00174055
b1_b2	0.504935	-6.48058e-05
point68_point70	1.73461	0.00361246
point 6_point 10	1.78746	-3.84704e-05
point61_point67	1.77767	-0.00133284
point62_point66	1.3788	-0.00020482
point34_point38	2.26648	-0.00651667
Total		0.00253672

Table 6. Control scale bars.

Label	Distance(m)	Error (m)
point 3_point5	3.40919	-0.000806284
point21_point25	1.9899	-0.00110036

point28_point32	2.16412	-0.00288311
point 2_point9	6.21745	-0.00255471
point 4_point6	3.63467	
point 4_point7	3.62144	
point 5_point7	1.47383	
point 3_point7	4.69824	
point 3_point6	4.62733	
Total		0.00204327

Table 7. Check scale bars.

Digital Elevation Model

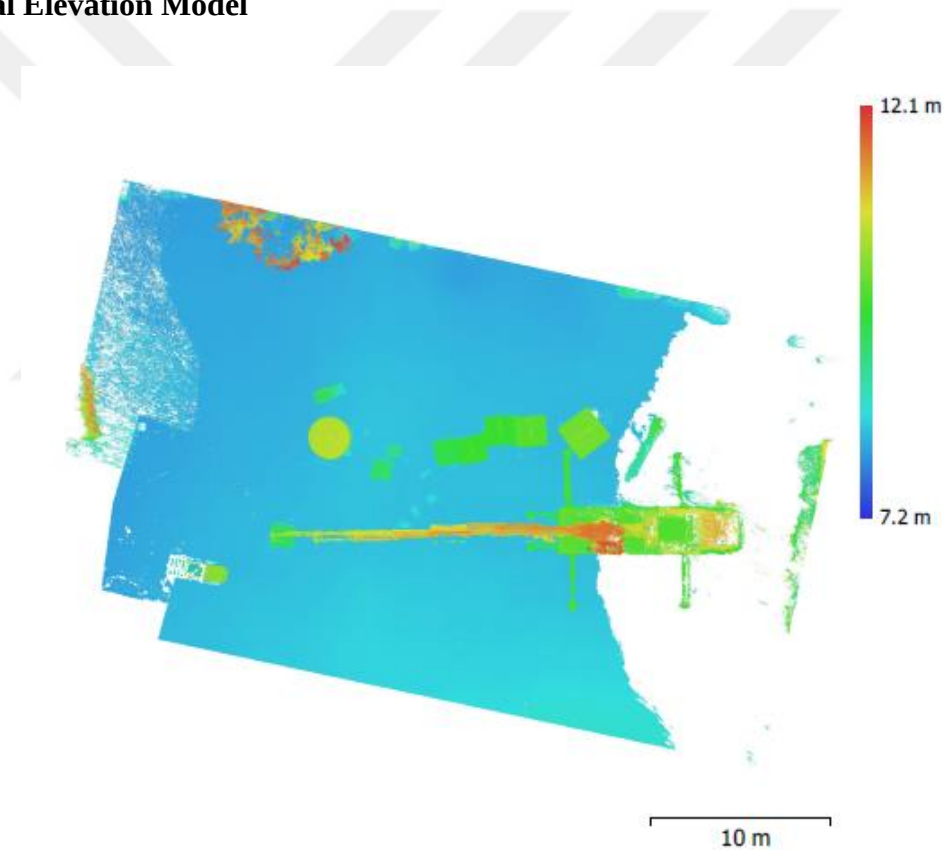


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 9.19 mm/pix
 Pointdensity: 118 points/cm²

Processing Parameters

General

Cameras	101
Aligned cameras	98
Markers	85
Scale bars	34
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	97,876 of 126,857
RMS reprojection error	0.145192 (1.13957 pix)
Max reprojection error	1.9032 (42.9356 pix)
Mean keypoint size	7.38043 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.25669
Alignment parameters	
Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	4,000,000
Tie point limit	400,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	9 minutes 16 seconds
Alignment time	2 minutes 45 seconds
Optimization parameters	
Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1-p4
Fit rolling shutter	Yes
Optimization time	4 seconds
Dense Point Cloud	
Points	14,036,909
Point colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Quality	High
Depth filtering	Disabled
Depth maps generation time	2 hours 24 minutes
Dense cloud generation time	16 minutes 33 seconds

Tiled Model

Texture	3 bands, uint8
---------	----------------

Reconstruction parameters

Source data	Dense cloud
Tile size	1024
Processing time	50 minutes 55 seconds

DEM

Size	5,404 x 4,118
Coordinate system	TUREF / TM33 (EPSG::5255)

Reconstruction parameters

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	59 seconds

Orthomosaic

Size	12,672 x 1,415
Coordinate system	TUREF (EPSG::5250)
Colors	3 bands, uint8

Reconstruction parameters

Blending mode	Mosaic
---------------	--------

Surface	Mesh
Enable color correction	Yes
Enable hole filling	Yes
Processing time	22 minutes 40 seconds

Software

Version	1.4.2 build 6205
Platform	Windows 64