TRAKTÖR GÜVENLİK KABİNİ STATİK YÜKLEME DENEYİ SONLU ELEMANLAR BENZETİMİ

Hasan Gazali Görüryılmaz
Uzay Mühendisi
Dayanım - Güvenlik Birimi
Hexagon Studio Mühendislik ve Tasarım A.Ş.
Gebze - KOCAELİ
hgazali.goruryilmaz@hexagonstudio.com.tr

ÖZET

Bu çalışmada Tarım Araçları Test Merkezi tarafından gerçekleştirilen traktör kabinleri statik yükleme testinin sonlu elemanlar yöntemi ile benzetimi yapılmıştır. Traktör kabinin Msc. Patran ve Msc. Sofy yazılımları kullanılarak bilgisayar ortamında sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan kabin modelinin, test sırasında uygulanan yüklemeler altında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Analizler Msc. Marc yazılımı kullanılarak, test yüklerinin bire bir benzetiminin yapılabilmesi için yük uygulayan mekanizmanın çalışma presibi temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsanda sonlu elemanlar modeli şasi bağlantı noktalarından sınırlandırılarak, dört yükleme koşulu için farklı oranlarda deplase edilerek kabindeki deformasyonlar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda tasarımı yapılan kabin teset öncesi sanal ortamda doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sonlu Elemanlar Methodu, Doğrusal Olmayan Analiz

1. GİRİŞ

Tarım araçlarında, yaşanacak olası bir kaza durumunda sürücünün can güvenliğinin korunması için güvenlik kabinleri kullanılmaktadır. Bu kabinlerin dayanım seviyeleri regülasyonlar ile belirlenmiştir. Tasarımı yapılan bir kabinin üretim onayı alabilmesi için Tekerlekli Tarım veya Orman Traktörlerinin Devrilmeye Karşı Koruma Çerçevesi İle İlgili Tip Onayı Yönetmeliği'nde belirtilen dayanım kriterlerini sağlaması gerekmektedir. Bu bağlamda, kabinler seri üretim öncesi Tarım Araçları Test Merkezi (TAMTEST) tarafından gerçekleştirilen testlere tabi olurlar. Bu testler gerek ön hazırlık aşaması, gerekse maliyet göz önüne alındığında oldukça masraflıdır. Kabinin testten geçememesi durumunda tasarım sürecinin tekrarı ve yeni bir protoip üretimi ihtiyacı doğar ki bu da ek maliyet gerektirir. Yapılan tasarımın doğrulanması ve test için oluşturulacak prototipin testten en az hata ile geçmesi için testin sanal ortamda benzetiminin yapılması, gerek prototip maaliyetini azaltmak ve gerekse tasarımın sahibi firmanın prestiji açısından önemlidir.

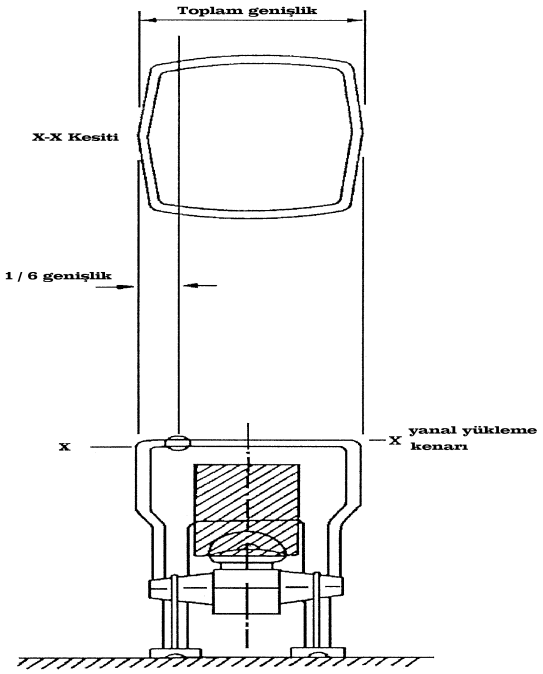
Bu çalışmada, firmamız bünyesinde tasarımı yapılan bir traktör kabininin sonlu elemanlar metodu ile doğrusal olmayan analizleri yapılarak, kabin geometrisinin test öncesi sanal doğrulaması yapılmıştır.

2. TESTİN UYGULANIŞI

Statik yükleme deneyleri, traktörün devrilmesi durumunda güvenlik kabininde oluşacak deformasyonları ölçmek ve bu deformasyonların sürücü yaşam alanına girip girmeyeceğini gözlemlemek amacı ile yapılan testlerdir. Test sırasında gerekli yükün elde edilebilmesi için kullanılan düzenekler kabini saniyede 5 mm deforme edecek şekilde ayarlanmıştır. Pistonlar rijit kirişleri bu hızda hareket ettirerek kabini deforme ederler. Deney sırasında kabin üzerinde mukavemete etki eden tüm parçaların montajlı olması gerekmektedir. Test sırasında kabini araca bağlandığı şekilde monte etmek yeterli olacaktır, traktörün kendisine gerek yotur. Statik yükleme deneyleri dört aşamadan oluşmaktadır.

2.1 Arkadan Yatay Yükeleme

Arkadan yatay yükleme koşulunda yük, koruma çerçevesinin en üst enine yapısal elemanına uygulanır (devrilme durumunda yere ilk çarpması muhtemel olan yüzeye). Yükün uygulama noktası, koruma çerçevesinin üst tepesinin dış köşesinden içeriye doğru genişliğinin altıda birine karşılık gelen noktadır.



Şekil 1: Arkadan Yatay Yükleme Test Düzeneği

Arkadan yatay yükleme sırasında kabine emdirilmesi gereken enerji miktarı;

mt = Traktör Kütlesi

$$E = 1.4 * mt$$

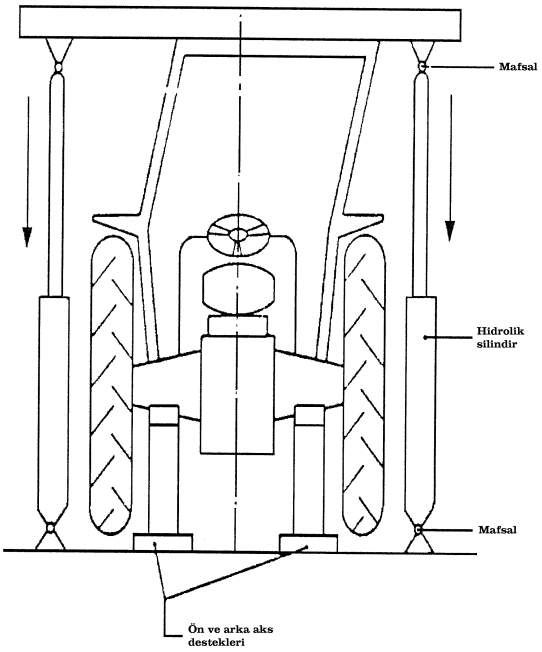
formulü ile hesaplanır. Buna göre arkadan yatay yükleme durumunda kabinin emmesi gereken enerji traktör kütlesinin 1.4 katı olmalıdır. Emilen enerji miktarı kütlenin 1.4 katına çıktığında veya kabinde oluşan deformasyonlar güvenlik bölgesine girdiğinde test durdurulur.

2.2 Arkadan Ezme

Arkadan ezme deneyinde, sıkıştırma yükü kabine bir mekanizma yardımı ile kabinin yatay düzlemine dik bir şekilde uygulanır. Arkadan ezme yükü kabin arka en üst çerçeve elemanlarının üzerine uygulanmalı ve ezme kuvveti traktörün düşey boylamında olmalıdır. Uygulanacak kuvvet;

$$F = 20 * m_t$$

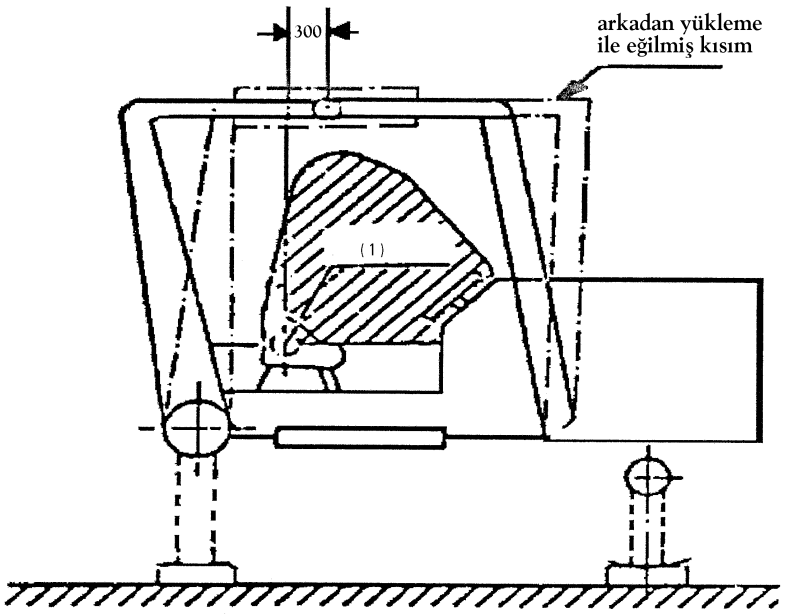
formülü ile hesaplanır. Yük traktör kütlesinin 20 katı olmalıdır. Arkadan ezme deneyinde emilen enerji miktarına bakılmadığından deney kabinin güvenli koruma bölgesine girdiğinde ve güvenli koruma bölgesini korumasız bıraktığı takdirde durdurulur.



Şekil 2: Arkadan Ezme Test Düzeneği

2.3 Yanal Yükleme

Bu deneyde kuvvetin doğrultusu referans düzlemine dik olacak şekilde, koltuk referans noktasının 300 mm önünde, koruma çerçevesinin en üst enine çerçeve elemanına uygulanmalıdır. Koruma çerçevesinin, devrilme durumunda yere ilk temas edecek tarafında herhangi bir çıkıntı var ise yükleme o noktaya uygulanmalıdır. Yükün uygulanma şekli ve yeri Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3: Yandan Yatay Yükleme Test Düzeneği

Bu deneyde kabine emdirilmesi gereken birim uzama enerjisi;

$$\text{Enerji} = 1.75 * mt$$

formülü ile hesaplanır. Yanal yükleme sırasında kabinin emmesi gereken enerji traktör kütlesinin 1.75 katı olmak zorundadır. Güvenlik kabini tarafından emilen birim uzuma enerjisi traktör kütlesinin 1.75 katına ulaştığında ve/veya güvenlik çerçevesi güvenlik bölgesine girmiş ise deneye son verilir.

2.3 Önden Ezme

Önden ezme deneyi için 250 mm genişliğinde sert bir kiriş kullanılır. Bu kiriş ile dikey düzlemde ezme yükü kabine uygulanır. Bu deney arkadan ezme deneyi ile aynı mekanizma tarafından gerçekleştirilir. Aynı şekilde, uygulanması gereken kuvvet;

$$F = 20 * mt$$

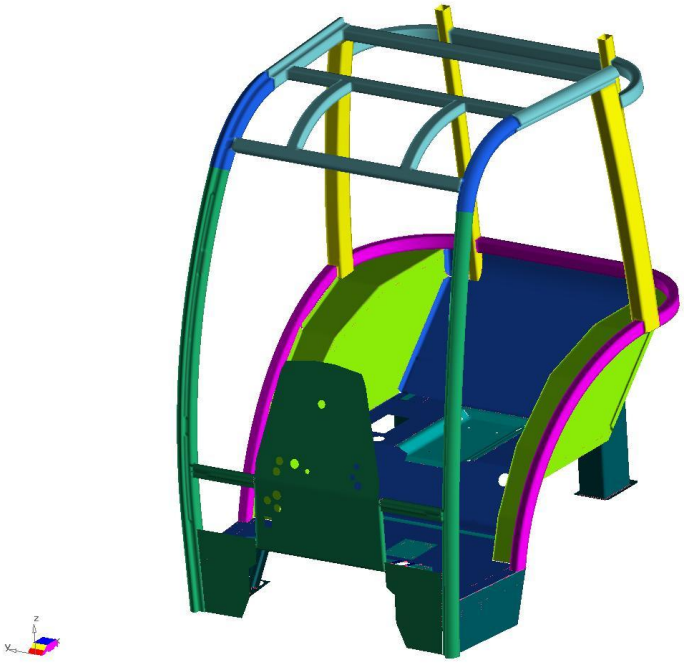
formülü ile hesaplanır. Güvenlik kabini, güvenlik bölgesine girmiş veya güvenlik bölgesini emniyetsiz bırakmış ise deney durdurulur.

Testler yukarıda verilen sıra ile uygulanır. Uygulama bir test bittikten sonra yükün çekilmesi ve ardından ikinci testin uygulanması şeklindedir. Test sırasında test durdurulup herhangi bir tamir veya iyileştirici bir müdahele yapılmaz.

3. SONLU ELEMAN MODELİ VE METODOLOJİ

Traktör kabini karkas yapının sonlu elemanlar modelinde tüm yapı iki boyutlu kabuk elemanlar ile Msc. Sofy programı yardımıyla modellenmiştir. Mukavemetin tam olarak sağlanabilmesi için kabin üzerinde dayanımı etkileyecek tüm parçalar modele dahil edilmiştir.

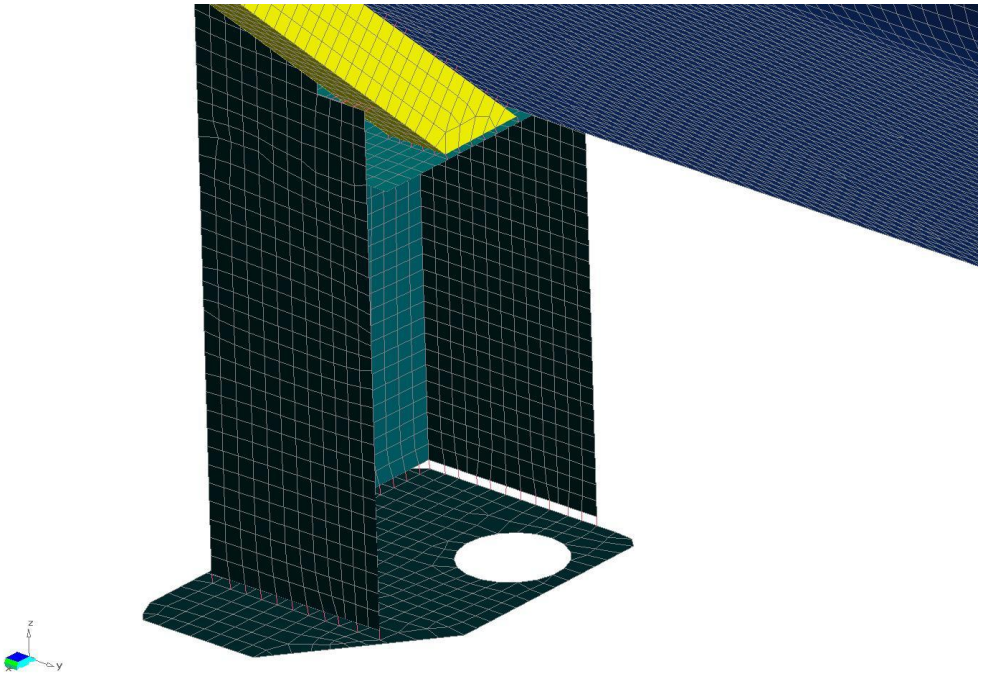
Sonlu elemanlar modeli 98953 elemandan oluşmaktadır. Bu elemanlardan 95891'i dört düğüm noktalı dörtgen kabuk, 1219'u ise üç düğüm noktalı üçgen kabuk elemanlardır. Ayrıca modelde 2966 adet rijit eleman kullanılmıştır.



Şekil 4: Traktör Kabini Sonlu Elemanlar Modeli

Kaynak bölgeleri yapının uygunluğu açısından iki farklı şekilde modellenmiştir;

1- Profillerin kaynak birleşim yerlerinde ortak düğüm noktası metodu kullanılmıştır.
2- Sac parçalar ise profillere rijit elemanlar ile bağlanmıştır.



Şekil 5: Bağlantı Tipleri

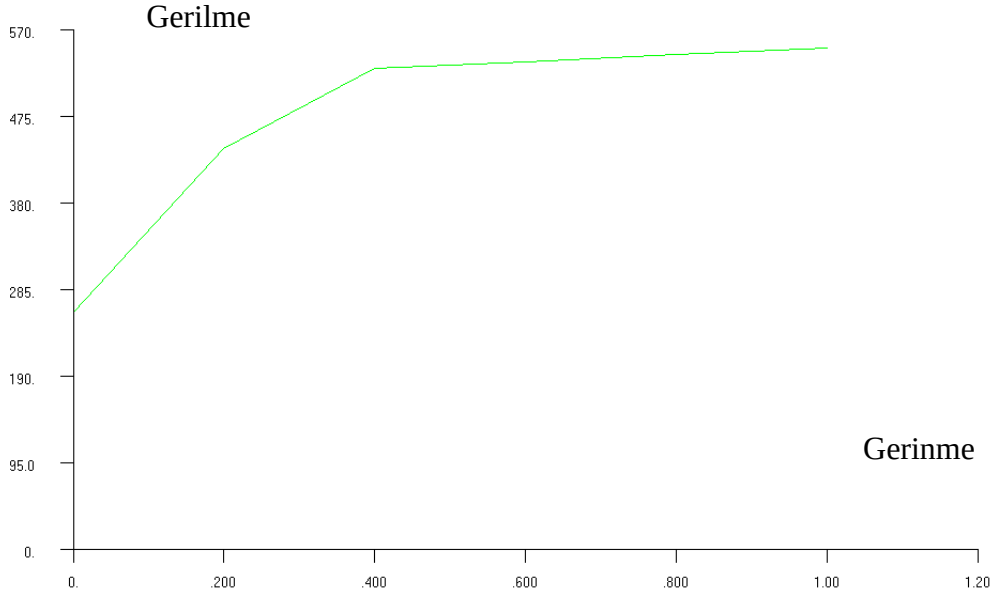
Çalışmada traktör kabininin test sırasında maruz kaldığı ezme yükleri, kabinin sonlu elemanlar modeline uygulanarak deformasyonun yaşam alanına müdahale edip etmediği gözlemlenmiştir. Analizler Msc. Marc çözücüsü kullanılarak yapılmıştır.

4. MALZEME ÖZELLİKLERİ

Analizi yapılan traktör kabininde profil ve saclar St37 kalite genel yapı çeliği kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde de Tablo 1'de verilen malzeme mekanik özellikleri girdi olarak kullanılmıştır. Plastik bölge için ise Grafik 1'de belirtilen Gerinme-Gerilme eğrisi kullanışmıştır.

Akma Mukavemeti	235 Gpa
Elastisite Modülü	210 Gpa
Poisson Oranı	0.3

Tablo 1: Malzeme Mekanik Özellikleri

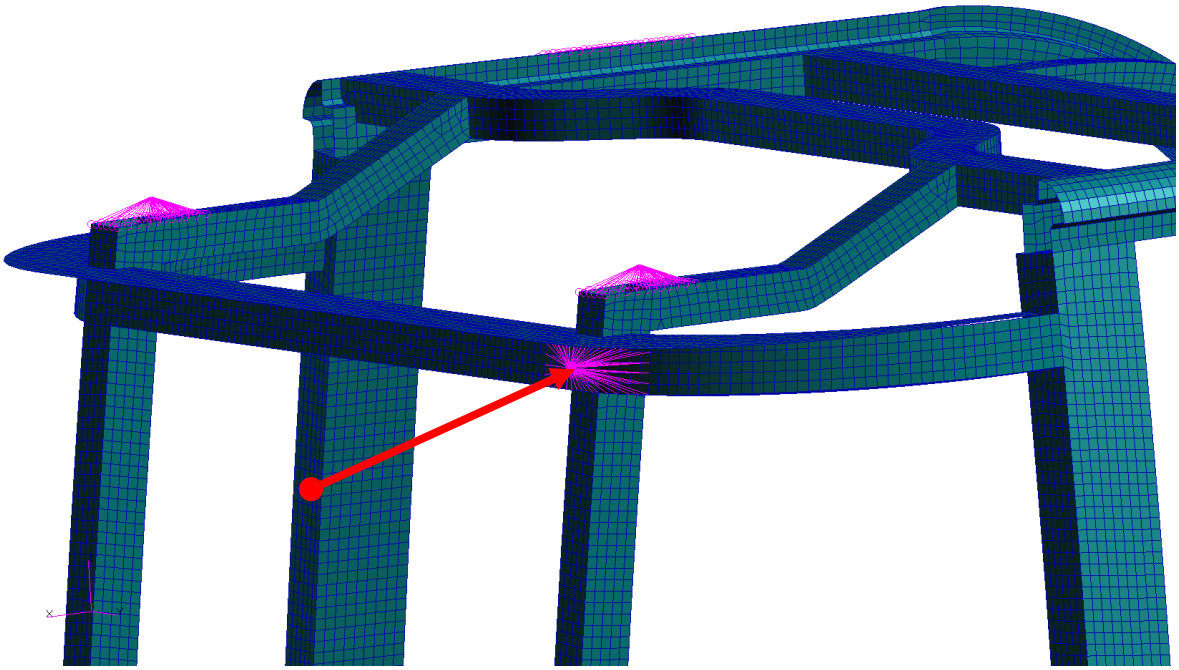


Grafik 1: Malzeme Mekanik Özellikleri - Gerçek Gerinme -Gerilme Eğrisi

5. NON LINEER ANALİZLER

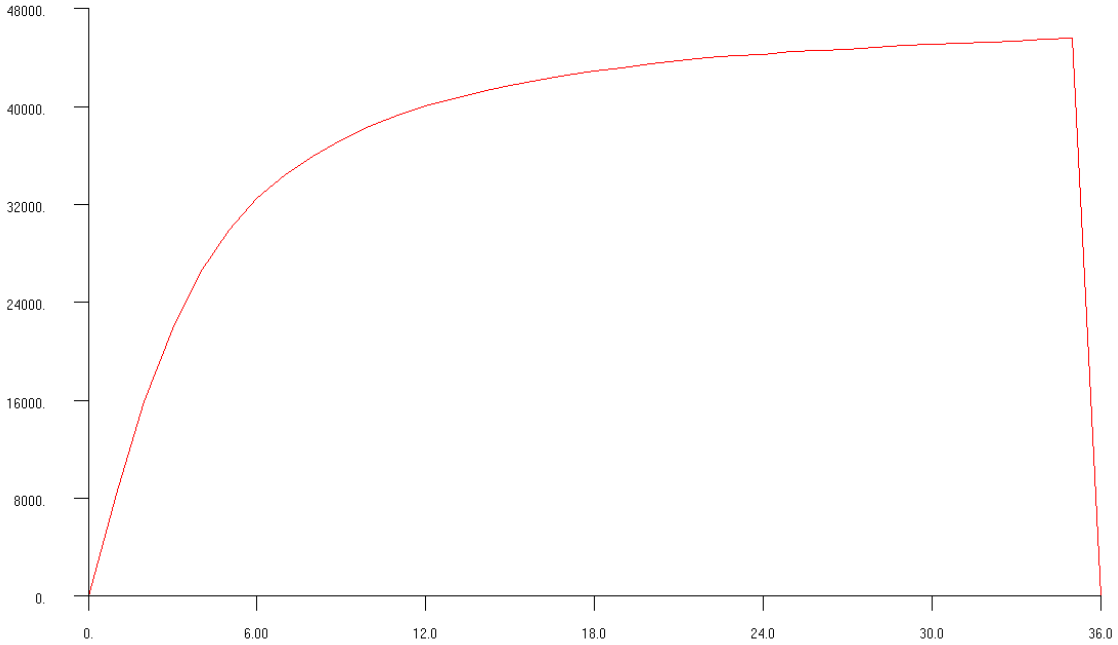
5.1. Arkadan Yatay Yükleme

İlk yük koşulu olan arkadan yatay yükleme, kabine rijit kirişi temsilen RBE2 tipi elemanlar ile saniyede 5 mm'yi geçmeyecek hızda deplasman verilerek uygulanmıştır. Deplasman sabit hızda ve eşit zaman aralıklarına bölünerek uygulanmıştır.



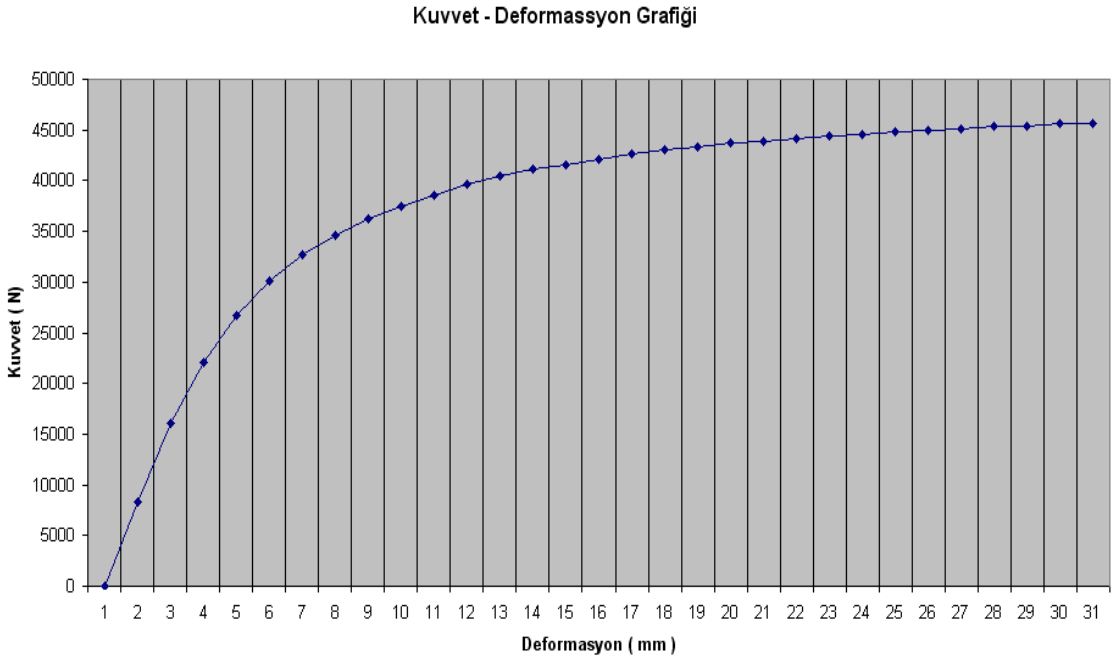
Şekil 6: Arkadan Yatay Yükleme Testi Sonlu Elemanlar Benzetimi

Uygulanan deplasman sonucu elde edilen reaksiyon kuvvetinin zamana bağlı değişimi Grafik 3'te verilmiştir. Buna göre kabinin yükün uygulandığı noktadan aynı eksende 150 mm deforme olabilmesi için gerekli kuvvet 45000 N civarlarındadır.



Grafik 2: Arkadan Ezme Sonucu Elde Edilen Kuvvet - Deformasyon Eğrisi

Birim zamanda oluşan deformasyona karşılık gelen kuvet değerleri Msc. Patran yardımı ile çıkarılmıştır.



Grafik 3: Kuvvet - Deformasyon Eğrisi

Bu eğrinin altında kalan alan ise **(A3+A2)*(B3-B2)*0,5** formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre 3000 kg ağırlığında bir kabinin emmesi gereken enerji miktarı olan 4,2 kJ (1,4*3000kg) enerjiye, aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi 26. adımda yani kabin 135 mm deforme olduğunda anda ulaşılmıştır.

	A	B	C	Formula Bar	E
1	**Analiz Adımı (Increment)**	**Kuvvet (N)**	**Deformasyon (mm)**	**Alan**	
2	0	0	0		
3	1	8340	5,05	21058,5	
4	2	16100	10,1	61711	
5	3	22100	15,2	97410	
6	4	26700	20,2	122000	
7	5	30100	25,3	144840	
8	6	32700	30,4	160140	
9	7	34600	35,5	171615	
10	8	36200	40,6	180540	
11	9	37500	45,8	191620	
12	10	38600	50,9	194055	
13	11	39600	56,1	203320	
14	12	40400	61,3	208000	
15	13	41100	66,5	211900	
16	14	41600	71,7	215020	
17	15	42100	76,9	217620	
18	16	42600	82,1	220220	
19	17	43000	87,3	222560	
20	18	43300	92,5	224380	
21	19	43700	97,7	226200	
22	20	43900	103	232140	
23	21	44200	108	220250	
24	22	44400	113	221500	
25	23	44600	119	267000	
26	24	44800	124	223500	
27	25	45000	129	224500	
28	26	**45100**	**135**	**270300**	
29					
30			**Toplam Alan**	**4953399.5**	

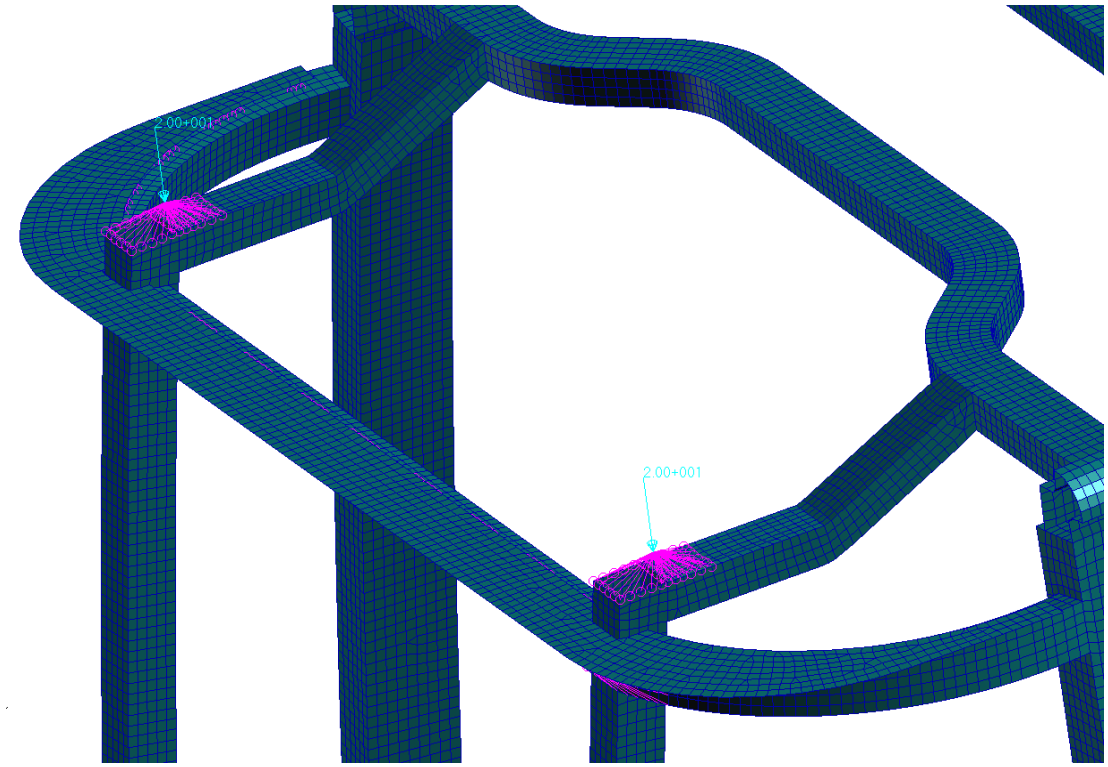
Tablo 2: Her Birim Zamanda Okunan Kuvvet - Deformasyon Değerleri

Kabin 135 mm deforme olduğu takdirde yaşam alanına herhangi bir müdahele olmadığı görülmüştür.

5.2. Arkadan Ezme

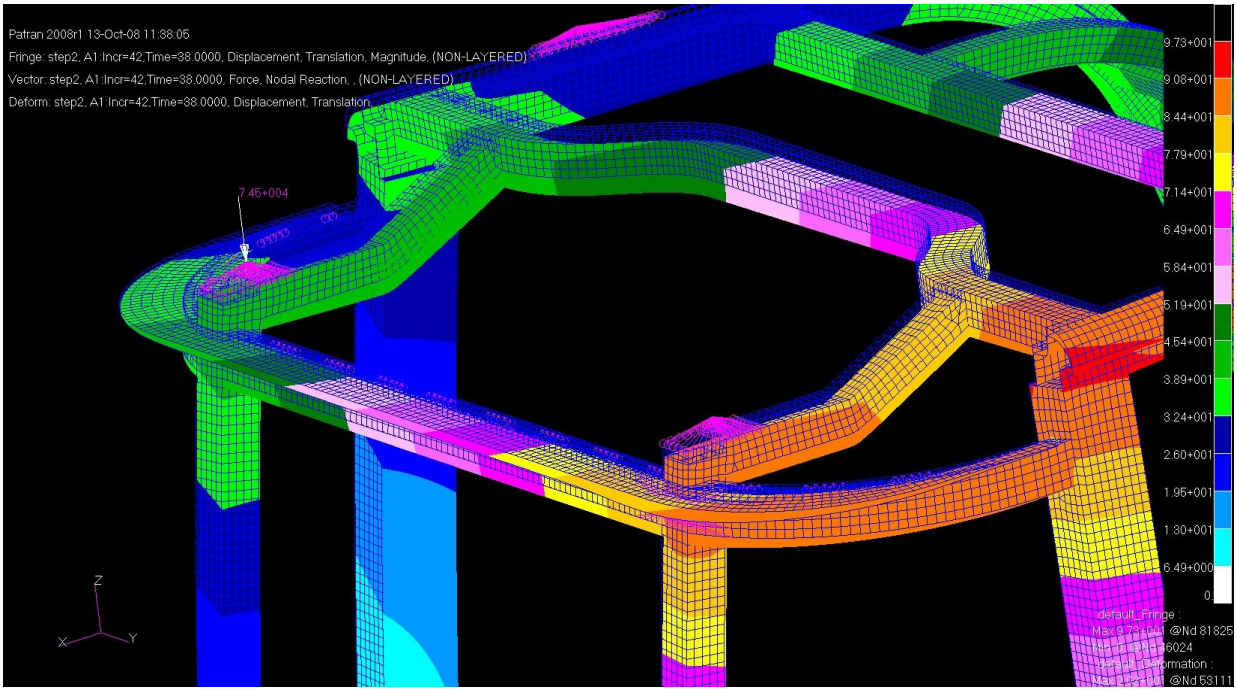
Arkadan ezme testinde araç ağırlığının yirmi katı bir yük kabine uygulanır ve deformasyonlar kontrol edilir. Uygulanan yük kaldırıldıktan sonra kabinde oluşan deformasyonun yaşam alanına müdahele etmemiş olması gerekir. Uygulanması gereken yük, her birim zamanda eşit miktarda arttırılarak modele uygulanmıştır.

Buna göre kabin sonlu elemanlar modeline saniyede 5 mm'yi geçmeyecek şekilde kabin dikey ekseninde deplasman verilmiştir. Analiz sekiz adım ve sekiz birim zamanda gerçekleştirilmiştir Analiz sonuçları incelendiğinde 60000 N'luk kuvvete yüklemenin ikinci adımda ulaşıldığı görülmüştür.



Şekil 7: Arkadan Ezme Testi Sonlu Elemanlar Benzetimi

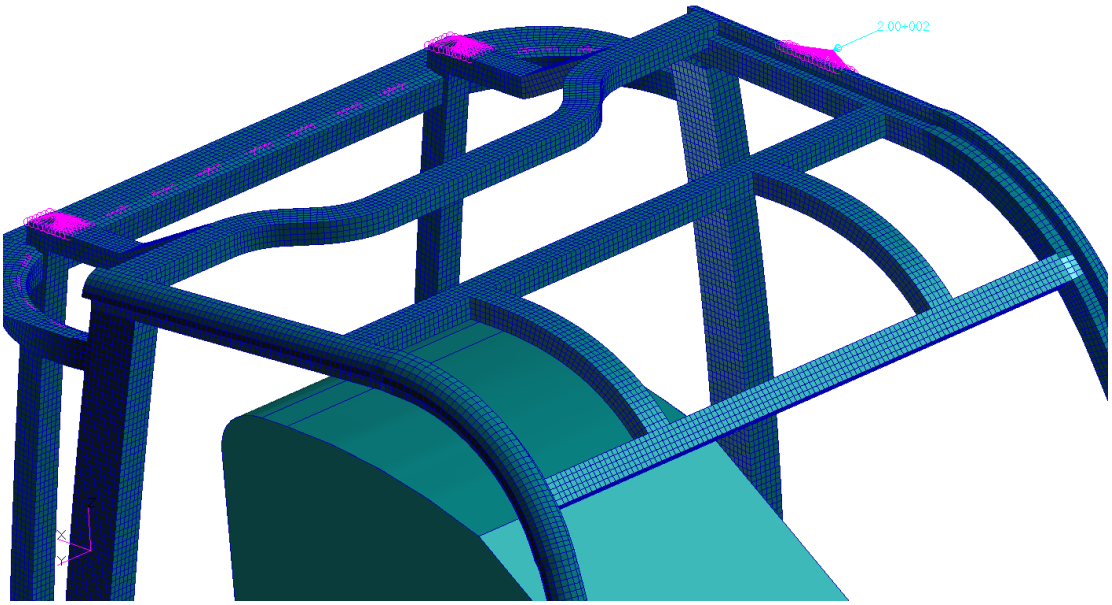
Analiz sonucu oluşan deformasyona bakıldığında, kabin sonlu elemanlar modelinin 60000 N'luk yük altında yaşam alanına bir müdahalesi görülmemiştir. Şekil 8'de yükleme sonucu oluşan deformasyonlar görülebilmektedir.



Şekil 8: Üstten Ezme Sonucu Yapıda Oluşan Deformasyon ve Reaksiyon Kuvveti

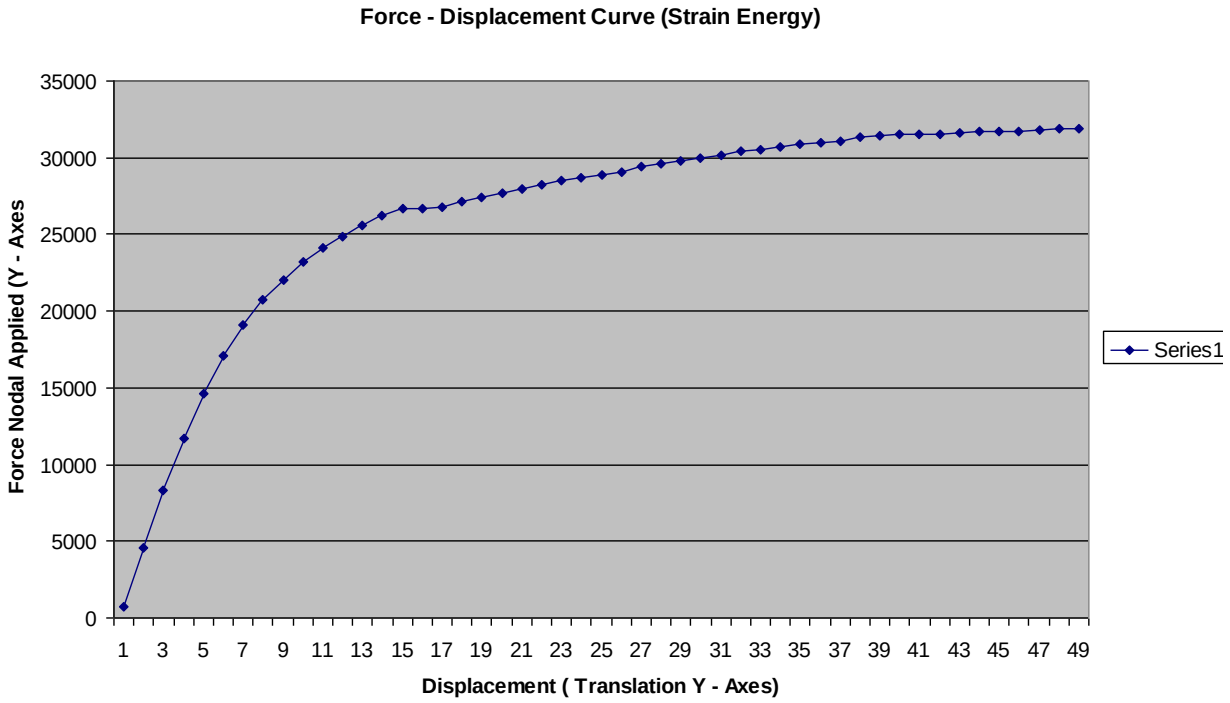
5.3. Yanal Yükleme

Yanal yükleme testi de uygulama olarak arkadan yatay yüklmeye benzerdir. Kabin sonlu elemanlar modeli ezme kalasını temsilen RBE 2 tipi elemanlar yardımı ile saniyede 5 mm'yi geçmeyecek bir hızda deplase edilir. Kabin 1.75 * mt yani 5,25 kJ'luk enerji'yi emene kadar deplasman verilmeye devam edilir.



Şekil 9: Yandan Boylamasına Yükleme Sonlu Elemanlar Benzetimi

Analiz 40 adım ve 40 birim saniyede çözdürülmüştür. Buna göre



Grafik 4: Kuvvet - Deformasyon Eğrisi

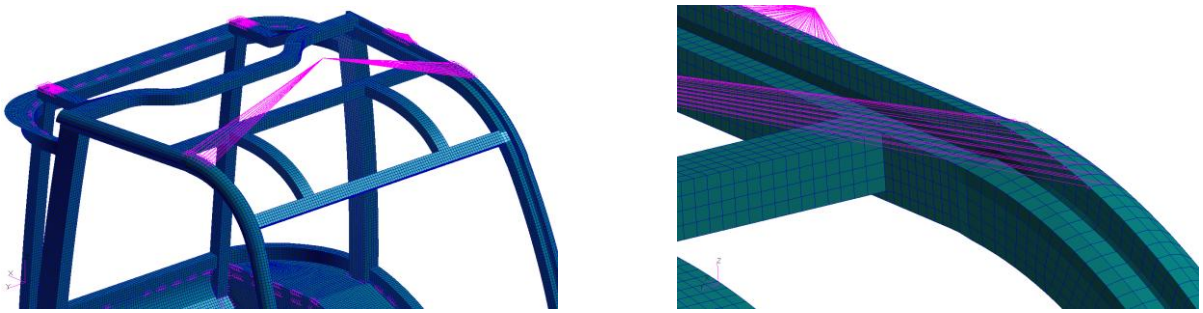
	A	B	C
1	**Kuvvet (N)**	**Deformasyon (mm)**	**Eğri Altında Kalan Alan**
2	0	0	0
3	693	4,5	1559,25
4	4540	9,5	13082,5
5	8290	14,5	32075
6	11700	19,5	49975
7	14600	24,5	65750
8	17100	29,5	79250
9	19100	34,5	90500
10	20700	39,5	99500
11	22000	44,5	106750
12	23200	49,5	113000
13	24100	54,5	118250
14	24900	59,5	122500
15	25600	64,5	126250
16	26200	69,5	129500
17	26700	74,5	132250
18	26700	75	13350
19	26800	75,5	13375
20	27100	79,5	107800
21	27400	83,5	109000
22	27700	87,5	110200
23	28000	91,5	111400
24	28200	95,5	112400
25	28500	99,5	113400
26	28700	103	100100
27	28900	107	115200
28	29100	111	116000
29	29400	116	146250
30	29600	121	147500
31	29800	126	148500
32	30000	131	149500
33	30200	136	150500
34	30400	141	151500
35	30500	146	152250
36	30700	151	153000
37	30900	156	154000
38	31000	161	154750
39	31100	166	155250
40	31300	171	156000
41	31400	176	156750
42	31500	181	157250
43	31500	182	31500
44	31500	182	0
45	31600	186	126200
46	31700	190	126600
47	31700	191	31700
48	31700	191	0
49	31800	195	127000
50	31900	199	127400
51	31900	200	31900

Tablo 3: Her Birim Zamanda Okunan Kuvvet - Deformasyon Değerleri

5.4. Önden Ezme Deneyi

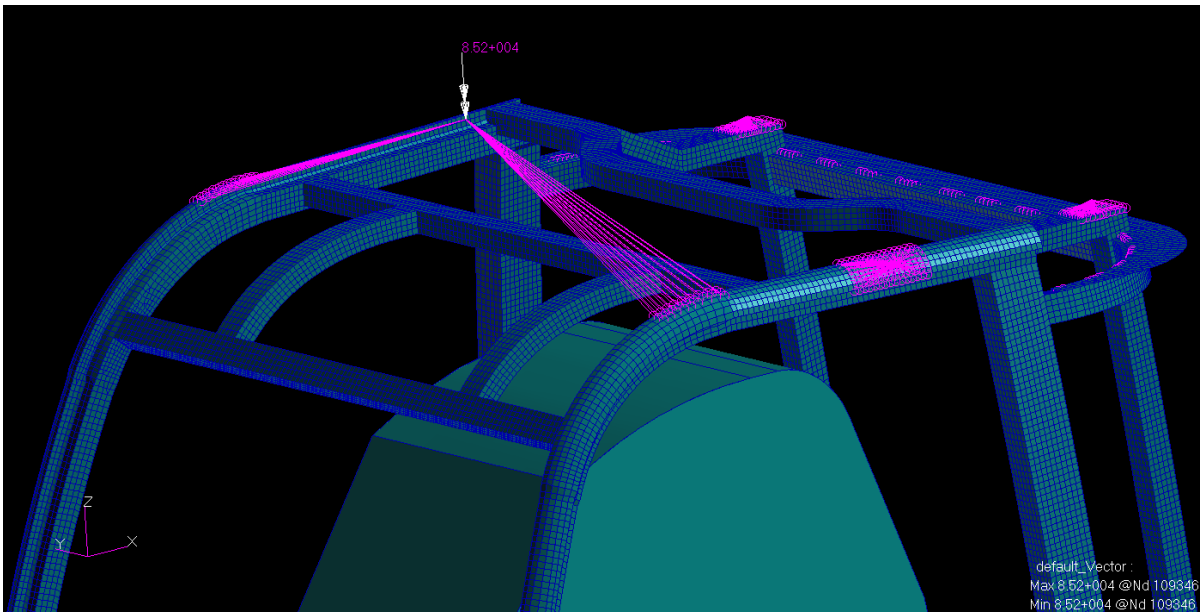
Önden ezme testi de arkadan ezmeye benzer bir şekilde, aynı mekanizma kullanılarak araç dikey ekseninde kabin ağırlığının yirmi katı bir yük ile ezilmesi ile gerçekleştirilir. Test sonucu yaşam alanına herhangi bir müdahale olmaması esasdır.

Buna göre kabin sonlu elemanlar modeli, ezme mekanizmasını temsilen RBE2 tipi elemanlar kullanılarak, araç dikey ekseninde saniyede 5 mm'yi geçmeyecek bir hızda deplasman verilerek analiz edilmiştir.



Şekil 10: Önden Ezme Sonlu Elemanlar Benzetimi

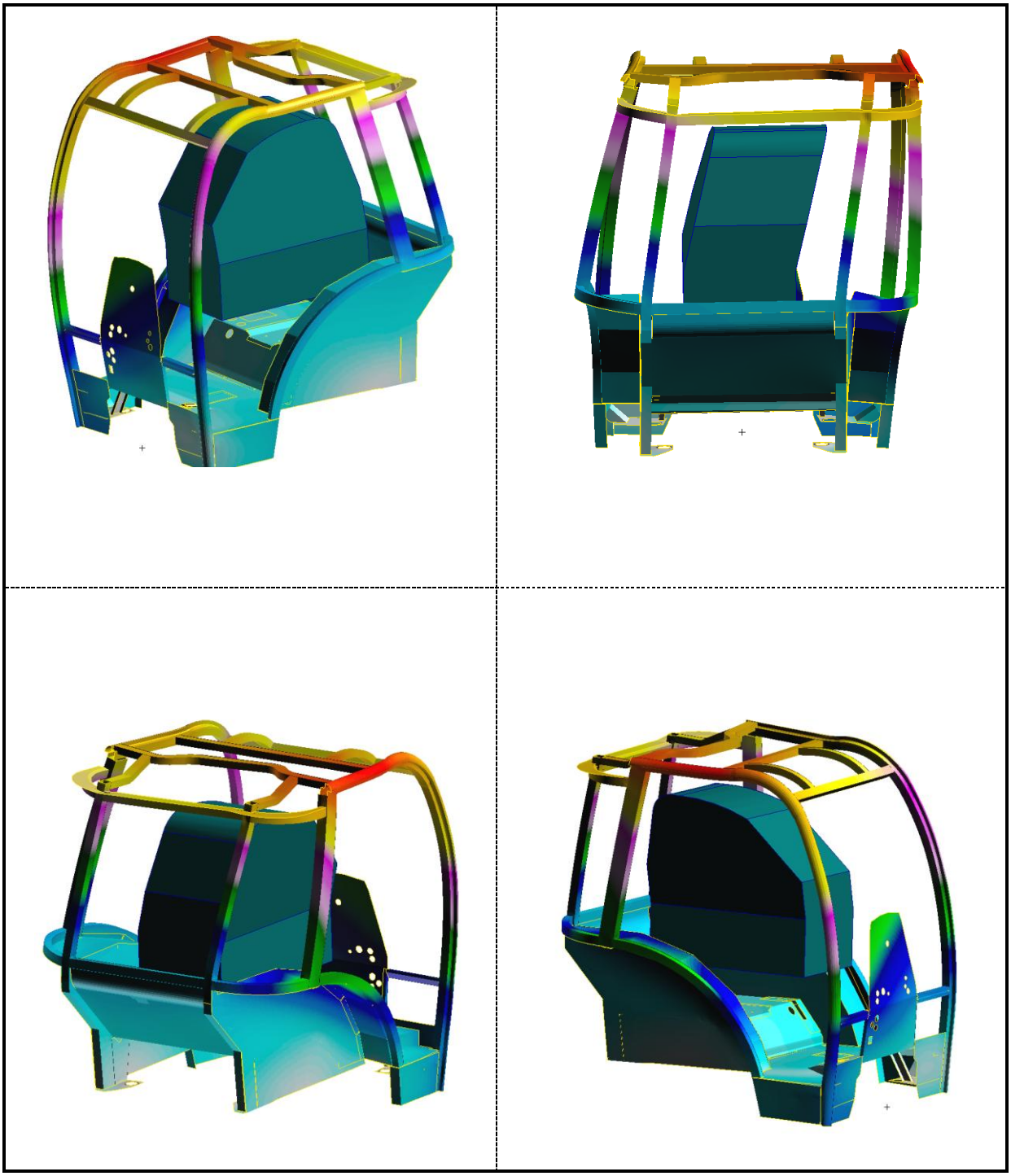
Kabin sonlu elemanlar modeline 60 mm deformasyon 8 birim zamda 8 adımda uygulanmıştır. Bu analiz sonucu elde edilen reaksiyon kuvveti ise 85200 N olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer testin sonlandırılması için gerekli yükün üzerindedir.



Şekil 11: Önden Ezme Sonucu Elde Edilen Reaksiyon Kuvveti

Önden ezme analizleri sonucu oluşan deformasyonlara bakıldığında kabinin yaşam alanına müdahale etmediği görülmektedir.

Aşağıda dört yükleme sonucu kabinde oluşan deformasyonlar yaşam alanı ile birlikte gösterilmiştir. Görüldüğü üzere



Şekil 12: Analiz Sonucu Kabinde Görülen Deformasyon -Y aşam Alanı Konumları

6. SONUÇLAR

Yapılan çalışma kapsamında firmamız bünyesinde tasarımı yapılan bir traktör kabininin regülasyon uyumluluk testleri önceci sanal doğrulaması yapılmıştır. Yapılan sonlu eleman analizleri neticesinde kabinin TAMTEST tarafından gerçekleştirilen statik yükleme testlerinden geçeceği öngörüsü üretici firma ile paylaşılmıştır.

Yapılan testler neticesinde prototip kabinin gerekli dayanımı sağladığı görülmüştür. Test sonuçları Üretici firma ile yapılan gizlilik sözleşmesi nedeni ile paylaşılamamıştır.

7. KAYNAKLAR

[1] Tekerlekli Tarım veya Orman Traktörlerinin Devrilmeye Karşı Koruma Çerçevesi İle İlgili Tip Onayı Yönetmeliği (79/622/AT)

[2] http://www.mscsoftware.com