

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR DIŞ MEKÂN ELEKTRONİK CİHAZ KABİNİNİN
YAPISAL ANALİZİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ**

Makine Mühendisi Okan TOPTAŞ

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Teorisi ve Kontrol Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Cihan DEMİR

İSTANBUL, 2010

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR DIŞ MEKÂN ELEKTRONİK CİHAZ KABİNİNİN
YAPISAL ANALİZİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ**

Makine Mühendisi Okan TOPTAŞ

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Teorisi ve Kontrol Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Cihan DEMİR

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iviv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Dış Mekân Kabinleri.....	1
1.2 Dış Mekân Elektronik Cihaz Kabinleri.....	3
1.2.1 İklimsel etkilere karşı koruma	3
1.2.2 Elektromanyetik radyasyona karşı koruma	4
1.2.3 Isıya karşı koruma.....	4
1.2.4 Vandalizm ve darbelere karşı koruma	4
1.3 Uluslararası Standartlar.....	5
1.3.1 Dış mekân elektronik cihaz kabinleri standartları	5
1.3.1.1 İklimsel koşulların sınıflandırılması	6
1.3.1.2 Biyolojik koşulların sınıflandırılması	8
1.3.1.3 Kimyasal yönden aktif madde koşullarının sınıflandırılması	10
1.3.1.4 Mekanik yönden aktif madde koşullarının sınıflandırılması	11
1.3.1.5 Mekanik zorlanma koşullarının sınıflandırılması.....	14
1.3.2 Dış mekân telekomünikasyon kabinleri standartları.....	16
1.4 Araştırma Kapsamı	19
1.4 Elektronik Cihaz Kabinlerine Yönelik Çalışmalar	20
2. DIŞ MEKÂN KABİNİ TASARIMI	23
2.1 Dış Mekân Kabini Tasarım Kriterleri.....	23
2.2 Dış Mekân Kabini Konstrüksiyonu	25
2.3 İyileştirme Prensibi ve Parametrik Ölçüler	30
3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ	32
3.1 Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş.....	32
3.2 Sınır Değer Problemlerine Nümerik Yaklaşımlar	33
3.3 Nümerik Bir Yaklaşım Olarak Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Aşamaları	33
3.3.1 Ön işlem aşaması (Preprocessing Phase)	34
3.3.1.1 Çözüm alanını sonlu elemanlara ayırma.....	34
3.3.1.2 Eleman davranışına yaklaşım.....	35
3.3.1.3 Elemanlar için denklem geliştirme	37
3.3.1.4 Tüm problemi tanımlaması için elemanları birleştirme.....	38
3.3.1.5 Sınır koşullarının uygulanması.....	39
3.3.2 Çözüm aşaması (Solution phase).....	40

3.3.3	Son işlem aşaması (Postprocessing)	40
3.4	Sonlu Eleman Tipleri ve Seçim Kriterleri.....	40
3.5	Fiziksel Problemler ve Sonlu Elemanlar Çözümü.....	42
4.	SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE ANALİZLER.....	44
4.1	Dış Mekân Kabininin Sonlu Elemanlar Modeli	44
4.1.1	Sonlu elemanlar yönteminde genel varsayımlar.....	44
4.1.1.1	Geometride genel varsayımlar.....	44
4.1.1.2	Malzeme özelliklerinde genel varsayımlar	45
4.1.1.3	Ağ örgüsünde genel varsayımlar	45
4.1.1.4	Bağlantı elemanlarında ve kaynaklı bağlantılarda genel varsayımlar	45
4.1.2	Dış mekân kabininin sonlu elemanlar modelinde varsayımlar	45
4.1.3	Dış mekân kabini montajının sonlu elemanlar yaklaşımı	49
4.1.4	Dış mekân kabininin ağ örgüsünün oluşturulması	51
4.2	Modal Analiz.....	54
4.2.1	Modal analizin önemi ve kullanımı	54
4.2.2	Sonlu elemanlar yöntemi ile modal analiz.....	55
4.2.3	Dış mekân elektronik cihaz kabininin modal analizi.....	56
4.3	Harmonik Titreşim Analizi	61
4.3.1	Harmonik titreşim analizinin önemi ve kullanımı	61
4.3.2	Sonlu elemanlar yöntemi ile harmonik titreşim analizi	62
4.3.3	Dış mekân elektronik cihaz kabininin harmonik titreşim analizi.....	63
4.4	Tepki Spektrumu Analizi	71
4.4.1	Tepki spektrumu analizinin önemi ve kullanımı	71
4.4.2	Sonlu elemanlar yöntemi ile tepki spektrumu analizi.....	71
4.4.3	Dış mekân kabininin tepki spektrumu analizi	72
4.5	Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler.....	76
4.5.1	Harmonik analiz için sonuçlar ve değerlendirmeler	76
4.5.2	Tepki spektrumu analizi için sonuç ve değerlendirmeler	79
4.5.3	Analiz sonuçları ve değerlendirmeler	80
5.	İYİLEŞTİRME	82
5.1	İyileştirme Parametrelerinin Belirlenmesi	82
5.1.1	İyileştirmenin hedefi	82
5.1.2	İyileştirmenin kapsamı.....	83
5.1.3	İyileştirme prensibi	84
5.2	Dış Mekân Kabininin İyileştirilmesi.....	88
5.3	İyileştirme Sonuçları ve Değerlendirmeler	91
5.3	Genel Sonuçlar ve Değerlendirmeler.....	93
5.4	Öneriler	94
	KAYNAKLAR.....	95
	ÖZGEÇMİŞ.....	97

SİMGE LİSTESİ

A	Kesit alanı
A_i	i nodunda kesit alanı
$[C]$	Yapısal sönüm matrisi
E	Elastiklik modülü
f_i	i nodunda iç kuvvet
$\{F\}$	Yük matrisi
$[K]$	Katılık matrisi
$[K]^{(G)}$	Global katılık matrisi
l	Ortalama normal deformasyon
$[M]$	Toplam kütle matrisi
n	Serbestlik derecesi
R	Reaksiyon kuvveti
$\{R\}$	Reaksiyon kuvvetleri matrisi
$\{U\}$	Normalleştirilmiş özvektör
$\{u\}$	Nodal yer değiştirme matrisi
$\dot{\{u\}}$	Nodal hız matrisi
$\ddot{\{u\}}$	Nodal ivme matrisi
w	Dairesel frekans
w^2	Özdeğer
ε	Ortalama normal gerinim
ξ	Sönüm oranı
σ	Ortalama çekme gerilmesi
ϕ	Faz farkı

KISALTMA LİSTESİ

ATM	Automated Teller Machine
CAD	Computer Aided Design
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
IEC	International Electrotechnical Commission
CFD	Computational Fluid Dynamics

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Bir dış mekân elektronik cihaz kabini 2
Şekil 1.2	San Fernando Valley depreminin (1971) çeşitli doğrultularda kaydedilen ivme kayıtları (IEC, 1996)..... 15
Şekil 1.3	Deprem koşullarının karakteristik tepki spektrumu (ETSI, 2003b) 19
Şekil 2.1	ETSI EN 300 119-4 standardıyla belirli elektronik cihaz ölçüleri (ETSI, 2004) 24
Şekil 2.2	Tasarlanan dış mekân kabininin patlatılmış görünümü 26
Şekil 2.3	Tasarlanan dış mekân kabininin montaj prensibi ve temel ölçüleri (mm)..... 27
Şekil 2.4	Tasarlanan dış mekân kabininin kaynaklı montajı 28
Şekil 2.5	Dış mekân kabini kilit mekanizması ve diğer detay görünüşler..... 29
Şekil 2.6	Dış mekân kabini menteşe sisteminin perspektif görünüşü 30
Şekil 3.1	Eksenel yüke maruz bir blok..... 33
Şekil 3.2	Eksenel yüke maruz bir bloğu elemanlara ayırma 34
Şekil 3.3	F kuvvetine maruz sabit kesitli bir katı cisim 35
Şekil 3.4	Keyfi bir eleman boyunca iç kuvvetler..... 38
Şekil 3.5	Temel eleman şekilleri..... 41
Şekil 3.6	Sonlu eleman yönteminde kullanılan bazı 3 boyutlu elemanlar 41
Şekil 3.7	Sonlu elemanlar analizinin süreci (Bathe, 1996) 42
Şekil 4.1	Sonlu elemanlar modeli hazırlanacak dış mekân kabini 44
Şekil 4.2	Kaynaklı bağlantılarda yüzey bağlama yaklaşımı..... 47
Şekil 4.3	Orijinal ve varsayılan kilit mekanizmaları..... 48
Şekil 4.4	Sonlu elemanlar modeli hazırlanacak dış mekân kabini 49
Şekil 4.5	Sonlu elemanlar analizleri programı ile eleman tipinin seçilmesi 52
Şekil 4.6	Sonlu elemanlar analizleri programı ile ağ örgüsü inceliğinin ayarlanması..... 52
Şekil 4.7	4 yüzlü ve 4 düğüm noktalı lineer tetrahedron eleman 53
Şekil 4.8	Değişik inceliklerdeki ağ örgülerinin görünüşü 53
Şekil 4.9	Sonlu elemanlar analizleri programı için modal analiz ayarları 57
Şekil 4.10	Sonlu elemanlar analizleri programı için modal analiz sınır şartları..... 57
Şekil 4.11	Ağ örgüsü inceliğinin modal analiz sonuçlarına etkisi..... 58
Şekil 4.12	Bazı doğal frekans değerleri için mod şekilleri..... 60
Şekil 4.13	Harmonik yük şekli 61
Şekil 4.14	Sonlu elemanlar modeli, uygulanan yük, maksimum yatay yer değiştirmenin f frekansında uygulanan yüklerle zamana göre değişimi ve maksimum yatay yer değiştirmenin değişik yük frekanslarındaki değerleri 62
Şekil 4.15	Harmonik titreşim analizinde tahrik yönleri 63
Şekil 4.16	Harmonik titreşim analizinde uygulanan 3 farklı tahrik..... 64
Şekil 4.17	Sonlu elemanlar analizi programında harmonik analiz için frekans aralığının ayarlanması 64
Şekil 4.18	Sonlu elemanlar analizi programında harmonik analiz için tahrik hareketinin ayarlanması 65
Şekil 4.19	9 Hz mertebesi için 3 farklı tahrik durumunda gerçekleşen yer değiştirmeler 70
Şekil 4.20	9 Hz mertebesi için 3 farklı tahrik durumunda gerçekleşen eş değer gerilmeler 70
Şekil 4.21	Deprem ivmelerinin zamanla değişimi 72
Şekil 4.22	Tek serbestlik dereceli bir yapının tepki spektrumuna karşı zamanla değişen cevabı (Fagan, 1992) 72
Şekil 4.23	Deprem analizi için girdi tepki spektrumu (ETSI, 2003b) 73
Şekil 4.24	Sonlu elemanlar analizleri programında tepki spektrumu analizi..... 73

Şekil 4.25	Deprem tepki spektrumu kullanılarak üç yönlü tahrikle meydana gelen yer değiştirmelerin bileşenlerinin grafiksel gösterimi.....	75
Şekil 4.26	Deprem tepki spektrumu kullanılarak üç yönlü tahrikle meydana gelen eş değer gerilmelerin grafiksel gösterimi	75
Şekil 4.27	Harmonik titreşim tahriklerinin kabin parçaları üzerinde oluşturduğu en büyük eş değer gerilmeler (MPa)	76
Şekil 4.28	Tek tarafından dikey yönde ankastre şekilde mesnetlenmiş giriş	77
Şekil 4.29	x yönü harmonik tahrikle değişik frekanslardaki eş değer gerilmeler	78
Şekil 5.1	İyileştirme çalışmasında et kalınlıkları değişebilecek parçalar.....	83

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 IEC 60721-3-4 standardı ile iklimsel koşulların sınıflandırılması (IEC, 1996).....	7
Çizelge 1.2 IEC 60721-3-4 standardı ile özel iklimsel koşulların sınıflandırılması (IEC, 1996).....	8
Çizelge 1.3 IEC 60721-3-4 standardı ile biyolojik koşulların sınıflandırılması (IEC, 1996).....	9
Çizelge 1.4 IEC 60721-3-4 standardı ile kimyasal yönden aktif madde koşullarının sınıflandırılması (IEC, 1996).....	11
Çizelge 1.5 Tipik toz ve kum konsantrasyonları (IEC, 1996).....	13
Çizelge 1.6 Çöllerde artan rakımla birlikte değişen toz ve kum konsantrasyonları (IEC, 1996).....	13
Çizelge 1.7 IEC 60721-3-4 standardı ile mekanik yönden aktif madde koşullarının sınıflandırılması (IEC, 1996).....	14
Çizelge 1.8 IEC 60721-3-4 standardı ile mekanik koşullarının sınıflandırılması (IEC, 1996).....	14
Çizelge 1.9 ETSI EN 300 019-1-0 standardına göre çevresel koşulların sınıflandırılması (ETSI, 2003a).....	17
Çizelge 1.10 ETSI EN 300 019-1-4 standardı ile belirli çevresel ortam sınıfları (ETSI, 2003b).....	18
Çizelge 2.1 Kabin malzemelerinin mekanik özellikleri.....	25
Çizelge 2.2 Tasarlanan dış mekân kabini parçaları.....	25
Çizelge 2.3 İyileştirmede kullanılacak dış mekân kabini parçalarının et kalınlıkları.....	31
Çizelge 4.1 Sonlu elemanlar modeli hazırlanacak dış mekan kabini parçaları.....	48
Çizelge 4.2 Sonlu elemanlar modeli için kabin parçalarının bağlantıları.....	50
Çizelge 4.3 Değişik ağ örgüsü incelikleri ile değişen nod ve eleman sayıları.....	53
Çizelge 4.4 Değişik ağ örgüsü incelikleri kullanılarak yapılan modal analizlerle hesaplanmış ilk 5 doğal frekans değeri.....	58
Çizelge 4.5 Dış mekan kabininin 2-200 Hz arasındaki doğal frekans değerleri.....	60
Çizelge 4.6 x yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen en büyük yer değiştirmeler (mm).....	65
Çizelge 4.7 x yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen en büyük eş değer gerilmeler (MPa).....	66
Çizelge 4.8 x yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen gerilme emniyet katsayıları.....	66
Çizelge 4.9 y yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen en büyük yer değiştirmeler (mm).....	67
Çizelge 4.10 y yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen en büyük eş değer gerilmeler (MPa).....	67
Çizelge 4.11 y yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen gerilme emniyet katsayıları.....	68
Çizelge 4.12 z yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen en büyük yer değiştirmeler (mm).....	68
Çizelge 4.13 z yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen en büyük eş değer gerilmeler (MPa).....	69
Çizelge 4.14 z yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen gerilme emniyet katsayıları.....	69
Çizelge 4.15 Deprem tepki spektrumu analizi ile oluşan en büyük yer değiştirmeler.....	74
Çizelge 4.16 Deprem tepki spektrumu analizi ile oluşan en büyük eş değer gerilmeler.....	74
Çizelge 5.1 “Baza” parçasının et kalınlığı değişimine karşılık eş değer gerilmelerdeki değişim.....	84
Çizelge 5.2 “Sağ yan panel”, “arka panel” ve “sol yan panel” parçalarının et kalınlığı değişimine karşılık eş değer gerilmelerdeki değişim.....	85

Çizelge 5.3	“Çatı” parçasının et kalınlığı değişimine karşılık eş değer gerilmelerdeki değişim	86
Çizelge 5.4	“Sağ cihaz taşıyıcı” ve “sol cihaz taşıyıcı” parçalarının et kalınlığı değişimine karşılık eş değer gerilmelerdeki değişim	87
Çizelge 5.5	İyileştirme adımları ile et kalınlıklarının değişimine karşılık parçaların eş değer gerilmelerindeki değişim	89
Çizelge 5.6	İyileştirmeyle elde edilen dış mekân kabınınin y ve z yönlü tahrikle harmonik titreşim analizi sonuçları.....	90
Çizelge 5.7	İyileştirmeyle elde edilen dış mekân kabınınin deprem tepki spektrumu analizi sonuçları.....	91
Çizelge 5.8	Malzeme fiyatları ile ilgili parametreler (25.05.2010)	92
Çizelge 5.9	İyileştirilmeyle sağlanan levha malzeme maliyeti düşümü	92

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasının temel amacı, günümüz mühendislik analizlerinde yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar yönteminin teorisini ortaya koymak ve genel prensiplerini açıklamaktır. Bunun yanında, teknolojik gelişmelerle birlikte günlük hayatın ayrılmaz parçası haline gelen elektroteknik hizmetlerin sunumunu veya taşınmasını sağlayan dış mekân elektronik cihaz kabinlerinin maruz kaldıkları çevresel koşullar hakkında bilgi vermek ve mekanik tasarımları noktasında ipuçları edinmek amaçlanmıştır.

Bu çalışma için örnek olarak tasarlanan ve CAD yazılımlarından Solid Edge V20 ile bilgisayar ortamında modeli oluşturulan dış mekân elektronik cihaz kabininin, uluslararası standartlarla belirli mekanik çevresel koşullara karşı dayanımı sonlu elemanlar yöntemi analizleriyle irdelenmiştir.

Çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana destek veren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Cihan DEMİR'e, kaynak edinme konusundaki yardımlarından ötürü P. Çiğdem AKBAŞ'a, tecrübeleriyle uluslararası standartlar konusunda bana yol gösteren Yaltes Elektronik ve Bilgi Sistemleri A.Ş.'den Bülent HAMZAOĞLU'na ve Alcatel-Lucent Türkiye A.Ş.'den Volkan AKKOÇ'a, Solid Edge V20 yazılımını kullanmam için gerekli imkânı sağlayan Boğaziçi Yazılım A.Ş.'den Cemil AYKAÇ'a, yüksek lisans eğitimim boyunca fedekârlığını hissettiğim Gürsaş Elektronik Cihaz Kutuları LTD. ŞTİ. genel müdürü Mehmet Ruhi ERGÜN'e, manevi desteğini her zaman sürdüren Didem YAPICI'ya ve hayatım boyunca yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

BİR DIŞ MEKÂN ELEKTRONİK CİHAZ KABİNİNİN YAPISAL ANALİZİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ

Okan TOPTAŞ
Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Bu tez çalışmasında IEC ve ETSI organizasyonlarının yayınladığı uluslararası standartlar doğrultusunda dış mekân elektronik cihaz kabinlerinin maruz kalabileceği doğal koşullar açıklanmış ve seçilen bazı koşullar altında örnek bir dış mekân kabini için yapısal analiz gerçekleştirilmiştir.

CAD yazılımlarından Solid Edge V20 ile bir dış mekân elektronik cihaz kabini mekanik tasarımı yapılmıştır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar yönteminin teorisi açıklanmış, genel varsayım prensipleri üzerinde durulmuştur.

Örnek dış mekân elektronik cihaz kabini için doğal frekans değerleri bilgisayar ortamında sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilen modal analizle saptanmıştır.

Uluslararası standartlar ile verilen zorlama koşulları altında gerçekleştirilen harmonik titreşim analizi ve deprem tepki spektrumu analizleriyle yapıya ait parçalar için emniyet katsayıları hesaplanmıştır. Harmonik veya spektral karakterli titreşime maruz yapı üzerinde gerilme dağılımları incelendiğinde, en büyük gerilmelerin yere bağlantı noktaları civarında ortaya çıktığı, buna karşılık malzeme maliyeti açısından önemli parçalar için gerilmelerin düşük değerlerde olduğu görülmüştür.

Seçilen gerilme emniyet katsayısının tüm parçalar için sağlanması amacıyla, bazı parçaların et kalınlıkları değiştirilerek harmonik titreşim ve deprem tepki spektrumu analizleri tekrarlanmıştır. Kütleli büyük ve malzeme maliyeti açısından önemli parçaların et kalınlığı azaldıkça yere bağlantı noktaları civarında gerilmelerin azaldığı gözlenmiştir. Et kalınlıkları azaltılarak ve bütün parçalar için gerekli emniyet katsayıları elde edilerek malzeme maliyeti iyileştirilmesi ve emniyetli mukavemet sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sonlu elemanlar yöntemi, yapısal analiz, dış mekân elektronik cihaz kabinleri.

JÜRİ:

1. Yrd. Doç. Dr. Cihan Demir
2. Yrd. Doç. Dr. Semih Sezer
3. Yrd. Doç. Dr. Yener Taşkın

Kabul tarihi: 12.10.2010
Sayfa sayısı: 94

ABSTRACT

STRUCTURAL ANALYSIS OF AN OUTDOOR ELECTRONIC EQUIPMENT CABINET AND ITS IMPROVEMENT

Okan TOPTAŞ
Mechanical Engineering, M.S. Thesis

In this thesis study, natural conditions, under those outdoor cabinets for electronic equipment are liable to stand, are explained by international standards published by IEC and ETSI organizations and structural analysis is performed for a specimen outdoor cabinet under some selected conditions.

An outdoor electronic equipment cabinet is mechanically designed with Solid Edge V20 that is one of CAD softwares. Theory of finite element method, that is commonly used in contemporary times, is explained and its general assumption principles are focused on.

Natural frequency values for the specimen outdoor electronic equipment cabinet are determined by modal analysis performed in computer environment with finite element method.

Safety factors for each part of structure are computed from harmonic vibration analysis and earthquake response spectrum analysis those are performed under severe conditions given by international standards. By the examination of stress distributions for structure under conditions of harmonically or spectrally characterized vibrations, it is observed that maximal stresses are nearby ground connection points, while the parts, those are vital in respect of material cost, have low level stresses.

Modifying thicknesses of some parts, harmonic vibration analysis and earthquake response spectrum are iterated for the purpose of ensuring selected stress safety factors for all the parts. It is observed that as the thicknesses of the massive and monetarily vital parts decrease, maximal stresses decline, those are nearby ground connection points. Material cost improvement and safety strength are ensured by decreasing thicknesses and obtaining essential safety factors for all the parts.

Keywords: Finite element method, structural analysis, outdoor electronic equipment cabinets.

JÜRİ:

1. Yrd. Doç. Dr. Cihan Demir
2. Yrd. Doç. Dr. Semih Sezer
3. Yrd. Doç. Dr. Yener Taşkın

Kabul tarihi: 12.10.2010
Sayfa sayısı: 94

1. GİRİŞ

1.1 Dış Mekân Kabinleri

Günümüzde, hangi alanda olursa olsun teknolojik gelişmelerin tümü insan odaklıdır ve yaşam kalitesini arttırmayı amaçlar. İşte bu amaçla teknolojik gelişmelerin tümünün, insanların günlük yaşamının bir parçası haline gelmesi için gayret edilir. Günümüzde teknolojik endüstriyel ürünlerin büyük bir kısmı insanların barınma mekânlarında kullanılmakta ve dolayısıyla aynı mekânlarda muhafaza edilmektedir.

Bazı teknolojik ürünlerin ve bu ürünler vasıtasıyla sağlanan hizmetlerin ise insan yaşamında daha etkili rol alabilmesi için kullanımlarının mekân açısından kısıtlanmaması gerekir. Çünkü sosyal bir varlık olarak insanlar, satın aldıkları ürünlerden ve hizmetlerden halka açık alanlarda da yararlanmak isterler. Bazen de hizmet sektöründe faaliyet gösteren kuruluşlar, daha sık ve etkili kullanılmaları için hizmetlerini, insanların kolay bir şekilde yararlanabilecekleri mekânlara taşımak zorundadırlar. Her iki durumda da, dış ortam şartları için dayanıklı ve güvenli ürünlerin tasarlanması birincil esastır.

Günümüzde en çok kullanılan ve kullanımlarının dış mekân şartları nedeniyle kısıtlanmaması gereken endüstriyel ürünlerin başında motorlu taşıtlar ve iş makineleri gelmektedir. Motorlu taşıtların ve iş makinelerinin gerek hareketli aksamalarının gerekse kabin bölmelerinin tasarımında birincil esas dış mekân koşullarıdır. Bu çerçevede bir taşıtın ya da iş makinesinin yağmur, sıcaklık ve toz gibi atmosferik etkilere karşı dayanıklı, insan kaynaklı vandalizm etkileri veya kazalara karşı güvenli olması gerekir.

Hizmetlerini insanların kolay bir şekilde kullanımı için taşımak zorunda olan kuruluşların başında telekomünikasyon teknolojileri sektöründe faaliyet gösteren kuruluşlar gelir. Telekomünikasyon teknolojisi ile geliştirilmiş hizmetlerin, kullanıcılar tarafından daha etkin veya daha hızlı şekilde kullanılabilmesini sağlamak kuruluşun temel hedeflerinden biridir. Bu nedenle telekomünikasyon amacıyla belirli bir amaca yönelik olarak sistem haline getirilen elektronik cihaz gruplarının atmosfer şartlarına ve halka açık ortamlarda himaye edilebilmesi gerekmektedir. İşte bu noktada, tıpkı motorlu araçlar ve iş makinelerinde geçerli olduğu gibi elektronik cihazların himayesini sağlayabilecek bir dış mekân kabini ihtiyacı doğar. Bu dış mekân kabini, içerisinde bulunan cihazları sıcaklık ve toz gibi atmosferik olaylardan ve insan kaynaklı vandalizm etkilerinden koruyabilmelidir. Bankaların müşterilerine sunduğu ATM (automated teller machine) sistemlerine ait elektronik cihazları himaye eden kabinler de bu

gruptaki dış mekân kabinlerine örnek olarak gösterilebilir.

Dış mekân elektronik cihaz kabinlerinin motorlu araç kabinlerine göre en büyük farkı dış mekânlarda sabit şekilde kullanılmasıdır. Bu kabinler, telekomünikasyon ya da bilgi işlem teknolojileri için geliştirilmiş elektronik cihaz sistemlerinin muhafazasını sağlayarak, hem hizmet kuruluşunun yatırımlarının emniyette olmasını hem de hizmet kullanıcılarının konforunun sürekli kalmasını sağlar. İnternet kullanımının hızlı artışına karşılık hizmet sağlayıcıların, kullanıcılara yakın bir santral sağlamak amacıyla yerleşim birimlerinde dış mekânlara yerleştirdiği kabinler, dış mekân elektronik cihaz kabinlerine bir örnektir. Dış mekân elektronik cihaz kabinlerine bir örnek, Şekil 1.1’de gösterilen telekomünikasyon teknolojisi amaçlı bir kabin ile verilmiştir.



Şekil 1.1 Bir dış mekân elektronik cihaz kabini

Ürünlerin mekanik tasarımı açısından dış mekân koşulları büyük önem arz eder. Geometrik, metalürjik ve metodik olarak mekanik tasarım, dış ortam şartlarına göre şekillenir. Örneğin yağmur sularının kabin içerisine girmesinin engellenmesi geometrik, korozif atmosferik şartlara karşı kabin malzemesinin dayanımı metalürjik, titreşim veya darbe gibi dış ortam şartlarına karşı emniyeti sağlayabilecek üretim yöntemlerinin seçilmesi metodik açılarından

tasarım esaslarını oluşturur.

1.2 Dış Mekân Elektronik Cihaz Kabinleri

Telekomünikasyon ya da bilgi işlem teknolojileri gibi çeşitli amaçlarla geliştirilmiş elektronik cihaz sistemlerinin dış mekânlarda muhafazasını sağlayarak, hem hizmet kuruluşunun yatırımlarının emniyette olmasını hem de hizmet kullanıcılarının konforunun sürekli kalmasını sağlayan kabinler tipik dış mekân elektronik cihaz kabinleridir. Dış mekânlarda bulunmaları nedeniyle zorlu atmosferik şartlara ve mekanik zarar kaynağı olan insan kaynaklı vandalist etkilere maruz kalırlar. Bir dış mekân elektronik cihaz kabini tüm bu etkilere karşı dayanıklı olmak zorundadır.

Dış mekân elektronik cihaz kabinlerinin maruz kaldığı ve tasarım sırasında dikkate alınması gereken zorlayıcı etkiler geniş bir yelpazeye sahiptir. Bu etkilere kısaca değinilecektir.

1.2.1 İklimsel etkilere karşı koruma

Dış mekân elektronik cihaz kabinleri tasarımı ile değerli ekipmanları korumaktadır. Yağmur, kar, rüzgâr ve toz gibi etkiler iklimsel şartları oluşturur. Direk olarak kabin üzerine çarpan yağmur suyunun içeriye sızıp elektronik donanıma zarar vermesi önlenmelidir. Bunun için birleşme noktalarında tatbik edilen silikon malzemeler ile açılıp kapanan noktalarda kullanılan conta yapısı su sızdırmazlığını sağlayan başlıca önlemlerdir. Bazı kırsal bölgelerde kar yüksekliğinin kabin yüksekliğini geçebileceği, hatta uzun süre boyunca dış mekân kabininin kar altında kalabileceği unutulmamalıdır. Bu şartlarda dahi dış mekân kabininin su sızdırmazlığını sağlayabilmesi gerekir.

Bazı bölgelerde iklim şartları gereği şiddetli rüzgârlar yılın her döneminde etkili olabilmektedir. Hava akımı etkisiyle dış mekân kabinlerinin yan yüzeyine şiddetli bir basınç uygulanmaktadır. Özellikle büyük yanal yüzey alanına sahip kabinlerde, bu basınç fırtınalar sırasında ciddi mertebelere ulaşarak kabinlerin yere bağlantı noktalarında ciddi zorlanmalara neden olur. Dış mekân elektronik cihaz kabinlerinin kullanılacağı bölgelerin iklimsel özelliklerine göre bu etkiler göz önüne alınarak tasarım gerçekleştirilmelidir. Yine aynı iklimsel bölgelerde, toz yoğunluğu ve toz fırtınaları da dış mekân kabinleri için önemli derecede önlem alınması gereken etkilere sahiptir. Su sızdırmazlığının sağlanması aynı zamanda toz sızdırmazlığı da sağlar. Fakat farklı olarak, toz tanelerinin çarpması ile oluşan aşındırıcı etki ile dış mekân kabini dış yüzeyine tatbik edilen boyanın zarar görmemesi gerekir. Boya seçiminde bu husus dikkate alınmalıdır.

1.2.2 Elektromanyetik radyasyona karşı koruma

Günlük hayatta kullandığımız kablolu ve kablosuz cihazlar ile günümüzde yaygınlaşan baz istasyonları tarafından sürekli elektromanyetik frekanslar (EMF) ve radyasyon dalgaları yayılmaktadır. Bu elektromanyetik dalgaların dış mekân elektronik cihaz kabinleri içerisinde himaye edilmesi hedeflenen elektronik cihazlar üzerinde zararlı etkileri söz konusudur.

Günümüzde elektromanyetik dalgalara karşı koruyucu katkı maddeli boyalar ve kompozit malzemeler geliştirilmeye çalışılmaktadır.

1.2.3 Isıya karşı koruma

Dış mekân elektronik cihaz kabinleri içerisinde himaye edilen elektronik cihazlar sürekli ısı üretirler. Bu ısı dışarıya atılmadığı takdirde kabin içerisinde sıcaklık yükselir. Çoğu elektronik cihazın ise düzgün çalışması için belirli bir sıcaklık aralığı söz konusudur. Bu nedenle elektronik cihazlar tarafından üretilen ısıyla sıcaklığı artan havanın fanlar ya da ısı değiştiricilerle dış ortama atılması, dış ortamdan da taze havanın içeriye alınması gereklidir. Herhangi bir nedenle kabin içerisindeki hava sıcaklığı gereğinin altına düşerse ısıtıcılar devreye girerek sıcaklığı yükseltir.

Kabin içerisinde oluşan ısının daha rahat dış ortama transfer edilmesi için kabin yüzeylerini oluşturan paneller için ısı iletimi yüksek malzemeler seçilmelidir. Günümüzde endüstriyel uygulamalarda bu amaçla alüminyum malzemeler kullanılmaktadır.

Dış mekân elektronik cihaz kabinleri için kullanılan boyaların güneş tarafından salınan UV (ultraviyole) ışınlarına dayanıklı olması gerekir. Çünkü dış mekân kabinleri gün boyunca bu zararlı ışınlarla maruz kalır.

1.2.4 Vandalizm ve darbelere karşı koruma

Dış mekân kabinleri ile ilgili önemli bir problem vandalizmdir. Bir yerleşim biriminde bulunan dış mekân kabini için vandalizm, insanlar tarafından uygulanabilecek her türlü zorlayıcı etkidir. Bir dış mekân elektronik cihaz kabini değerli cihazları barındırır. Bu nedenle her zaman bir hedef halindedir.

Bu durum göz önüne alınarak dış mekân kabini tasarımında belirli esaslara dikkat edilmelidir. Menteşe sisteminin ve yere bağlantı elemanlarının gizli olması, dış mekân kabinleri için özel olarak geliştirilmiş kilit sistemlerinin kullanılması başlıca prensiplerdir.

Dış mekânlarda kullanılan kabinler çarpma şeklindeki her türlü zorlamaya da maruz kalabilir. Motorlu bir taşıtın çarpabileceği düşüncesiyle yere bağlantı elemanları ve kabin dış yüzey panelinin malzemesi dayanıklı olacak şekilde seçilmelidir.

Vandalizm dışında doğal kaynaklardan gelen mekanik zorlamalar da söz konusu olabilir. Bunların başında deprem sarsıntıları gelir. Deprem sırasında yere bağlantı noktalarından yer ivmesine maruz kalan kabin parçalarının bütünü üzerinde gerilmeler ortaya çıkacaktır. Bu gerilmeler de dış mekân kabini tasarımında dikkate alınmalıdır.

1.3 Uluslararası Standartlar

Himaye ettiği cihazların hizmetleri ve değeri açısından büyük önem taşıyan dış mekân elektronik cihaz kabinlerinin çevresel şartlara karşı güvenliği uluslararası standartlarla güvence altına alınmıştır. Bu çerçevede çeşitli kurumlar ve enstitüler tarafından yayınlanmış birçok standart bulunmaktadır ve bu standartlar uluslararası platformda kullanılmaktadır.

1.3.1 Dış mekân elektronik cihaz kabinleri standartları

Terminolojide genellikle “elektro teknoloji” olarak da tanımlanan, elektrik, elektronik ve ilgili teknolojiler için uluslararası standartlar hazırlama ve yayınlama konusunda dünyanın önde gelen organizasyonu IEC’dir (International Electrotechnical Commission). Elektrik ve elektronik teknolojileri çerçevesinde, çevresel koşullar, elektrik enerjisi verimliliği ve yenilenebilir enerjiler konularının her noktasında IEC, performans ve güvenlik sağlayan standartlar yayınlamıştır. Elektriksel, mekanik veya kimyasal dayanıklılık açısından gerek malzeme seçimi, gerek geometrik tasarım ve diğer konularda standartlar mevcuttur.

IEC 60721-3-4 standardı, çevresel koşulların ve şiddetlerinin sınıflandırmasını yapar. Bunlar, açık hava şartlarında sabit konumda kullanılan bir elektronik cihaz kabininin maruz kaldığı koşullar ve şiddetleridir. Standartta, dış mekân elektronik cihaz kabinleri içerisindeki cihazların performansını direk olarak etkileyen koşullardan bahsedilir. İç mekânlarda (açık hava şartlarına maruz kalmayan) veya açık hava şartlarında sabit değil de taşınarak kullanılan elektronik cihaz kabinleri için yine IEC tarafından yayınlamış başka standartlar söz konudur.

IEC 60721-3-4 standardının açıklaması “Classification of groups of environmental parameters and their severities Section 4: Stationary use at non-weatherprotected locations (Çevresel parametreler ve şiddetleri gruplarının sınıflandırılması Bölüm 4: Açık hava şartlarında sabit konumda kullanım)” şeklindedir. Standart içerisinde geçen tanımlamalara göre, “Stationary

use (Sabit konumda kullanım)” ifadesi ile belirli bir yerde kalıcı olacak şekilde montaj edilmiş kabinler, “non-weatherprotected locations” ifadesi ile de atmosferik hava şartlarının direk olarak etkilediği konumlar tarif edilmiştir.

Bu standartta sınıflandırılan koşullardan kısaca bahsedilecektir.

1.3.1.1 İklimsel koşulların sınıflandırılması

“IEC 60721-2-1 Environmental conditions appearing in nature – Temperature and humidity (Doğada karşılaşılan çevresel koşullar – Sıcaklık ve nem)” (IEC, 1987a) standardı iklimsel koşullar arasında en önemli parametreler olan sıcaklık ve nem koşullarından bahseder. Bu standartta sıcaklık ve nem açısından açık hava koşulları incelenir. Ürün tasarımlarında göz önüne alınacak en yüksek veya en düşük sıcaklık ve nem değerleri konusunda fikir vermek amaçlanmıştır. Bu standartta dünyanın tüm bölgeleri için iklimsel koşullar hakkında bilgi verilmiştir.

Açık hava koşullarında sıcaklığın elektroteknik ürünler üzerindeki etkisi, güneş radyasyonu, hava hızı veya yakın çevrede ısı üreten diğer cihazlar gibi başka parametrelere de bağlıdır. Nemin etkisi ise hava sıcaklığı, sıcaklık değişimleri veya havanın saflık derecesi gibi başka parametrelere bağlıdır.

İklimsel koşullarla ilgili bir diğer standart “IEC 60721-2-2 Environmental conditions appearing in nature – Precipitation and wind (Doğada karşılaşılan çevresel koşullar – Yağış ve rüzgâr)” standardıdır (IEC, 1988). Bu standart elektroteknik ürünler için yağış ve rüzgâr koşullarının temel özellikleri ve şiddetleri ile ilgilendir. Ürün tasarımlarında göz önüne alınacak uygun yağış ve rüzgâr şiddetlerini belirlemek bu standardın amacıdır.

Yağmur, kar, tipi gibi yağış biçimleri, bir bulut içerisindeki karmaşık bir sürecin sonuçlarıdır. Su damlacıkları buluttan ayrılıp aşağıya doğru hareket ederken sıcaklık değerleri pozitifse ve pozitif olarak kalırsa, su damlacıkları yağmur damlalarına dönüşerek yeryüzüne yağmur olarak düşer. Koşullara göre aşağıya inişleri sırasında damlalar büyümeye devam edebilir. Yağmur damlacıklarının çapı hızları ile birlikte artar. Yaklaşık 9 m/s hızda yağmur damlalarının çapı 5-6 mm ölçüsüne kadar artabilir. Bu seviyede yağmur damlası ikiye bölünerek 2 ayrı yağmur damlası oluşturur.

Su damlacıkları buluttan ayrıldıktan sonra aşağıya doğru hareketi sırasında tekrardan sıcaklığın 0 °C altında olduğu bölgelere girerse tipi formuna dönüşür ve yeryüzüne bu şekilde ulaşır. Alternatif olarak, bu su damlacıkları olduğu gibi kalarak yeryüzüne ulaşır ve çarptığı

yüzeylerde buzlanma meydana getirebilir. Hava akımlarının, sıcaklığın 0 °C altındaki bölgelere sürüklediği su damlacıkları dolu tanelerine de dönüşebilir. Bu takdirde oluşan buz tanecikleri ciddiye alınması gereken büyüklüğe ulaşırlar. Bugüne kadar kayda geçen en büyük dolu tanesinin çapı 140 mm'dir ve 1970'de Kansas'da görülmüştür. Şartlara göre bazen su damlacıkları kar tanelerine de dönüşebilir. Çapları 1 cm 'ye yaklaşan kar taneleri çok hafiftir.

Yerel rüzgârların etkisi termal ve mekanik anaförlerin oluşmasıdır. Günün aydınlık kısmında termal ve mekanik anaförler birlikte oluşurlarken, gece saatlerinde daha çok mekanik anaförler görülür. Bu anaförlerin temas ettiği yüzeydeki etkisi, sıklığı rastgele değerlerle oluşan ani rüzgârların aşındırıcılığıdır. Tornado ve kasırga gibi atmosferik fırtınalarda ise rüzgâr hızı çok büyük değerlere ulaşabilir. Tropik ve subtropik bölgelerdeki kasırgalarda rüzgâr hızı 80 m/s, tornadolarda ise 125 m/s değerlerine kadar ulaşabilir.

Çizelge 1.1 IEC 60721-3-4 standardı ile iklimsel koşulların sınıflandırılması (IEC, 1996)

ÇEVRESEL PARAMETRELER		BİRİM	SINIF					
			4K1	4K2 ⁶⁾	4K3	4K4	4K4H ⁶⁾	4K4L ⁶⁾
a)	Düşük hava sıcaklığı	°C	-20	-33	-50	-65	-20	-65
b)	Yüksek hava sıcaklığı	°C	+35	+40	+40	+55	+55	+35
c)	Düşük bağıl nem ¹⁾	%	20	15	15	4	4	20
d)	Yüksek bağıl nem ¹⁾	%	100	100	100	100	100	100
e)	Düşük mutlak nem ¹⁾	g/m ³	0,9	0,26	0,03	0,003	0,9	0,003
f)	Yüksek mutlak nem ¹⁾	g/m ³	22	25	36	36	36	22
g)	Yağmur şiddeti	mm/dak	6	6	15	15	15	15
h)	Sıcaklık değişim oranı ²⁾	°C/dak	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
j)	Düşük hava basıncı ³⁾	kPa	70	70	70	70	70	70
k)	Yüksek hava basıncı	kPa	106	106	106	106	106	106
l)	Güneş radyasyonu	W/m ²	1120	1120	1120	1120	1120	1120
m)	Isı radyasyonu	-	5)	5)	5)	5)	5)	5)
n)	Çevresel hava akış hızı	m/s	5)	5)	5)	5)	5)	5)
o)	Yoğuşma	-	Var	Var	Var	Var	Var	Var
p)	Yağış (Yağmur, kar, tipi vb.)	-	Var	Var	Var	Var	Var	Var
r)	Düşük yağmur sıcaklığı ⁴⁾	°C	+5	+5	+5	+5	+5	+5
s)	Yağmurdan farklı su kaynağı	-	5)	5)	5)	5)	5)	5)
t)	Buz ve don oluşumu	-	Var	Var	Var	Var	Var	Var

1) Verilen alt ve üst sınır sayısal değerleri aynı anda gerçekleşmez. Hava sıcaklığı-nem ilişkisi grafikler yardımıyla incelenmelidir.
2) 5 dakikalık çevrimlere göre ortalama değer verilmiştir.
3) Düşük basınç değeri 3000 m rakım için verilmiştir.
4) Düşük yağmur sıcaklığı değeri, yüksek hava sıcaklığı ve güneş radyasyonu değerleri ile birlikte değerlendirilmelidir. Yağmurun soğutucu etkisi ürünün yüzey sıcaklığı ile birlikte değerlendirilir.
5) Çevre koşulları "özel iklimsel koşulların sınıflandırılması" çizelgesinden seçilmelidir.
6) İklimsel koşul sınıfının dahil olduğu çevresel ortam sınıfı için Çizelge 1.10'a bakılmalıdır.

Çizelge 1.2 IEC 60721-3-4 standardı ile özel iklimsel koşulların sınıflandırılması (IEC, 1996)

ÇEVRESEL PARAMETRELER		SINIF	BİRİM	ÖZEL KOŞUL
j)	Düşük hava basıncı ³⁾	4Z10	kPa	84
m)	Isı radyasyonu ¹⁾	4Z1	-	İhmal edilebilir
		4Z2	-	Gerçek çalışma koşulları
n)	Çevresel hava akış hızı	4Z3	m/s	20
		4Z4	m/s	30
		4Z5 ³⁾	m/s	50
s)	Yağmurdan farklı su kaynağı ²⁾	4Z6	-	İhmal edilebilir
		4Z7	-	Su sıçraması
		4Z8	-	Su jeti
		4Z9	-	Su Dalgaları
1) Isı radyasyonu sadece özel durumlarda ortaya çıkar ve sadece uygulanabileceği durumlarda değerlendirilir. 2) 4Z10 sınıfı 1400 m yüksekliğe tekabül eder. 3) Özel iklimsel koşul sınıfının dahil olduğu çevresel ortam sınıfı için Çizelge 1.10'a bakılmalıdır.				

Rüzgâr, sıcaklık ve yağış gibi iklimsel koşulların dış mekân elektronik cihaz kabinleri için ne kadar önemli olabileceği anlaşılmaktadır.

IEC 60721-3-4 standardı dış mekânlarda sabit şekilde kullanım için çevresel koşulları sınıflandırmaktadır (IEC, 1996). Bu standartta iklimsel koşullar 6 şiddet sınıfına ayrılmıştır. 6 sınıf için de parametrelerin şiddetleri Çizelge 1.1 ile verilmiştir. Ürünlerin montaj edildiği bölgedeki mikro iklimsel özellikler genel iklimsel özelliklerden bazı parametreler açısından belirgin şekilde farklılık gösterebilir. Bu parametrik farklılığı belirten değerler Çizelge 1.2 ile verilmiştir.

1.3.1.2 Biyolojik koşulların sınıflandırılması

Çevresel koşulların biyolojik yönlerini “IEC 60721-2-7 Environmental conditions appearing in nature – Fauna and Flora (Doğada karşılaşılan çevresel koşullar – Fauna ve bitki örtüsü)” standardı irdeler (IEC, 1987b). Fauna, belirli bir bölgede yaşayan hayvan türlerinin tümünü ifade eder. Bu standart fauna ve bitki örtüsünden kaynaklanan çevresel koşulların etkilerini araştırır.

Dış mekân elektronik cihaz kabinlerinin fonksiyonelliği fauna ve bitki örtüsünün fiziksel saldırıları ile bozulmaya başlayabilir. Kabin malzemesi özellikle böceklerden ve

kemirgenlerden kaynaklanan fauna saldırılarına maruz kalabilir. Bu saldırılar malzemeden beslenme, malzemeyi kemirme, malzemeyi çiğneme, malzemeyi delme şeklinde gerçekleşir. Termit türü böcekler bu saldırıları gerçekleştiren başlıca canlılardır. Saldırıları açık malzemeler ağaç, deri, kağıt, kumaş, elastomerler dahil polimerik malzemeler ile kurşun veya tenke gibi ince metal malzemelerdir. Bitki örtüsü ise, gübreli toprak bulunan bölgelerde çeşitli bitkilerin büyüebilmesi ve ürünleri kaplayabilmesi nedeniyle bir tehdit oluşturmaktadır.

Fauna ve bitki örtüsünün bu olumsuz etkileri nedeniyle, malzemelerin veya cihazların bozulması, mekanik deformasyon, yüzey kalitesinin bozulması ve elektriksel arızalar gibi durumlar yaşanabilir.

Ürünlerin fonksiyonlarını etkileyen bir başka faktör çeşitli türde tortuların oluşabilmesidir. Bunlar kemirgenler, böcekler ya da kuş gibi hayvanlar nedeniyle oluşabilir. Hayvanların varlığı, besinlerini depo etmeye çalışmaları, yuva kurmaları, dışkıları ve salgıladıkları enzimlerle ürünler üzerinde çeşitli tortu veya kalıntılar oluşabilir. Bitki örtüsünden kaynaklanan kalıntılar yaprak, tohum, meyve ve çiçek gibi bitkilerden kalan artıklar veya humuslu topraklarda yetişen kültürlerden kaynaklanan bakterilerin metabolik artıkları olabilir.

Fauna ve bitki örtüsünün tortularından kaynaklanan etkilerle malzemede bozulma ve korozyon, mekanik deformasyon ve arıza, elektriksel arıza, nem emme ve ısı gidermede azalma gibi olumsuzluklar yaşanabilir.

Çizelge 1.3 IEC 60721-3-4 standardı ile biyolojik koşulların sınıflandırılması (IEC, 1996)

ÇEVRESEL PARAMETRELER	BİRİM	SINIF	
		4B1 ¹⁾	4B2 ¹⁾
a) Bitki örtüsü	-	Küf veya mantar bulunması	Küf veya mantar bulunması
b) Fauna	-	Kemirgen ve ürünler için zararlı diğer hayvanların bulunması, termitler hariç	Kemirgen ve ürünler için zararlı diğer hayvanların bulunması, termitler dahil
1) Biyolojik koşul sınıfının dahil olduğu çevresel ortam sınıfı için Çizelge 1.10'a bakılmalıdır.			

Fauna ve bitki örtüsünün etkileri bir ürünün taşınması veya kullanılması gibi her aşamada ortaya çıkabilir. Fauna binaların içinde olduğu gibi açık hava şartlarında da etkiyebilirken, bitki örtüsü sadece açık hava şartlarında etkiyebilir. Fauna ve bitki örtüsü etkilerinin ortaya çıkması sıcaklık ve neme bağlıdır. Sıcak ve nemli iklimlerin hâkim olduğu bölgelerde küf

veya bakteriler, böcekler ve mikro organizmalar en iyi yaşam koşullarına sahiptir. Dış mekân kabinlerinin yüzeyleri gres, yağ ve toz gibi organik maddeler veya hayvan ve bitki kaynaklı tortular barındırıyorsa, bu yüzeyler küf veya bakterilerin yetişmesi için idealdir.

IEC 60721-3-4 standardı dış mekânlarda sabit şekilde kullanım için çevresel koşulları sınıflandırmaktadır. Bu standartta biyolojik koşullar 2 sınıfa ayrılmıştır. Biyolojik koşullar için sayısal şiddetler belirlenmemiştir. Bu koşullara ait karakteristikler Çizelge 1.3 İle verilmiştir.

1.3.1.3 Kimyasal yönden aktif madde koşullarının sınıflandırılması

Atmosferde rastlanan birçok kimyasal aktif madde elektronik cihazlar için tehdit unsurudur. IEC 60721-3-4 standardı kimyasal yönden aktif maddelerin oluşturabileceği zararlı koşullardan bahseder.

Doğal atmosferin kirlenmesi temel olarak ısıtma sistemlerinin, motorlu taşıtların ve endüstriyel diğer faaliyetlerden kaynaklanır. Daha ileri bir etki ise aerosollerdir. Atmosferin kirliliği elektronik cihaz kabinlerinin malzemelerini ve fonksiyonlarını etkileyebilir.

Kimyasal yönden aktif maddelerin sınıflandırılmasında verilen değerler birkaç yıl süreyle yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen değerlerdir. Yüksek konsantrasyon değerlerinde direk etkiler malzeme üzerinde onarılamayacak hasarlara neden olur. Sınıflandırmada kısa süreli etkiler için maksimum değerler verilmiştir. Uzun süreli etkiler dış mekan elektronik cihaz kabinlerinin iç kısmındaki parçalar için bile önemli olabilir. Uzun süreli etkiler için sınıflandırmada ortalama konsantrasyon değerleri verilmiştir.

Pratikte, sınıflandırmada geçen atmosferik kirlilik parametreleri eş zamanlı olarak gerçekleşmez. Yine bu atmosferik kirlilik parametrelerinin eşzamanlı olarak artış ve homojenlik gösterme olasılığı düşüktür. Yerel konuma göre atmosferik kirlilik parametrelerinden birinin, diğerlerinden daha yüksek değeriyle karşılaşılır. Sınıflandırmada 4C1 sınıfı ile verilen değerlere normal şartlarda kırsal alanlarda rastlanır. 4C2 sınıfı için verilen değerlere kentsel yaşam alanlarında karşılaşılır. 4C1 ve 4C2 sınıfları, her bir parametre için belirtilen değerlerle birlikte bütün olarak ele alınır. Fakat 4C3 ve 4C4 sınıfları her parametre için bir değer belirtse de, bütün parametreleri ile birlikte bir bütün olarak ele alınmaz. Söz konusu uygulama ve ortamı için baskın olan parametre değeri 4C3 ve 4C4 sınıfı olarak belirtilen değerdir; adı özel olarak anılmayan diğer parametreler 4C2 sınıfı için belirtilen değerleri alır.

IEC 60721-3-4 standardı dış mekânlarda kimyasal yünden aktif maddelerin yarattığı çevresel koşulları sınıflandırır. Çizelge 1.4 bu sınıflandırmayı göstermektedir.

Çizelge 1.4 IEC 60721-3-4 standardı ile kimyasal yünden aktif madde koşullarının sınıflandırılması (IEC, 1996)

ÇEVRESEL PARAMETRELER		BİRİM	SINIF						
			4C1	4C2 ³⁾		4C3 ³⁾		4C4	
			Azami Değer	Ortalama Değer	Azami Değer	Ortalama Değer	Azami Değer	Ortalama Değer	Azami Değer
a)	Deniz ve kaya tuzları	-	-	Tuz sisi koşulları					
b)	Sülfür dioksit	mg/m ³	0,1	0,3	1	5	10	13	40
		cm ³ /m ³	0,037	0,11	0,37	1,85	3,7	4,8	14,8
c)	Hidrojen sülfid	mg/m ³	0,01	0,1	0,5	3	10	14	70
		cm ³ /m ³	0,0071	0,071	0,36	2,1	7,1	9,9	49,7
d)	Klor	mg/m ³	0,1	0,1	0,3	0,3	1	0,6	3
		cm ³ /m ³	0,034	0,034	0,1	0,1	0,34	0,2	1
e)	Hidrojen klorür	mg/m ³	0,1	0,1	0,5	1	5	1	5
		cm ³ /m ³	0,066	0,066	0,33	0,66	3,3	0,66	3,3
f)	Hidrojen florit	mg/m ³	0,003	0,01	0,03	0,1	2	0,1	2
		cm ³ /m ³	0,0036	0,012	0,036	0,12	2,4	0,12	2,4
g)	Amonyak	mg/m ³	0,3	1	3	10	35	35	175
		cm ³ /m ³	0,42	1,4	4,2	14	49	49	247
h)	Ozon	mg/m ³	0,01	0,05	0,1	0,1	0,3	0,2	2
		cm ³ /m ³	0,005	0,025	0,05	0,05	0,15	0,1	1
j)	Nitrojen oksitler	mg/m ³	0,1	0,5	1	3	9	10	20
		cm ³ /m ³	0,052	0,26	0,52	1,56	4,68	5,2	10,4

1) Ortalama değerler uzun süreli etki değerleri olarak verilmiştir. Azami değerler 1 gün için 30 dakikadan daha uzun sürmeyen etkiler için limit değerler olarak verilmiştir.

2) cm³/m³ olarak verilen değerler, kimyasal aktif maddelerin 20 °C sıcaklık ve 101,3 kPa basınçtaki durumları referans alınarak mg/m³ olarak verilen değerlerinden hesaplanmıştır.

3) Kimyasal yünden aktif madde koşul sınıfının dahil olduğu çevresel ortam sınıfı için Çizelge 1.10'a bakılmalıdır.

1.3.1.4 Mekanik yünden aktif madde koşullarının sınıflandırılması

“IEC 60721-2-5 Environmental conditions appearing in nature – Dust, sand, salt mist

(Doğada karşılaşılan çevresel koşullar – Toz, kum, tuz sisi)” standardı doğada mekanik olarak aktif haldeki maddelerin elektronik cihazlar üzerindeki etkileri konusunda tariflerde bulunur (IEC, 1991). Elektronik cihazların taşıma, depolama veya kullanımı sırasında maruz kalması mutlak olan toz, kum veya tuz sisine (buğusuna) sahip atmosferik koşulların özelliklerinden bahseder. Bu faktörlerin etkinliği rüzgârlar tarafından desteklendiğinde artıyor olmasına rağmen bu durum standart tarafından dikkate alınmamaktadır.

Toz, kum, tuz sisi ve beraberinde rüzgârlar elektronik cihazları birçok şekilde etkileyebilir. Bunları; tozun elektronik cihaz kutularının içine girmesi, elektriksel karakteristiklerin etkilenmesi, hareketli parçalarda aksamalar, aşınma ve korozyon gibi yüzey kusurları, yağlayıcıların kirlenmesi, ısı iletiminin azalması, çalışma için gerekli fan, boru veya filtrelerin tıkanması olarak örneklendirebiliriz. Toz ve kumun, su buharı gibi başka bir çevresel faktörle bir arada bulunması, küflenme ya da yüzey korozyonu gibi zararlı etkiler doğurur. Nemli ve sıcak atmosferik koşullar kimyasal olarak aktif toz koşulları ile birleşirse yüzeylerde korozyona neden olabilir. Tuz sisi koşulları da aynı etkiye sahiptir.

Toz ve kumun aerodinamik davranışlarındaki farklılığa dayanarak tanımlarını yapabiliriz. Toz, kaynağı ile yapısı bilinmeyen ve boyutu 1 µm ile 150 µm arasında değişen partiküller maddedir. Boyutu 75 µm ’den daha az olan partiküller, atmosferdeki doğal türbülanslar nedeniyle çok uzun süre boyunca havada kalabilir. Kum, temelde yuvarlaklaşmış kuvars tanelerinden oluşmuş, birbirinden ayrık aşınmış kalıntıların bir araya birikmesidir. Kum terimi kaya biliminde boyutu 100 µm ile 1000 µm arasında değişen tanelere atfedilir. Boyutu 150 µm ’den büyük kum taneleri, güçlü hava akımları ve türbülanslar sürekli şekilde etkimedikçe havada kalamazlar.

Çöller veya benzeri tozlu bölgelerde doğal yollarla meydana gelen çoğu toz ve kum kümelerinin esas unsuru kuvars taneleridir. Kuvars tanelerinin ürünlerde hasar ve hızlı aşınma yaratan belirgin özelliği sertlikleridir. Yine de malzeme erozyonu için, toz veya kumla birlikte şiddetli hava akımları veya uzun zaman gerekir.

Boyutu 75 µm ‘ye kadar değişen partiküller ince toz, 75 µm ile 150 µm arasında değişen partiküller iri taneli toz, 150 µm ile 1000 µm arasında değişen partiküller ise kum olarak sınıflandırılır.

Toz veya kum konsantrasyonları kütle esasıyla ölçülür. Havanın birim hacminin içerdiği toz veya kum kütlesi olarak tarif edilir. Atmosferdeki toz ve kum konsantrasyonu bölgenin coğrafik konumuna göre değişir. Yerel iklimsel özellikler ve aktiflik derecesi konsantrasyon

noktasında önemli rol oynar.

Çizelge 1.5 ılımlı iklimlere sahip belli bölgelerde karşılaşılan tipik toz ve kum konsantrasyonlarını gösterir. Çizelge 1.6 ise, artan rakımla birlikte özel meteorolojik durumlarda karşılaşılan toz ve kum konsantrasyonunu gösterir.

Çizelge 1.5 Tipik toz ve kum konsantrasyonları (IEC, 1996)

Bölge	Toz ve kum konsantrasyonu $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Kırsal ve banliyö	40 - 110
Kentsel	100 - 450
Endüstriyel	500 - 2000

Çizelge 1.6 Çöllerde artan rakımla birlikte değişen toz ve kum konsantrasyonları (IEC, 1996)

Görüş Koşulları	Rakım m	Toz ve kum konsantrasyonu $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Açık hava, görüş mesafesi 130 km	150	210
	300	220
	600	170
	1200	140
	1800	55
Toz ve kum fırtınası, görüş mesafesi 300 m, hava akış hızı 10-15 m/s	150	2000
	300	17400
	600	7000
	900	1800
	1200	640

Açık denizlerde ve sahil kesimlerinde atmosfer tuz halindeki bileşenlere sahiptir. Bu bölgelerde atmosferde katı partiküller, çözelti halindeki damlacıklar veya başka formlarda tuz bulunur. Açık deniz atmosferindeki tuz bileşenlerinin konsantrasyonu denizdeki değerine yakındır. Coğrafik konum ve iklimsel özelliklere bağlı olarak değişmekle beraber, doğal deniz suyunun tuz konsantrasyonu %3,4 olarak alınabilir. Örneğin Kızıl Deniz için bu değer %4'tür. Tuz konsantrasyonu veya tuzluluk, 1 kg deniz suyunun içerdiği katı metal kütlesi olarak

tanımlanır. Tuzlu atmosferlerdeki konsantrasyonlar deniz suyunun atmosfere buharlaşması ve rüzgâr gibi dağıtıcı etkilere bağlıdır. Sahil bölgelerinin ve körfezlerin açık denizlere göre tuz konsantrasyonları genellikle daha azdır.

IEC 60721-3-4 standardı dış mekânlarda mekanik yönden aktif maddelerin yarattığı çevresel koşulları sınıflandırır. Çizelge 1.7 bu sınıflandırmayı göstermektedir.

Çizelge 1.7 IEC 60721-3-4 standardı ile mekanik yönden aktif madde koşullarının sınıflandırılması (IEC, 1996)

ÇEVRESEL PARAMETRELER		BİRİM	SINIF			
			4S1	4S2 ¹⁾	4S3 ¹⁾	4S4
a)	Kum	mg/m ³	30	300	1000	4000
b)	Toz (havada uçuşan)	mg/m ³	0,5	5	15	20
c)	Toz (çöken)	mg/(m ² h)	15	20	40	80
1) Mekanik yönden aktif madde koşul sınıfının dahil olduğu çevresel ortam sınıfı için Çizelge 1.10'a bakılmalıdır.						

1.3.1.5 Mekanik zorlanma koşullarının sınıflandırılması

IEC 60721-3-4 standardı, düşük ve yüksek frekans aralıklarında, sinüs biçimli titreşimleri yer değiştirme ve ivme bazında sınıflandırır. Bu standartta depremlerde gerçekleştiği gibi rastgele titreşimlere yer verilmemiştir. Bir dış mekân elektronik cihaz kabini ile aynı ortamda bulunan ve titreşim yaratan başka kaynaklar var olabilir. Bu durumda yere bağlantı noktaları vasıtasıyla dış mekân kabinine titreşimler etkir. Çizelge 1.8, IEC-60721-3-4 standardının sinüs biçimli titreşimler için yaptığı sınıflandırmayı göstermektedir.

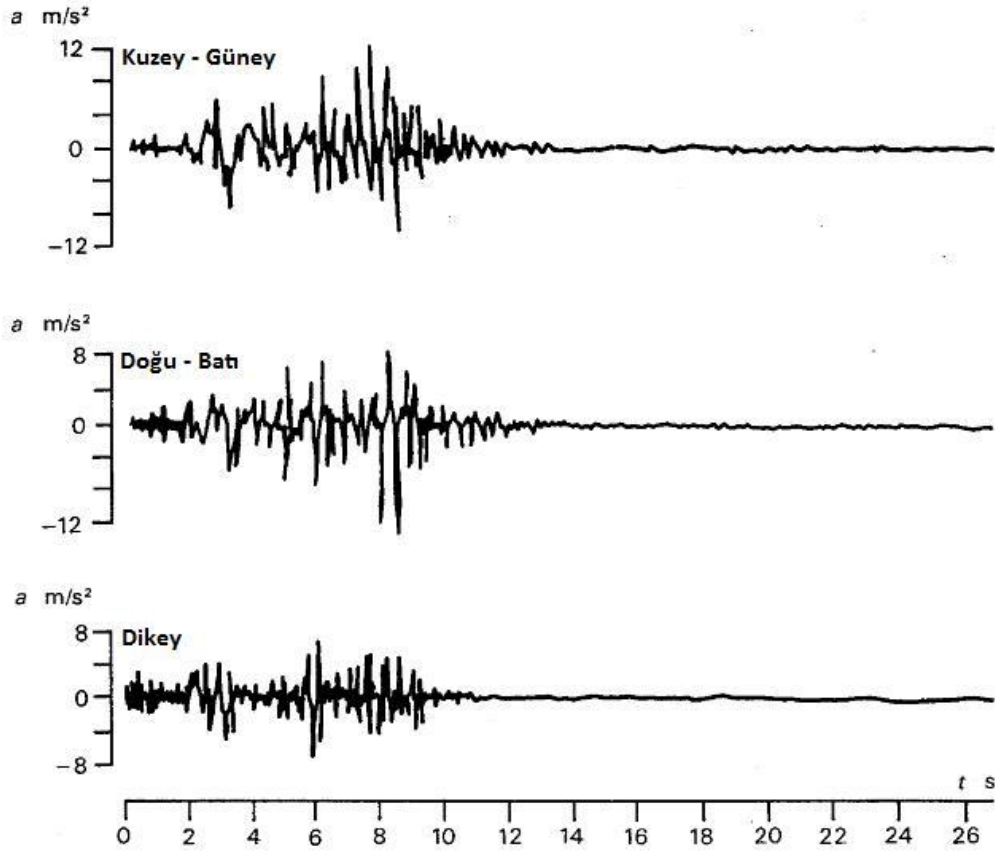
Çizelge 1.8 IEC 60721-3-4 standardı ile mekanik koşullarının sınıflandırılması (IEC, 1996)

ÇEVRESEL PARAMETRE		BİRİM	SINIF						
			4M1	4M2, 4M3	4M4, 4M5 ²⁾	4M6	4M7	4M8	
a)	Sinüs biçimli, sürekli rejim titreşimi								
	Yer değiştirme genliği	mm	0,3 -	1,5 -	3 -	7 -	10 -	15 -	
	İvme genliği	m/s ²	- 1	- 5	- 10	- 20	- 30	- 50	
	Frekans aralığı	Hz	2-9 9-200	2-9 9-200	2-9 9-200	2-9 9-200	2-9 9-200	2-9 9-200	
1) Değerleri aynı sınıflar, burada verilmeyen başka karakteristikleri nedeniyle birbirlerinden ayrılırlar.									
2) Mekanik koşul sınıfının dahil olduğu çevresel ortam sınıfı için Çizelge 1.10'a bakılmalıdır.									

“IEC 60721-2-6 Environmental conditions appearing in nature – Earthquake vibration and

shock (Doğada karşılaşılan çevresel koşullar – Deprem titreşimi ve sarsıntısı)” standardı dış mekân elektronik cihaz kabinlerinin çalışma sırasında maruz kalma ihtimali büyük olan deprem koşullarını inceler (IEC, 1990). Deprem ivmeleri sadece yer yüzeyi için verilmiştir. Ürünlerin çeşitli yapılar üzerinde kullanılma durumlarından sınırlı şekilde bahsedilmiştir.

Depremlerden kaynaklanan etkiler olasılıklı süreçler olarak modellenebilen titreşimlerdir ve ürünleri çok çeşitli yollarla etkileyip mekanik gerilmelere neden olabilirler. Depremler, yer kabuğunda kritik dereceye kadar birikmiş gerilmelerin yer kabuğunun kırılmasına neden olduğunda gerçekleşir. Yer kabuğundaki bu kararsızlıklar sismik bölgeler olarak bilenen alanlarda mevcuttur. Sismik bölgeler okyanus sırtlarının, sıra dağların, volkanların, okyanus siperlerinin ve tektonik fayların bulunduğu yerlerdir. Yer kabuğundaki bu ani kırılmalar, iç merkezden 3 farklı formda ve hızda yayılan dalgalar vasıtasıyla büyük potansiyel enerji salar.



Şekil 1.2 San Fernando Valley depreminin (1971) çeşitli doğrultularda kaydedilen ivme kayıtları (IEC, 1996)

Depremler eş zamanlı fakat yatay ve dikey bileşenlere ayrılabilen rastgele yeryüzü hareketlerine neden olur. Ortalama şiddette bir deprem 15 ile 30 saniye arasındaki bir süre boyunca devam eder. Şiddetli depremler için ise bu süre 60 ile 120 saniye arasındadır. Genelde, depremin en büyük ivmeli kısmı ilk 10 saniye içerisinde sona erer. Geniş bantlı tipik

bir yeryüzü hareketi 1 ile 35 Hz arasındaki kısımda en büyük enerjisine sahiptir ve 1 ile 10 Hz arasındaki kısımda en büyük zarar verici etkilerini gösterir.

Sismik olayların sismik testler için modellenmesinde genel olarak kullanılan yöntem tepki spektrumlarıdır. Tepki spektrumlarında, sismik testlerde titreşim yaratması için kullanılan osilatörlerin maksimum cevapları karakteristik frekansların bir fonksiyonu olarak sunulur.

Şekil 1.2 gerçek bir depremden elde edilen zaman bölgesinde ivme kayıtlarını göstermektedir.

Eğer bir depremin yarattığı yer hareketinin yer değiştirme, hız ve ivme gibi karakteristikleri zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilebilirse bu veriler bir tepki spektrumu oluşturmak için kullanılabilir. Belirli bir bölge için depremin sismik tahriklerini yansıtan bir tepki spektrumunu oluşturmak, yeterli sayıda ve nitelikteki farklı deprem kayıtlarının elde edilmesi ile mümkündür.

1.3.2 Dış mekân telekomünikasyon kabinleri standartları

Günümüzde dış mekânlarda karşılaşılan elektronik cihaz kabinlerinin ve kutularının çoğu telekomünikasyon teknolojileri konusunda hizmet vermektedir. IEC standartları telekomünikasyon amaçlı olsun olmasın, tüm iç mekân veya dış mekânlarda kullanılan elektronik cihaz kabinleri için standartlar sunar. Daha çok bilgi ve telekomünikasyon teknolojilerine yönelik olmak üzere elektronik cihaz kabinleri için standartlar geliştiren bir başka organizasyon ETSI'dir (European Telecommunications Standards Institute).

ETSI, radyo ve televizyon yayınları, internet teknolojileri ile ilgili dünya çapında uygulanabilen standartlar yayınlar. ETSI, Avrupa Birliği tarafından da resmi olarak bir "Avrupa Standartları Organizasyonu" olarak tanınmıştır.

"ETSI EN 300 019" standartları, telekomünikasyon cihazlarının çevresel koşullarını açıklar ve uygulanabilecek testleri belirtir. "ETSI EN 300 019-1-0 Classification of Environmental Conditions (Çevresel Koşulların Sınıflandırılması)" (ETSI, 2003a) uluslararası standardı, telekomünikasyon cihazlarının maruz kalabileceği çevresel koşulların hangi kıstaslara göre sınıflandırıldığını açıklar. Sınıflandırmada temel amaç ise, telekomünikasyon cihazlarının geniş kullanım alanı içerisinde standartlaştırılmış belli başlı bazı çerçeveler oluşturmaktır. Tipik çevresel koşullar içerisinde bu çerçeveler depolama, taşıma ve kullanımdır.

ETSI EN 300 019-1-0 standardı ile yapılmış çevresel koşulların sınıflandırılması Çizelge 1.9 ile verilmektedir.

Çizelge 1.9 ETSI EN 300 019-1-0 standardına göre çevresel koşulların sınıflandırılması
(ETSI, 2003a)

KULLANIM DIŞI		KULLANIM DURUMU					
Depolama	Taşıma	Sabit Kullanım			Hareketli Kullanım		Taşınabilir kullanım
		İç mekânlar	Dış mekânlar	Yer altı mekânlar	Kara taşıtları	Deniz taşıtları	
ETSI EN 300 019-1-1	ETSI EN 300 019-1-2	ETSI EN 300 019-1-3	ETSI EN 300 019-1-4	ETSI EN 300 019-1-8	ETSI EN 300 019-1-5	ETSI EN 300 019-1-6	ETSI EN 300 019-1-7
Sınıf 1.1 İç mekânlarda, kısmen sıcaklık kontrollü depo alanı	Sınıf 2.1 Çok dikkatli taşıma	Sınıf 3.1 Sıcaklık kontrollü alan	Sınıf 4.1 Dış mekânlar	Sınıf 8.1 Açık hava şartlarına kısmen maruz mekânlar	Sınıf 5.1 Korumalı montaj	Sınıf 6.1 Açık hava şartlarından tamamen korunan alan	Sınıf 7.1 Sıcaklık kontrollü alan
Sınıf 1.2 İç mekânlarda, sıcaklık kontrolü olmayan depo alanı	Sınıf 2.2 Dikkatli taşıma	Sınıf 3.2 Kısmen sıcaklık kontrollü alan	Sınıf 4.1E Dış mekânlar (zorlaşabilir koşullar)		Sınıf 5.2 Kısmen korumalı montaj	Sınıf 6.2 Açık hava şartlarından kısmen korunan alan	Sınıf 7.2 Kısmen sıcaklık kontrollü alan
Sınıf 1.3 Dış mekân depo alanı	Sınıf 2.3 Halk kesimi taşıması	Sınıf 3.3 Sıcaklık kontrolü olmayan alan	Sınıf 4.2L Dış mekânlar (çok serin iklimler)			Sınıf 6.3 Açık hava şartlarından korunmayan alan	Sınıf 7.3 Açık hava şartlarından kısmen korunan veya korunmayan alan
Sınıf 1.3E Dış mekân depo alanı (zorlaşabilir koşullar)		Sınıf 3.4 Isı kapalı bulunan alan	Sınıf 4.2H Dış mekânlar (çok sıcak iklimler)				Sınıf 7.3E Açık hava şartlarından kısmen korunan veya korunmayan alan (zorlaşabilir koşullar)
		Sınıf 3.5 Korunaklı alan					
		Sınıf 3.6 İletişim kontrol odası alanı					

Tasarımı yapılan herhangi bir telekomünikasyon amaçlı elektronik cihaz kabini için yukarıdaki sınıflandırmadan seçimler yapılır. Cihazın kullanım ve depolama yeri ile taşıma şekli öngörülerek, depolama, taşıma ve kullanım sınıflarından her biri ayrıca belirlenir.

Çizelge 1.9’da görüldüğü gibi açık hava şartlarına direk olarak maruz kalan telekomünikasyon amaçlı ve sabit konumda çalışan elektronik cihaz kabinleri ile ilgili “ETSI EN 300 019-1-4 Classification of Environmental Conditions – Stationary Use at Non-weather Protected Locations (Çevresel Koşulların Sınıflandırılması – Dış Mekânlarda Sabit Kullanım)” standardı geçerlidir.

ETSI EN 300 019-1-4 standardı, elektronik cihazların kullanıldığı ortamları 4.1, 4.1E, 4.2L ve 4.2H sınıfları olmak üzere toplam 4 sınıfa ayırır (ETSI, 2003b). Bu standart, ortam sınıflarını oluşturmak için, daha önce bahsedilen IEC 60721-3-4 çevresel koşul sınıflarını kullanır. Adı geçen bu ortam sınıflarının, IEC koşul sınıfları Çizelge 1.10 ile verilmiştir.

Çizelge 1.10 ETSI EN 300 019-1-4 standardı ile belirli çevresel ortam sınıfları (ETSI, 2003b)

SINIF	4.1	4K2/4Z5/4Z7/4B1/4C2(4C3)/4S2/4M5
	4.1E	4Z5/4Z7/4B1/4C2(4C3)/4S2/4M5
	4.2L	4K4L /4Z5/4Z7/4B1/4C2(4C3)/4S2/4M5
	4.2H	4K4H/4Z5/4Z7/4B1(4B2)/4C2(4C3)/4S2(4S3)/4M5
Not : Sınıf 4.1E için iklimsel ortam koşulları, IEC 60721-3-4 ile verilen koşul sınıflarından biri değildir.		

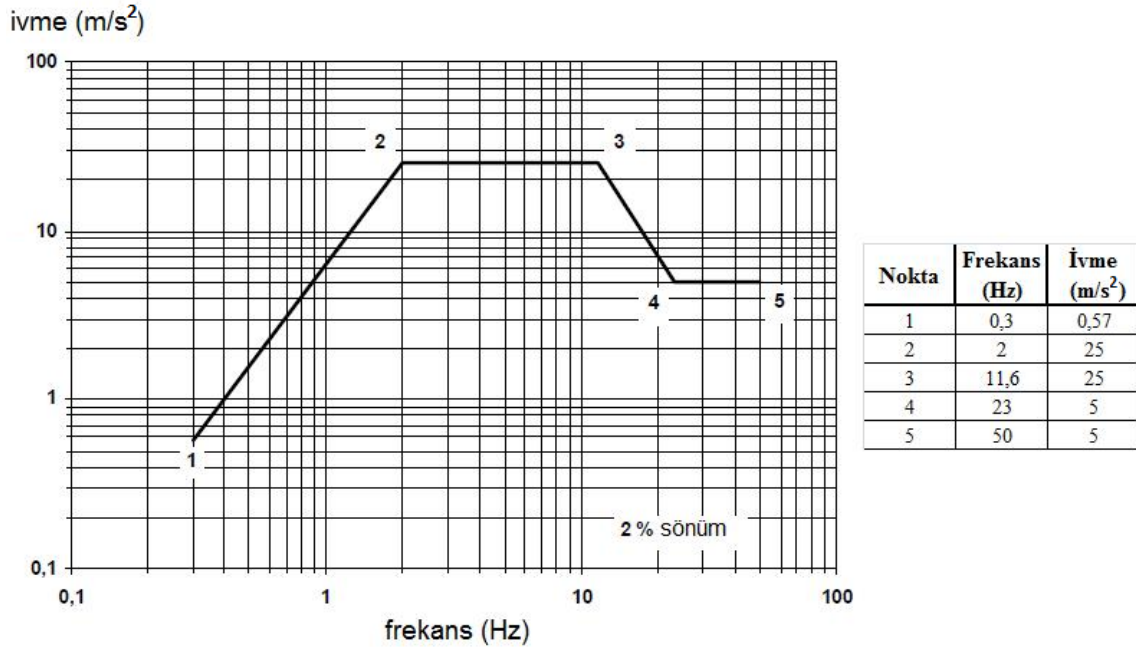
ETSI EN 300 019-1-4 standardı ile belirlenen ortam sınıflarının ilki olan 4.1 sınıfı, Avrupa’nın büyük kısmı için kullanılabilir ve ılıman iklim koşullarından soğuk iklim koşullarına kadar geniş bir yelpazededir. 4.1E sınıfı ise, en yüksek ve en düşük sıcaklık değerlerinin her ikisi de daha şiddetli olmak üzere, iklimsel olarak 4.1 sınıfından daha ileri koşulları kapsar. 4.2L ve 4.2H sınıfları, sırasıyla ileri derecede soğuk ve ileri derecede sıcak iklim koşullarını dünya çapında kullanılabilir şekilde betimler.

Muhtemel deprem olayları için, ETSI EN 300 019-1-4 standardı koşullar sunar. Bir ürünün deprem sırasında karşılaşacağı zorlayıcı etkiler, yer hareketinin yoğunluğuna ve ürünü yere bağlayan yapının karakteristiklerine bağlıdır. ETSI EN 300 019-1-4 standardı, yer seviyesinde veya rijitliği çok yüksek yapılarda montaj edilmiş telekomünikasyon cihazı kabinleri için geçerli deprem koşullarını tanımlar. Rijit olmayan yapılar üzerine montaj edilmiş cihazlar için deprem koşulları belirgin şekilde değişir.

Deprem koşullarının tarifinde kullanılan en genel yol tepki spektrumunun belirlenmesidir. Bir tepki spektrumu, transient deprem dalgalarına maruz kalan bir osilatöre ait maksimum cevapların (örneğin ivme) grafiksel gösterimidir. Yani tepki spektrumu bir dış mekân

elektronik cihaz kabininin, üzerine montaj edildiği yapıda (osilatör) gerçekleşen ve yine kabinin karşılaşacağı sismik koşulları ifade etmek için kullanılır. Deprem sırasında hareketi kabine ileten ve bu nedenle osilatör sıfatına sahip yapıya ait tepki spektrumunu belirlemek için, bu yapının sönüm oranı dahil karakteristik özellikleri ve öngörülen sismik yer hareketi bilinmelidir.

Şekil 1.3, ETSI EN 300 019-1-4 standardı ile verilen örnek karakteristik tepki spektrumunu göstermektedir. Kullanımdan önce yapılan deneysel testlerde kullanılan tepki spektrumu, bazı frekanslarda çalışmak zor olduğu için bu karakteristik tepki spektrumundan farklıdır.



Şekil 1.3 Deprem koşullarının karakteristik tepki spektrumu (ETSI, 2003b)

1.4 Araştırma Kapsamı

Dış mekân elektronik cihaz kabinlerine ilişkin hazırlanan bu çalışmada çevresel koşulların mekanik etkileri üzerinde durulacaktır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılacak analizlerde uluslararası standartlarla belirli zorlama koşulları, bu çalışma için tasarlanacak telekomünikasyon sektörüne yönelik örnek bir dış mekân elektronik cihaz kabine uygulanacaktır. Analiz sonucunda, zorlama koşulları altında kabini oluşturan parçalar üzerinde gerçekleşen eş değer gerilmeler (von-mises gerilmeleri) elde edilecektir. Bu gerilmeler malzemelerin akma dayanımları ile karşılaştırılarak, parçaların emniyetli sınırlarda kalıp kalmadığı kontrol edilecektir. Gerilimi emniyet sınırlarını aşan parçaların veya gerilimi çok düşük seviyede olan parçaların et kalınlıkları değiştirilerek iyileştirme çalışması yapılacak ve bu yolla malzeme maliyetleri düşürülecektir.

Örnek olarak tasarlanacak dış mekân kabineye uygulanacak zorlama koşulları, Çizelge 1.10 ile verilen ve “ETSI EN 300 019-1-4” standardı ile belirli “4.1” çevresel ortam sınıfına göre belirlenecektir. Zira örnek olarak tasarlanacak dış mekân elektronik cihaz kabini de, bu standardın ilgili olduğu telekomünikasyon cihazlarını barındıracaktır. Bu çevresel ortam sınıfı, mekanik zorlanma koşulları için, “IEC 60721-3-4” standardı ile verilen mekanik koşul sınıflarından 4M5 sınıfını referans olarak göstermiştir. Çizelge 1.8 ile verilmiş “IEC 60721-3-4” mekanik koşul sınıflarından 4M5 sınıfı incelendiğinde, harmonik titreşimle belirtilen, iki farklı zorlama koşulu söz konusu olduğu görülür. Bu koşullardan biri 2 ile 9 Hz aralığında gerçekleşen 3 mm mertebesindeki yer değiştirmeye, diğeri ise 9 ile 200 Hz aralığında gerçekleşen 10 m/s^2 mertebesindeki ivmeyle zorlanmadır. Bu zorlanma koşullarından sadece 3 mm mertebesindeki yer değiştirmeye belirli zorlanma koşulunun örnek dış mekân elektronik cihaz kabini üzerindeki etkileri incelenecektir.

Örnek dış mekân elektronik cihaz kabineye etkileri incelenecek bir diğer zorlanma koşulu ise, Şekil 1.3 ile tepki spektrumu verilen ve “ETSI EN 300 019-1-4” standardı ile belirli deprem koşullarıdır.

Bu çalışmada öncelikle örnek dış mekân elektronik cihaz kabini tasarlanacak, ardından sonlu elemanlar yöntemiyle ilgili bilgiler verilecektir. 2 ve 9 Hz aralığında 3 mm yer değiştirme ile tanımlı zorlanma koşulunun etkilerini belirlemek için harmonik titreşim analizi, tepki spektrumu ile belirli deprem koşullarının etkilerini belirlemek için de tepki spektrumu analizi yapılacaktır. Her iki analiz için de örnek dış mekân elektronik cihaz kabininin, kullanım esnasında montaj edildiği noktalar vasıtasıyla zorlandığı gözetilecektir.

Harmonik titreşim analizi için harmonik yer değiştirme ile tanımlı tahrik hareketi 3 asal eksende de ayrı ayrı uygulanacaktır. Deprem tepki spektrumu analizi için belirli tahrik hareketi ise 3 asal eksende ayrı ayrı uygulandıktan sonra, ayrıca 3 yönde eş zamanlı olarak da uygulanacaktır.

Zorlanma koşulları sonucunda eş değer gerilme seviyeleri hesaplanan parçaların emniyet sınırları göz önüne alınarak iyileştirme süreci gerçekleştirilerek çalışma tamamlanacaktır.

1.5 Elektronik Cihaz Kabinlerine Yönelik Çalışmalar

Dış mekân elektronik cihaz kabinleri ile ilgili olarak uzun yıllardır çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar daha çok, dış mekân kabinleri içerisindeki elektronik cihazların ürettikleri ısı ile bu ısının akışı ve iletimi ile ilgilidir. Bazı çalışmalar ise dış mekân kabinleri için

özelleşmeyip, elektronik cihaz kabinleri için yapılırken, bazıları da telekomünikasyon kabinlerine yöneliktir.

Coyne (1982) “Approximate thermal model for outdoor electronics cabinets” isimli çalışmasında dış mekân elektronik cihaz kabinleri için yaklaşık bir termal model oluşturmuştur. Elektronik sistemler açık hava şartlarında taze hava verilmeyen metal kabinetler içerisinde kullanılırlar. Çevrimlerin küçültülmesi ve daha fazla güç kullanımına yönelik eğilim, termal sistem tasarımlarındaki zorluğu artırır ve çok yönlü termal sistem tasarımlarına olan ihtiyacı doğurur. Bu amaçla doğru bir adım olarak yaklaşık bir termal sistem modeli; kabinet geometrisi, rüzgâr hızı, güneş ışınımı ve iç ısıl dağılım (düzgün dağılımlı) gibi parametrelerin fonksiyonu olmak üzere kabinetin 3 farklı noktasındaki sıcaklıkların hesaplanması için sunulmuştur. Hesaplanan sonuçlar %10 civarındaki hata payıyla test sonuçlarıyla örtüşmüştür.

Ezekoye, Vidacovich ve Zhang (1998) “Global and local analysis of sealed outdoor electronics cabinets” isimli çalışmada kapalı ısı çevrimine sahip bir dış mekân elektronik cihaz kabini ile ilgili analizler yapmışlardır. Kapalı çevrime sahip bir dış mekân elektronik cihaz kabini için bilinen ısı transferi bağıntıları kullanılarak yapılan global (bütünsel) analiz, ısı transferi ve akışkanlar mekaniği için Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği (Computational Fluid Dynamics - CFD) yazılımı FLOTHERM kullanılarak yapılan lokal analizle kıyaslanmıştır. Güneş ışınımı, malzeme özellikleri, yalıtım, fan gücü ve geometri gibi parametrelerin etkileri her iki analiz türü kullanılarak değerlendirilmiştir.

Colwell, Hegab ve Zimmerman (2002) “Thermal management of outdoor electronic cabinets using soil heat exchangers” isimli çalışmada bir dış mekân elektronik cihaz kabininin ısıl yönetimini toprak ısı değiştiricileri kullanarak yaptılar. Telefon şirketleri metal dış mekân elektronik cihaz kabinetlerine yoğun olarak yerleştirilmiş elektronik cihazlardan müşterileri arasında bağlantı kurmak için yararlanır. Elektronik cihazların artan güç yoğunluklarına karşılık soğutucu sistemler bulmak için toprak ısı değiştiricileri gibi yenilikçi yöntemler aramaktadırlar. Toplu haldeki termal kapasitansların toprak içerisinde bulunduğu nümerik bir simulasyon kullanılarak sonlu elemanlar modeli kabinetin transient termal davranışını öngörmek için hazırlanmıştır. Isıl yükler, toprak özellikleri ve ısı değiştirici geometrisinin etkileri irdelenmiştir. Sonuçlar toprak ısı değiştiricilerinin görece düşük güce sahip dış mekân kabinetlerinin soğutulmasında yeterli olduğunu göstermiştir.

Ishizuka ve Kitamura (2003) “Studies on natural convection-induced flow and thermal

behaviour inside electronic equipment cabinet model” isimli çalışmada bir elektronik cihaz kabini içindeki termal davranışlar ile doğal taşınım-zorlanmış akış üzerinde durmuşlardır. Temel akış prensiplerinden biri olan doğal konveksiyon – zorlanmış akış durumunu nümerik olarak incelenmiştir. Üç boyutlu Navier-Stokes denklemleri enerji denklemleri ile birlikte sonlu farklar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Hesaplamaların sonuçları ölçülen verilerle tatmin edici bir örtüşme sağlamış ve elektronik cihaz kabinlerinin içindeki termal davranışları anlamada yol gösterici olmuştur.

Liudou ve Yanping (2007) “The modal analysis of the electronic equipment cabinet structure” isimli çalışmada bir elektronik cihaz kabininin modal analizini yapmışlardır. Modal analiz, elektronik cihaz kabini konstrüksiyonunun dinamik karakteristiğini araştırmada verimli bir yöntemdir ve dinamik cevap analizinin temelini oluşturur. Analiz yazılımının (ANSYS) kabuk elemanı, katı elemanı ve giriş elemanı kullanılarak kabinin sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Modal analiz sonuçlarının irdelenmesi yoluyla, kabin yapısının kütle dağılımı ve katılık dağılımının doğal frekansları ve titreşim davranışını nasıl etkilediği sunulmuştur. Ayrıca, kabin yapısında görece zayıf bölgeler tanımlandı ve makul düzeltici önlemler belirlenmiştir.

Agonafer, Hendrix, Mariam, Mulay, Raju, ve Sivanandan (2009) “Thermal Design Considerations of Air-Cooled High Powered Telecommunication Cabinets” isimli çalışmada büyük güç kapasitesine sahip telekomünikasyon kabinlerinin hava ile soğutulması için termal sistem tasarımı yapmışlardır. Telekomünikasyon kabinleri çeşitli mertebelerde ısı yayan çok sayıda elektronik bileşen içerir. Bu kabinlerin tasarımlarında en büyük öneme sahip olan bu bileşenlerin ısı yönetimidir. CFD (Computational Fluid Dynamics) tasarımcılara çok sayıda kabinet biçimini deneme ve karşılaştırma imkânını sağlar ve gereksiz kabinet numunelerini üretmeye gerek bırakmadan en iyilenmiş tasarımı mümkün kılar. Bu çalışma bütünlük bir telekomünikasyon kabininin tasarımı ve termal analizleri ile ilgilenmektedir.

2. DIŞ MEKÂN KABİNİ TASARIMI

Bu bölümde, standartlar doğrultusunda yapısal analizi gerçekleştirilecek bir dış mekân kabini tasarımı bilgisayar ortamında parametrik ölçülerle yapılacaktır. Parametrik ölçüden kasıt, sonlu elemanlar yöntemi analizleri ile hesaplanan eş değer gerilmelerin arzu edilen mertebelerde olmaması halinde değiştirilecek et kalınlığı değerleridir.

2.1 Dış Mekân Kabini Tasarım Kriterleri

Çevresel şartlara dayanıklılık konusunda incelenecek örnek dış mekân elektronik cihaz kabini, telekomünikasyon sektöründe kullanılmak üzere tasarlanacaktır. Mekanik tasarım açısından, kabinin dış mekânlarda kullanılacak olması, telekomünikasyon cihazlarını barındıracak olmasından daha önemlidir.

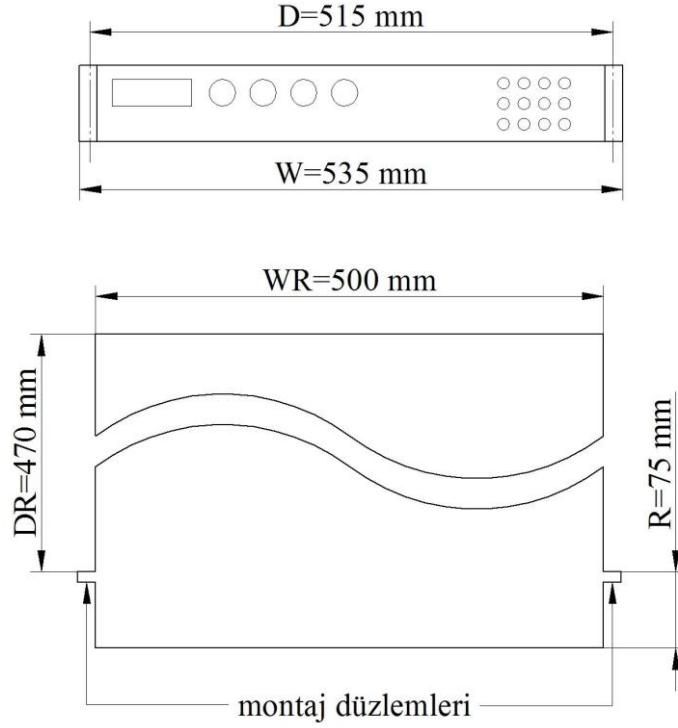
Atmosfer şartlarına açık ortamlarda kullanılan kabinlerden öncelikli beklenti su sızdırmazlığı sağlayabilmesidir. Su sızdırmazlığını iki yüzey arasına sıkıştırılan contalarla sağlamak tasarımda bir kriter olacaktır.

Bir dış mekân kabini atmosferik olaylar ve deprem gibi doğal şartların yanında, yerleşim alanlarında bulunacağı için insan kaynaklı her türlü zorlamaya maruz kalabilir. Sonuç itibarıyla, sosyal ortamlarda korunmasız şekilde bulunan bu kabinler çevredeki insanların herhangi bir suretle müdahalesine açıktır. Tasarlanan kabin mutlaka bu etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Kabinin güvenliği açısından bu vazgeçilmez bir kriterdir.

Dış mekân kabinleri için bu vandalist eylemlerin başında kapıların zorlanması gelir. Levye ya da benzeri bir aletle kabin kapılarının zorlanmasıyla sık karşılaşılır. Aynı şekilde kilit ve menteşe sistemlerinin zorlanması da yüksek bir olasılıktır. Bu çerçevede menteşe sisteminin dışarıdan görülmeyecek şekilde tasarlanması ve bu etkilere dayanıklı olabilecek bir kilit sistemi seçilmelidir. Kapıların kenarlarından zorlanmasına önlem olarak, kilitlemenin sadece kilit göbeğinin arkasından değil, ispanyolet benzeri sistemler ile en az üç noktadan gerçekleşmesi sağlanacaktır.

Dış mekân kabinlerinde himayesi düşünülen elektronik cihazların üretiminde belirli ölçü standartları söz konusudur. İç veya dış mekân elektronik cihaz kabinleri içerisine konan telekomünikasyon cihazlarının da ölçüleri standarttır. Cihazların yükseklikleri U ölçüsü belirtilir ve 1 U ölçüsü metrik sistemde 44,45 mm'ye eşittir. Örnek dış mekân kabininin net yüksekliği, kabin içerisine yükseklikleri toplamı 30 U olan cihazların bağlanabileceği şekilde tasarlanacaktır. Şekil 2.1, uluslararası "ETSI EN 300 119-4, Engineering requirements for

subracks in miscellaneous racks and cabinets” standardı ile belirli ve tüm dünyada kullanılan elektronik cihaz ölçülerini göstermektedir (ETSI, 2004).



Şekil 2.1 ETSI EN 300 119-4 standardıyla belirli elektronik cihaz ölçüleri (ETSI, 2004)

Şekil 2.1’de verilen ölçülerden R ve DR ölçüleri (cihazın montaj seviyesine kadar önden arkaya doğrultuda derinlikleri) maksimum değerler olup cihazlar arasında farklılık gösterebilir. Diğer ölçüler cihazın genişliği ile alakalı olup sabittir. Tasarlanacak kabinde maksimum R ve DR ölçülerine sahip bir cihazın kabine montaj edilebilmesi sağlanacak ve diğer W, WR ve D genişlik ölçülerine göre cihaz taşıyıcı parçalar tasarlanacaktır. Cihaz taşıyıcı bu parçalar üzerinde eksenler arası mesafesi 25 mm olacak şekilde kare delikler bırakılacaktır. Bu kare delikler vasıtasıyla cihazlar kabine bağlanabilmektedir. Bu kare deliklerin yatay yönde eksenleri arasındaki mesafenin, Şekil 2.1’de verilen D ölçüsü ile eşit olması sağlanacaktır. Ayrıca cihaz taşıyıcı parçalar arasındaki net genişliğin en az WR=500 mm olması, cihazın montaj edilebilmesi için sağlanması gerekli bir başka ölçüdür.

Kabin tasarımında iskelet yapısını oluşturan parçalar ve kilit-menteşe sistemlerini oluşturan parçalar için paslanmaz çelik, kapama panelleri için alaşımli alüminyum malzeme olarak seçilecektir. Dış mekân kabini korozif atmosferik şartlara maruz kaldığı için yapı çelikleri malzeme olarak kullanılmayacaktır. Kabinin görece büyük yüzeylerini alaşımli alüminyum malzemeden yapılmış panellerle kapamak, toplam ağırlıkta ve dolayısıyla malzeme maliyetleri konusunda avantaj sağlayacaktır. Ayrıca kabin parçalarını bağlamak için

kullanılacak tüm bağlantı elemanları için de paslanmaz çelik malzeme olarak seçilecektir.

Kabin tasarımında kullanılan paslanmaz çelik ve alaşımlı alüminyum malzemenin türü için özel bir seçim yapılmayacaktır. Bu malzemeler için sonlu elemanlar analizleri programının kütüphanesinde yer alan mekanik özellikler kullanılacaktır. Bu mekanik özellikler Çizelge 2.1 ile tablo şeklinde verilmiştir.

Çizelge 2.1 Kabin malzemelerinin mekanik özellikleri

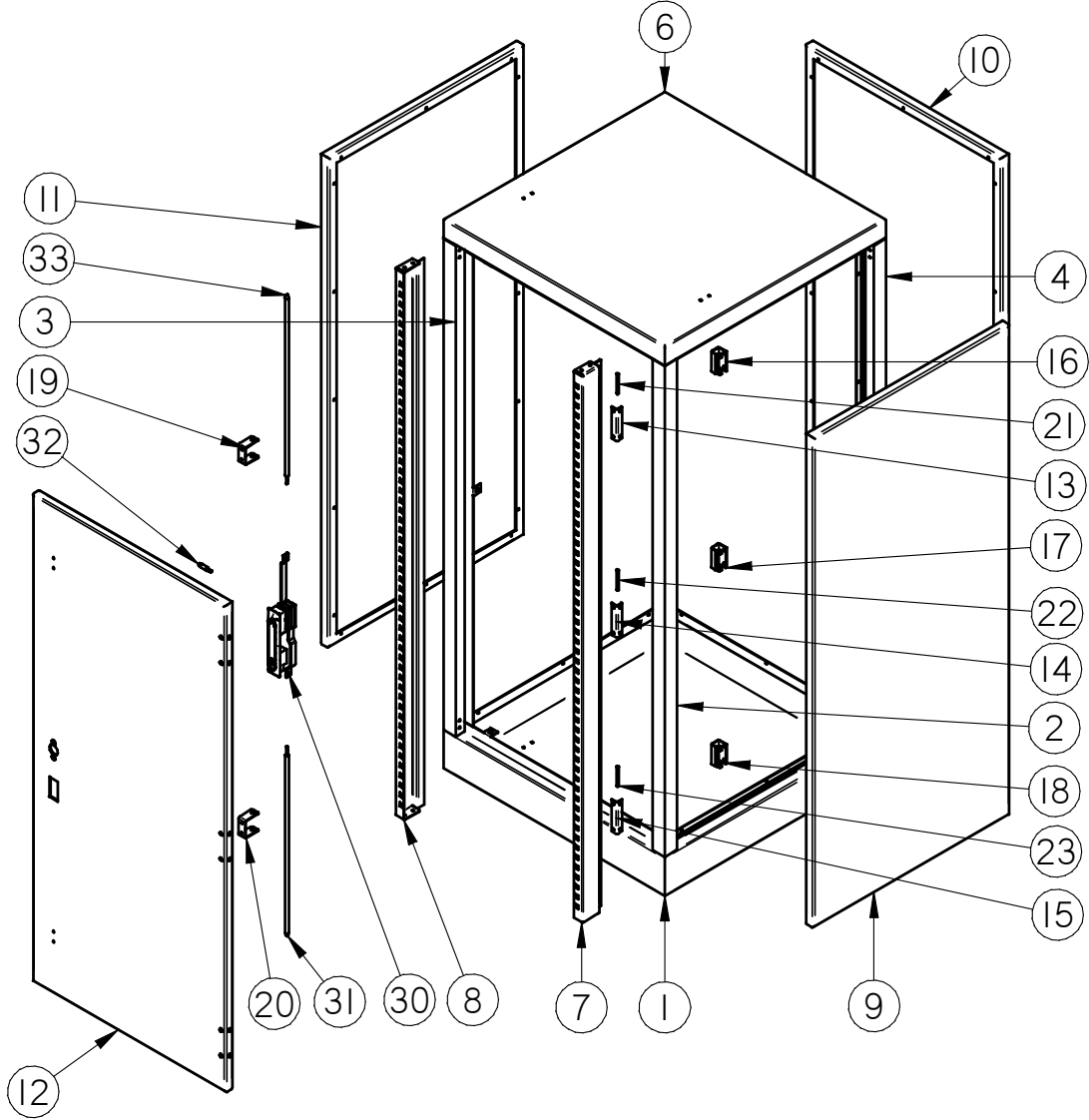
Mekanik Özellik	Malzeme	
	Paslanmaz Çelik	Alaşımlı Alüminyum
Yoğunluk (kg/m ³)	7750	2770
Elastisite Modülü (MPa)	193000	71000
Poisson Oranı	0,31	0,33
Bası Akma Dayanımı (MPa)	207	280
Çeki Akma Dayanımı (MPa)	207	280
Çeki Kopma Dayanımı (MPa)	586	310

2.2 Dış Mekân Kabini Konstrüksiyonu

Çizelge 2.2 Tasarlanan dış mekân kabini parçaları

No	Açıklama	Malzeme	Adet	No	Açıklama	Malzeme	Adet
1	Baza	P. Çelik*	1	18	Alt Menteşe Gövde Parçası	P. Çelik*	1
2	Ön Sağ Köşe Profili	P. Çelik*	1	19	Kilit Üstü Tij Kılavuzu	P. Çelik*	1
3	Ön Sol Köşe Profili	P. Çelik*	1	20	Kilit Altı Tij Kılavuzu	P. Çelik*	1
4	Arka Sağ Köşe Profili	P. Çelik*	1	21	Üst Menteşe Pimi	P. Çelik*	1
5	Arka Sol Köşe Profili	P. Çelik*	1	22	Orta Menteşe Pimi	P. Çelik*	1
6	Çatı	P. Çelik*	1	23	Alt Menteşe Pimi	P. Çelik*	1
7	Sağ Cihaz Taşıyıcı	P. Çelik*	1	24	M4x10 Pres Saplama	P. Çelik*	4
8	Sol Cihaz Taşıyıcı	P. Çelik*	1	25	M5x10 Pres Saplama	P. Çelik*	6
9	Sağ Yan Panel	A. Alüminyum**	1	26	M4 AKB Somun	P. Çelik*	4
10	Arka Panel	A. Alüminyum**	1	27	Ø4x8 Pop Perçin	P. Çelik*	48
11	Sol Yan Panel	A. Alüminyum**	1	28	Ø5x8 Havşa Başlı Pop Perçin	P. Çelik*	20
12	Kapı Paneli	A. Alüminyum**	1	29	M5 AKB Somun	P. Çelik*	6
13	Üst Menteşe Kapı Parçası	P. Çelik*	1	30	Kapı Kilit Göbeği	-	1
14	Orta Menteşe Kapı Parçası	P. Çelik*	1	31	Kilit Altı Dikey Tiji	P. Çelik*	1
15	Alt Menteşe Kapı Parçası	P. Çelik*	1	32	Kilit Yanı Yatay Tiji	P. Çelik*	1
16	Üst Menteşe Gövde Parçası	P. Çelik*	1	33	Kilit Üstü Dikey Tiji	P. Çelik*	1
17	Orta Menteşe Gövde Parçası	P. Çelik*	1	*Paslanmaz Çelik, **Alaşımlı Alüminyum			

Çizelge 2.2 ile örnek dış mekân elektronik cihaz kabinini oluşturan parçaların açıklamaları, parçaların dış mekân kabininin konstrüksiyonu ile ilgili resimlerinde ve analiz sonuçları ile ilgili tablolarında kullanılan referans numaraları, kullanım adetleri ve malzemeleri verilmiştir.



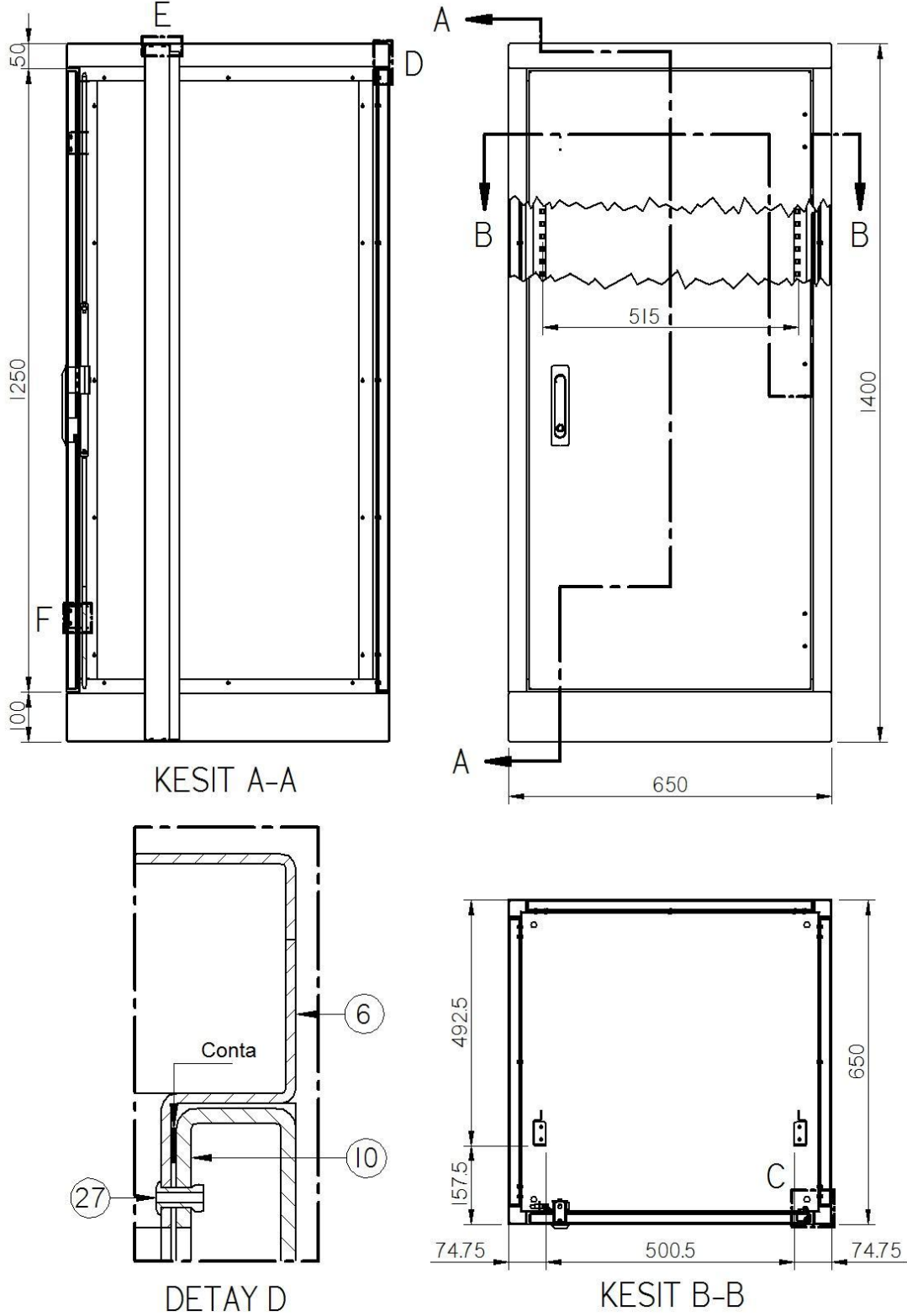
Şekil 2.2 Tasarlanan dış mekân kabini patlatılmış görünümü

Bir önceki bölümde verilen tüm kriterlere uygun olarak Solid Edge programı ile 3 boyutlu bilgisayar ortamında yapılan tasarım sonucunda elde edilen dış mekân elektronik cihaz kabini konstrüksiyonunun patlatılmış resmi Şekil 2.2 ile verilmiştir.

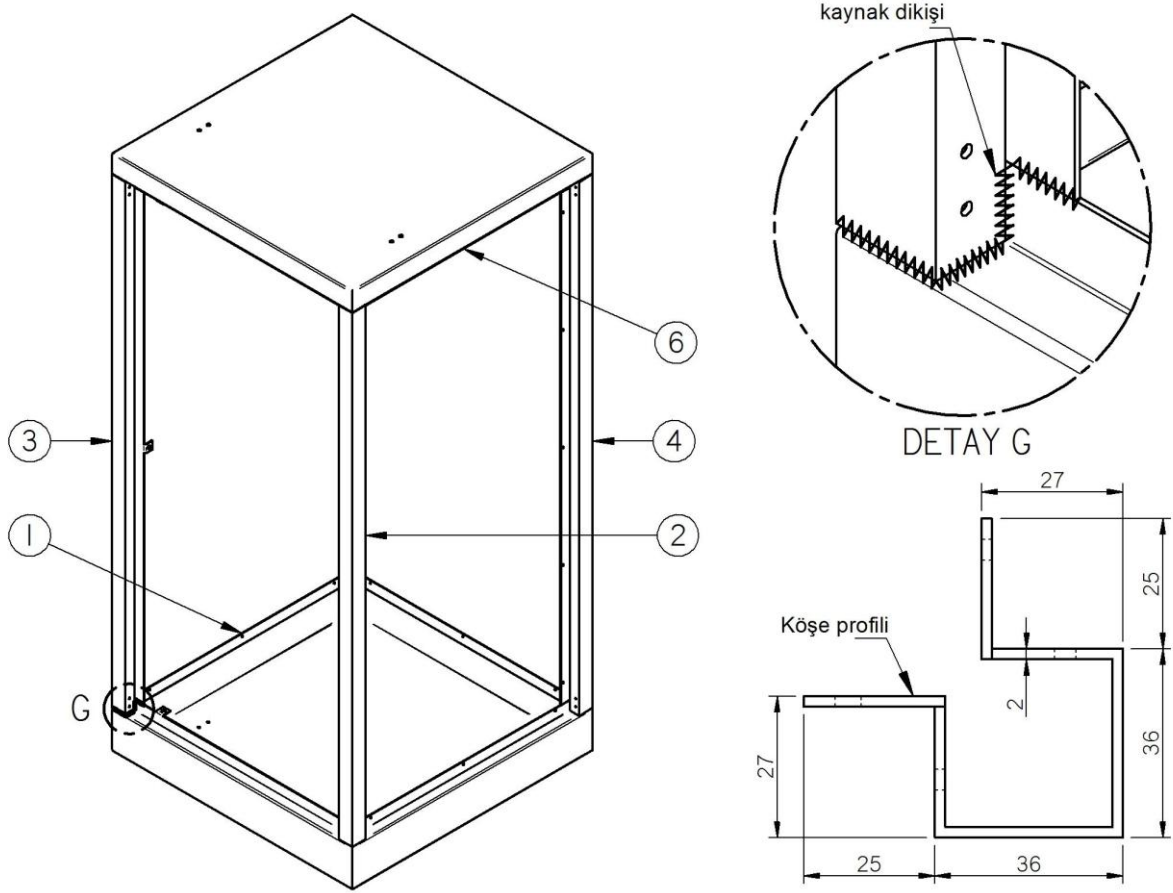
Dış ortam şartlarına uygunluğu sonlu elemanlar analizleri ile belirlenmesi için tasarlanan örnek dış mekân kabini izometrik görünüşlerle ve temel ölçüleriyle çizilen resmi Şekil 2.3 ile verilmiştir.

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi sırasıyla kabini genişliğini, derinliğini ve yüksekliğini belirtmek üzere 650x650x1400 mm ölçülerinde bir kabin tasarlanmıştır. Bu ölçülerle toplam 30 U yüksekliğinde 21" genişliğindeki cihazlar dış mekân kabine montaj edilebilmektedir. Malzemesi alaşımli alüminyum olarak seçilen dış kapama panelleri, baza, çatı ve köşe

profilleri arasında kalan çerçeveye aralarında conta olduğu halde gömüldükten sonra iç taraftan şişirilen pop perçinlerle bağlanır. Şekil 2.4 ile dış mekân kabının kaynaklı kısmı gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Tasarlanan dış mekân kabınınin montaj prensibi ve temel ölçüleri (mm)



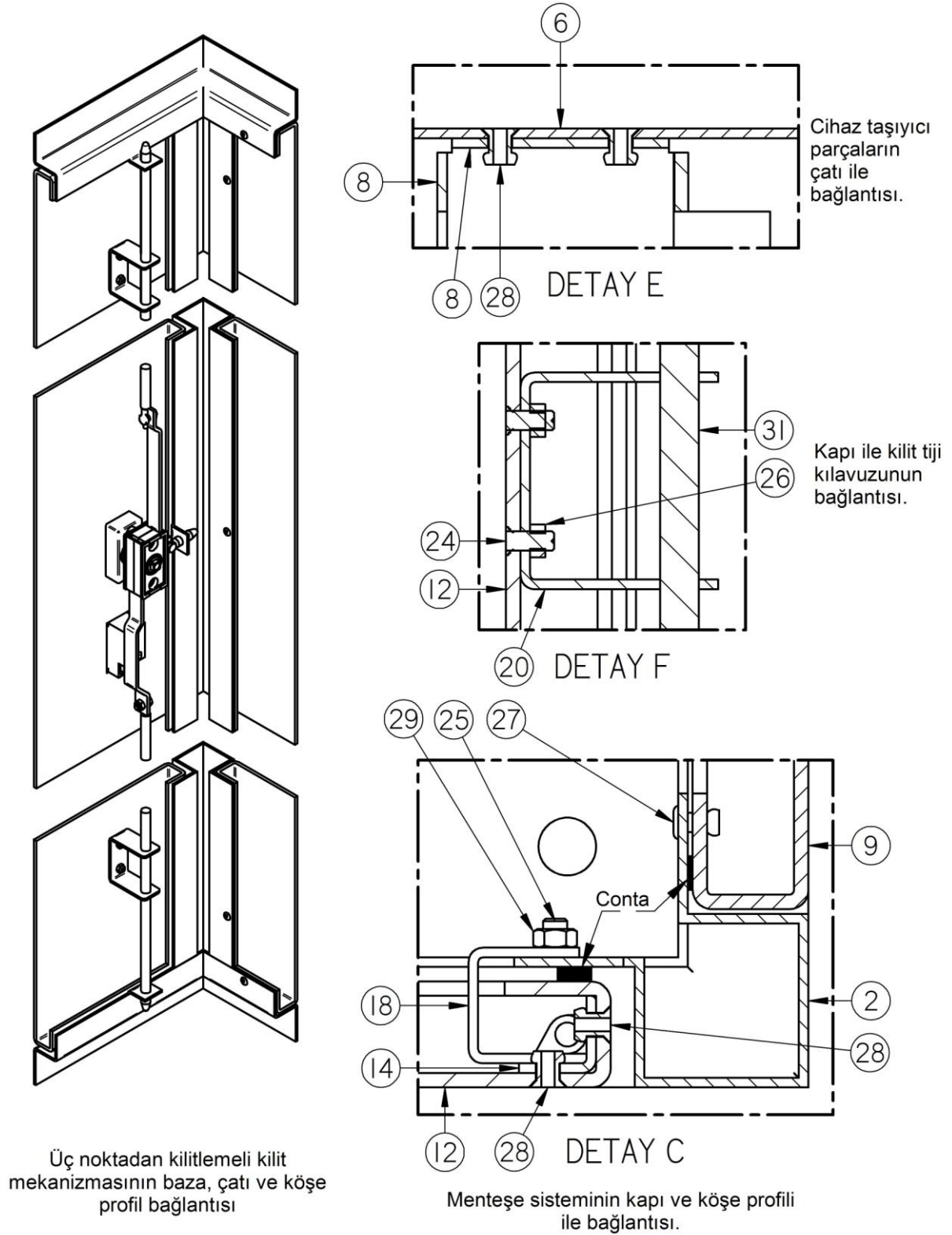
Şekil 2.4 Tasarlanan dış mekân kabininin kaynaklı montajı

Kaynaklı yapının üzerine diğer parçalar ve kilit mekanizması perçinlerle, pem saplamalarla ve somunlarla bağlanarak kabin montajı tamamlanır. Pem saplamalar pnömatik preslerle levhaların üzerine tatbik edilir. Levha yüzeyini ezerek ve deforme ederek levhaya tutunan bu bağlantı elemanları, başka bir parçanın bağlanabilmesi amacıyla sıkılacak somun için vida görevini görür. Şekil 2.5 ile havşa başlı pop perçinler ve pem saplamalarla yapılan montajların kesitleri gösterilmektedir. Şekil 2.5’de verilen detay görüşlerin kabin üzerindeki konumları Şekil 2.3’de bulunmaktadır. Macun ve astar çekme işlemi sonrasında yapılan boyama ile birlikte bu pop perçinlerin ve pem saplamaların dışarıdan görünmesi engellenmiş olur.

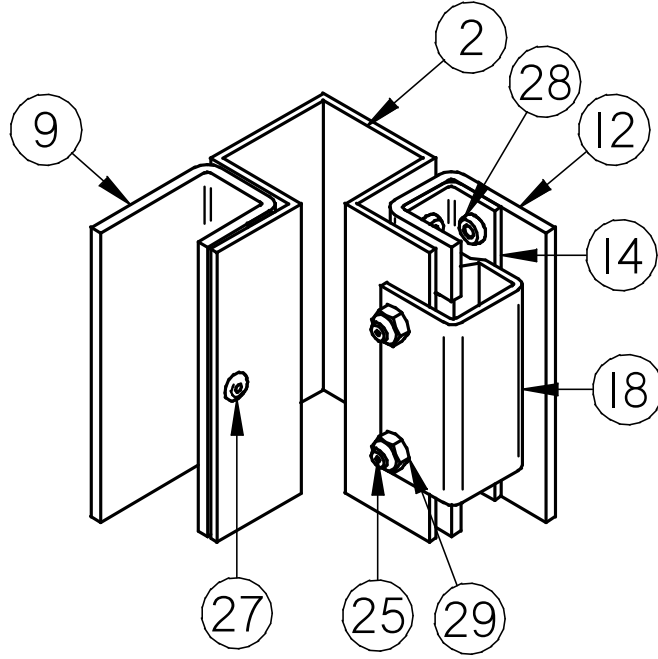
Menteşe sisteminin daha iyi anlaşılması için Şekil 2.6 ile sistemin perspektif görünüşü verilmiştir. Bu görünüşte menteşe bağlanan köşe profiline kabinin iç tarafından bakılmıştır.

Tasarım kriterlerine uygun olarak bir dış mekân kabini tasarlanmıştır. Tasarlanan bu dış mekân kabininin standartlara göre sonlu elemanlar yöntemiyle analizleri yapılacak ve parçalar üzerindeki eş değer gerilmeler incelenerek emniyeti araştırılacaktır. Dış mekân kabini

üzerinde bulunan başta bağlantı elemanları olmak üzere bazı parçaların dayanıklılığı bu araştırmanın kapsamına girmediği için, daha sonraki bölümlerde dış mekân kabini modeli üzerinde çeşitli varsayımlarla basitleştirmeler yapılacaktır.



Şekil 2.5 Dış mekân kabini kilit mekanizması ve diğer detay görüntüleri



Şekil 2.6 Dış mekân kabini menteşe sisteminin perspektif görünüşü

2.3 İyileştirme Prensibi ve Parametrik Ölçüler

Tasarlanan dış mekân elektronik cihaz kabini sonlu elemanlar yöntemiyle uluslararası standartlar doğrultusunda analiz edilerek zorlanma koşullarında parçalar üzerinde meydana gelen maksimum eş değer gerilmeler ortaya konacaktır. Maksimum gerilmeleri emniyet sınırına yakın olan parçalarda söz konusu eş değer gerilmeleri azaltmak için malzeme et kalınlığı değiştirilerek iyileştirme yapılacaktır. Maksimum gerilmeleri emniyet sınırına göre gereğinden fazla az miktarda olan ve et kalınlığındaki azalmanın toplam maliyete etkisi büyük olan parçalarda ise et kalınlığı azaltılarak iyileştirme yapılacaktır. Tasarlanan dış mekân elektronik cihaz kabinine ait başlangıç modelinde parçaların et kalınlıkları benzer endüstriyel uygulamalarda tercih edilen et kalınlıklarıdır. Uluslararası standartlara göre, harmonik titreşim ve deprem etkilerine karşı sınanacak olan dış mekân kabini nihayetinde farklı zorlamalara da maruz kalacaktır. Bunların başında yerleşim birimlerinde bulunan kabinlere insanların uyguladığı zorlamalardır. Bu zorlamalar dikkate alındığında, gerilmelerin düşük çıkması durumunda bile toplam kalite açısından et kalınlıklarını azaltmanın risk taşıdığı sonucuna ulaşılır.

Çizelge 2.3, dış mekân kabini parametrik ölçü olarak kabul edilen et kalınlıklarını parça isimleriyle birlikte listelemektedir. Bu çizelgede geometrisi itibariyle et kalınlığı ile tanımlanamayacak parçalar (pimler, tijler ve menteşe parçaları) yer almamaktadır.

Çizelge 2.3 İyileştirmede kullanılacak dış mekân kabini parçalarının et kalınlıkları

No	Açıklama	Malzeme	Et Kalınlığı (mm)
1	Baza	P. Çelik*	2
6	Çatı	P. Çelik*	2
7	Sağ Cihaz Taşıyıcı	P. Çelik*	2
8	Sol Cihaz Taşıyıcı	P. Çelik*	2
9	Sağ Yan Panel	A. Alüminyum**	3
10	Arka Panel	A. Alüminyum**	3
11	Sol Yan Panel	A. Alüminyum**	3

*Paslanmaz Çelik, **Alaşımli Alüminyum

3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

3.1 Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş

Sonlu elemanlar yöntemi (finite element method) mühendislik analizlerinde karşılaşılan çoğu problemin çözümünü elde etmede kullanılan nümerik bir yöntemdir (Seegerlind, 1984). İki ana alt bölüme sahiptir. Birincisi bir iskelet yapısının bağlantı noktalarının yer değiştirmelerini ve uzuv kuvvetlerini bulmak için ayırık elemanlardan yararlanır. İkincisi ısı transferi, akışkanlar mekaniği ve katı cisim mekaniği problemlerine yaklaşık çözümler elde etmek için sürekli elemanları kullanır. Ayırık elemanları kullanarak yapılan formülasyon “yapıların matris analizi” olarak adlandırılır ve bir iskelet yapısının klasik analizi ile özdeş sonuçlar verir. İkinci yaklaşım asıl sonlu elemanlar yöntemidir. İstenilen parametrelerin nod adı verilen belirli noktalardaki yaklaşık değerini verir. Yine de genel bir sonlu elemanlar yöntemi kullanan bilgisayar programı her iki problem tipini de çözmeye yeteneğine sahiptir ve “sonlu elemanlar yöntemi” adı ayırık eleman ve sürekli eleman formülasyonlarını belirtmek için sıkça kullanılır.

Sonlu elemanlar yöntemi çoğu bilgisayar destekli tasarım programının hesaplama temelini oluşturur. Bilgisayar destekli tasarımların artışı, mühendislerin sonlu elemanlar metodunun nasıl işlediğine dair bilgi edinmelerini gerektirir.

Sonlu elemanlar yönteminin uygulamalı mühendislik problemlerinde kullanımı bilgisayarlardan yararlanılması ile başladı (Bathe, 1996). Bu kullanım, bir mühendislik probleminin sonlu elemanlar yöntemi çözümünün özü olan bir dizi cebirsel denklemin kurgulanması ve çözülmesidir; bilgisayarların kullanımı bu yöntemin verimli kılınması ve uygulanabilir genel sonuçlar vermesinin tek yoluydu. Bu iki özellik (verimlilik ve genel uygulanabilirlik) kullanılan teorinin vazgeçilmezleridir ve uygulamalı hesaplamalar için daha iyi seviyelere geliştirilebildiklerinden, sonlu elemanlar yöntemi mühendislik uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur.

Mühendislikte sonlu elemanlar yöntemi başlangıçta yapısal mekanikte karşılaşılan problemlerin analizlerine yönelik olarak geliştirildi. Fakat çok geçmeden yöntemin aynı verimlilikle diğer problemlere uygulanabildiği fark edildi.

Sonlu elemanlar yönteminin ana fikri uçak yapılarının analizlerindeki ihtiyaçlardan kaynaklandı (Chandrupatla, 1991). 1941’de, Hrenikoff kendi yöntemi ile elastisite problemlerine bir çözüm sundu. Burulma problemlerini modellemek için üçgensel bölgelerde

çok terimli interpolasyon kullanan Courant'ın çalışmaları 1943'te gerçekleşti. Daha sonra çeşitli elemanlar için katılık matrisleri elde edildi ve bu buluşlar 1965 yılında yayınlandı. Sonlu elemanlar terimi ilk kez 1960'da Clough tarafından kullanıldı.

Sonlu elemanlar yöntemi geniş bir yelpazedeki mühendislik problemlerinin nümerik çözümü için etkili bir araç haline gelmiştir. Uygulamaları, otomobil, uçak, bina ve köprü yapılarının gerinim ve gerilme analizlerinden ısı, akışkan, manyetik ve diğer akış problemlerine kadar değişir. Bilgisayar teknolojileri ve CAD (bilgisayar destekli tasarım) sistemlerindeki gelişmelerle birlikte karmaşık problemler kolaylıkla modellenebilir.

3.2 Sınır Değer Problemlerine Nümerik Yaklaşımlar

Bir diferansiyel denklem tarafından kontrol edilen herhangi bir fiziksel problemi çözenin en iyi yolu analitik bir çözüm elde etmektedir (Seegerlind, 1984). Fakat analitik çözümü elde etmenin zor olduğu birçok durum söz konusudur. Araştırma altındaki bölge düzensiz olduğundan sınır şartlarını matematiksel olarak belirlemek imkânsız olabilir. Model, tanımlanması matematiksel olarak zor olan birkaç değişik malzemeden ibaret olabilir. Lineer olmayan terimler bulduklarından, anizotropik malzemeler içeren problemlerin genellikle analitik olarak çözümleri zordur.

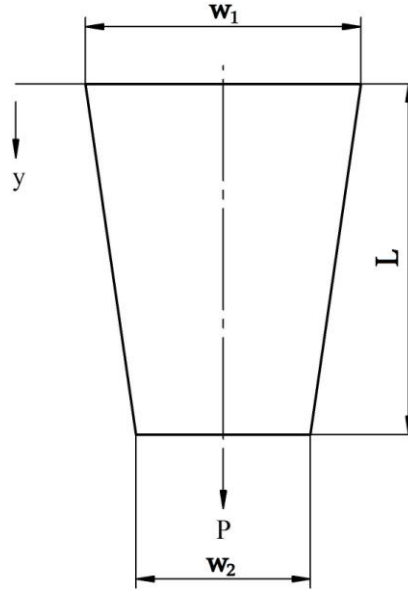
Analitik bir çözüm geliştirilemediği durumlarda yaklaşık bir çözüm elde etmek için nümerik bir çözüm elde edilmeye çalışılır. Bütün nümerik çözümler, çeşitli parametreler için belirli noktalarda değerler verir. Tam çözüm işlemi bu parametrelerden herhangi birinin değişimi için en başından tekrarlanır. Ne olursa olsun nümerik çözümler hiçbir çözüm olmaması durumuna göre tercih edilir. Hesaplanan değerler belirli noktalarda bile olsa fiziksel durum hakkında önemli fikirler sağlar.

3.3 Nümerik Bir Yaklaşım Olarak Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Aşamaları

Sonlu elemanlar yönteminin temellerini ve aşamalarını açıklamak için Şekil 5.3 ile verilen problemi ele alalım.

Şekil 3.1'de gösterilen ve bir P yükünü taşıyan değişken kesitli bir bloğu göz önüne alalım (Moaveni, 1999). Bu bloğun üst kısımdaki genişliğini w_1 , alt kısımdaki genişliğini w_2 , kalınlığını t ve uzunluğunu L ile ifade edelim. Bloğun elastiklik modülü E ile belirtsin. İlgilendiğimiz konu bloğun P yüküne maruz bırakıldığında L uzunluğu boyunca bazı noktalarda meydana gelen deformasyonun ne kadar olacağıdır. Şekil 3.1'de verilen bu sistem

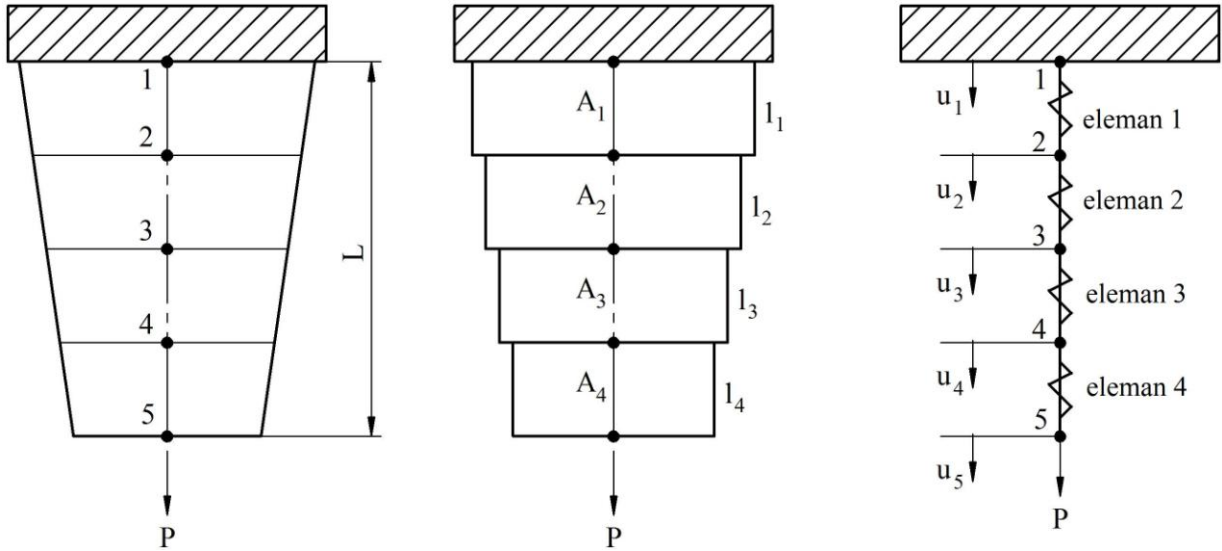
için bloğun ağırlığı, P yükünün çok daha büyük olduğu varsayılarak ihmal edilecektir.



Şekil 3.1 Eksenel yüke maruz bir blok

3.3.1 Ön işlem aşaması (Preprocessing Phase)

3.3.1.1 Çözüm alanını sonlu elemanlara ayırma



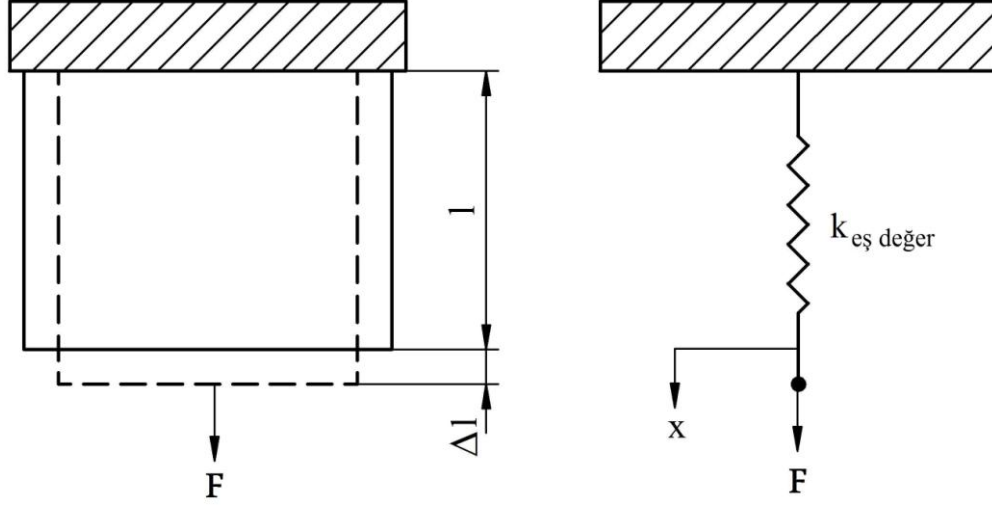
Şekil 3.2 f

Çözüme, alanı elemanlara ayırarak ve nodları belirleyerek başlanır. Esas olarak yöntemin önemli noktalarını ve aşamalarını göstermek amaçlandığından, Şekil 3.2'de gösterildiği gibi problem 4 elemanlı ve 5 nodlu olarak modellenecektir. Yine de eklenecek daha fazla eleman ve nod ile problem çözümünün doğruluğunun artacağı bilinmelidir. Verilen blok, birbirinden ayrı ve her biri sabit bir kesite sahip 4 parçayla modellenebilir. Her bir elemanın kesit alanı,

elemanı oluşturan nodların üzerinde bulunduğu kesit alanlarının ortalaması ile ifade edilir. Bu model, Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

3.3.1.2 Eleman davranışına yaklaşım

Bir elemanın davranışını ortaya koymak için Şekil 3.3’de gösterilen F kuvvetine maruz l boyunda ve sabit A kesitinde katı bir cisim göz önüne alalım.



Şekil 3.3 F kuvvetine maruz sabit kesitli bir katı cisim

Cisimdeki ortalama çekme gerilmesi σ , (3.1) ile ifade edilir.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Ortalama normal gerinim, Δl 'nin (l uzunluğundaki değişim) cismin ilk uzunluğu l 'ye oranı olarak tanımlanır.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (3.2)$$

Elastik bölgede gerilme ve gerinim, Hooke Kanunu vasıtasıyla (3.3)'de verildiği gibi ilişkilendirilir.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.3)$$

E , malzemenin elastiklik modülüdür. (3.1), (3.2) ve (3.3) denklemlerini derlenerek ve basitleştirilerek (3.4) elde edilir.

$$F = \left(\frac{A \cdot E}{l} \right) \cdot \Delta l \quad (3.4)$$

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ilk yaklaşım olarak cisim, merkezinden yüklenmiş farklı kesitlere sahip bir cisim dizisi olarak modellenmiştir. Böylece cisim, birbirine seri bağlı 4 yaydan (eleman) oluşan bir model olarak açıklanabilir ve her elemanın elastik davranışı eşdeğer lineer yay ile (3.5)’de verildiği gibi modellenebilir.

$$f = k_{eq}(u_{i+1} - u_i) = \frac{A_{ort} \cdot E}{l} \cdot (u_{i+1} - u_i) = \frac{(A_{i+1} + A_i) \cdot E}{2 \cdot l} \cdot (u_{i+1} - u_i) \quad (3.5)$$

A_{i+1} ve A_i sırasıyla i_{i+1} ve i nodlarındaki kesit yüzey alanlarıdır ve l de elemanın uzunluğudur. Şekil 3.2 ile gösterilen modeli kullanarak her bir nodun kuvvet etkisiyle hareketini değerlendirmek gerekir.

Statik denge durumu, her bir noda etkiyen kuvvetlerin toplamının sıfır olmasını gerektirir. Bu gereklilik (3.6) denklem takımını meydana getirir.

$$\begin{aligned} R_1 - k_1 \cdot (u_2 - u_1) &= 0 \\ k_1 \cdot (u_2 - u_1) - k_2 \cdot (u_3 - u_2) &= 0 \\ k_1 \cdot (u_3 - u_2) - k_2 \cdot (u_4 - u_3) &= 0 \\ k_1 \cdot (u_4 - u_3) - k_2 \cdot (u_5 - u_4) &= 0 \\ k_1 \cdot (u_5 - u_4) - P &= 0 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Reaksiyon kuvveti R_1 ve uygulanan dış kuvvet P , iç kuvvetlerden ayrılarak (3.6)’da verilen denge denklemlerini düzenlendiğinde (3.7) ile verilen denklem takımını elde ederiz.

$$\begin{aligned} k_1 \cdot u_1 - k_1 \cdot u_2 &= -R_1 \\ -k_1 \cdot u_1 + k_1 \cdot u_2 - k_2 \cdot u_2 + k_2 \cdot u_3 &= 0 \\ -k_1 \cdot u_2 + k_2 \cdot u_3 - k_3 \cdot u_3 + k_3 \cdot u_4 &= 0 \\ -k_3 \cdot u_3 + k_3 \cdot u_4 - k_4 \cdot u_4 + k_4 \cdot u_5 &= 0 \\ -k_4 \cdot u_4 + k_4 \cdot u_5 &= P \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$\begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -R_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ P \end{Bmatrix} \quad (3.8)$$

(3.7) ile verilen denge denklemleri takımını matris formuna taşıdığımızda (3.8) elde edilir.

Yük matrisinde yer alan reaksiyon kuvvetleri ile uygulanan kuvvetleri birbirinden ayırmak ayrıca önemlidir. Bu nedenle, (3.8)'deki matris (3.9)'da belirtildiği gibi yazılabilir.

$$\begin{Bmatrix} -R_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3+k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ P \end{Bmatrix} \quad (3.9)$$

Nodal yükler ve diğer belirlenmiş sınır koşulları altında (3.9) ile verilen denklem kolaylıkla (3.10)'da verildiği gibi genel forma dönüştürülebilir.

$$\{R\} = [K]\{u\} - \{F\} \quad (3.10)$$

(3.10)'da $\{R\}$ reaksiyon kuvvetleri matrisini, $[K]$ katılık matrisini, $\{u\}$ yer değiştirme matrisini ve $\{F\}$ yük matrisini temsil eder.

Cisim üst tarafından sabitlendiği için birinci nodun yer değiştirmesi sıfırdır. Bu nedenle (3.8) ile verilen denklem sisteminin ilk satırı sıfır olmalıdır. Sınır koşullarının bu şekilde uygulanması (3.11) matris denklemini verir.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3+k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ P \end{Bmatrix} \quad (3.11)$$

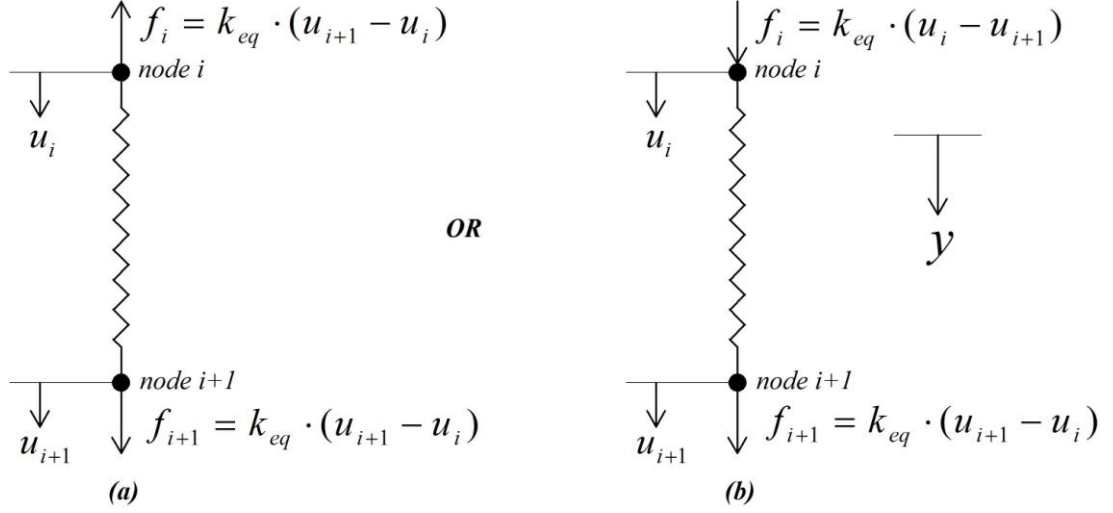
(3.11) matris denklem sisteminin çözümü nodal yer değiştirme değerlerini verir.

3.3.1.3 Elemanlar için denklem geliştirme

Şekil 3.2 ile verilen cismin her elemanı iki noda sahip olduğu ve her bir nod bir yer değiştirme ile eşleştirildiği için her bir nod için iki denklem yaratılmalıdır. Bu denklemler nodal yer değiştirmeleri ve elemanların katılıklarını içermelidir. Şekil 3.4'de f_i ve f_{i+1} iç kuvvetlerini ile u_i ve u_{i+1} yer değiştirmelerini değerlendirelim.

Statik denge şartları f_i ve f_{i+1} kuvvetlerinin toplamının sıfır olmasını gerektirir. Şekil 3.4'de

yer alan hangi gösterim seçilirse seçilsin f_i ve f_{i+1} kuvvetlerinin toplamı sıfırdır. Daha sonraki türetmelerin tutarlılığı açısından Şekil 3.4(b)'de verilen gösterim kullanılacağı için f_i ve f_{i+1} kuvvetleri pozitif y eksenine verilmiştir. Böylece i ve $i+1$ nodlarındaki kuvvetleri (3.12) denklem takımındaki gibi yazabiliriz.



Şekil 3.4 Keyfi bir eleman boyunca iç kuvvetler

$$\begin{aligned} f_i &= k_{eq} \cdot (u_i - u_{i+1}) \\ f_{i+1} &= k_{eq} \cdot (u_{i+1} - u_i) \end{aligned} \quad (3.12)$$

(3.12) denklem takımı (3.13)'deki gibi matris formunda ifade edilir.

$$\begin{Bmatrix} f_i \\ f_{i+1} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{eq} & -k_{eq} \\ -k_{eq} & k_{eq} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ u_{i+1} \end{Bmatrix} \quad (3.13)$$

3.3.1.4 Tüm problemi tanımlaması için elemanları birleştirme

(3.13) ile verilen eleman tanımının tüm elemanlara uygulanması ve bu uygulamaların bir araya getirilmesi ile global katılık matrisi elde edilir. Eleman 1 için katılık matrisi (3.14) ile verilir.

$$[K]^{(1)} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Eleman 1 için yazılan (3.14) katılık matrisinin global katılık matrisindeki yeri (3.15) ile verilmiştir.

$$[K]^{(1G)} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{matrix} \quad (3.15)$$

Benzer olarak eleman 2 için (3.16) katılık matrisi ve aynı elemanın global katılık matrisindeki yeri (3.17) ile yazılabilir.

$$[K]^{(2)} = \begin{bmatrix} k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

$$[K]^{(2G)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{matrix} \quad (3.17)$$

Sonuç olarak global katılık matrisi, her elemanın global katılık matrisindeki yerlerinin birleştirilmesi ile elde edilir.

$$[K]^{(G)} = [K]^{(1G)} + [K]^{(2G)} + [K]^{(3G)} + [K]^{(4G)} \quad (3.18)$$

$$[K]^{(G)} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Elemantel tanımlarla elde edilen global katılık matrisi (3.19), (3.9) denkleminin sol tarafında daha önce nodların serbest cisim diyagramı ile elde ettiğimiz global katılık matrisi ile aynıdır.

3.3.1.5 Sınır koşullarının uygulanması

Cismin üst taraftan sabitlenmesi $u_1 = 0$ sınır koşulunu beraberinde getirir. Dış yük P ise beşinci noda uygulanmaktadır. Bu sınır koşullarının uygulanması, (3.20) lineer denklem takımını sonucunu verir.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ P \end{Bmatrix} \quad (3.20)$$

Katı cisim mekaniği problemlerinde sonlu elemanlar yöntemi formülasyonu her zaman (3.21) formunda bir sonuç getirir.

$$[\text{Katılık Matrisi}] \{ \text{Yer Değiştirme Matrisi} \} = \{ \text{Yük Matrisi} \} \quad (3.21)$$

3.3.2 Çözüm aşaması (Solution phase)

Lineer ya da lineer olmayan cebirsel denklem takımı, katı cisim problemlerinde nodlardaki yer değiştirmeler yada termal problemlerde nodlardaki sıcaklıklar gibi değerleri elde etmek için birlikte çözülür.

3.3.3 Son işlem aşaması (Postprocessing)

Çözüm aşaması sonunda elde edilen değerler, genel gerilmeler ya da ısı akısı gibi diğer önemli değerleri elde etmede kullanılır. Bunun için gerinim-gerilme veya sıcaklık-ısı akısı arasındaki matematiksel bağıntılar kullanılır.

3.4 Sonlu Eleman Tipleri ve Seçim Kriterleri

Sonlu elemanlar yönteminde kullanılabilen temel sonlu eleman tipleri Şekil 3.5’de gösterilmiştir (Fagan, 1992). Şekil 3.5’de görüldüğü gibi nokta elemanlardan hacim elemanlara kadar değişebilir.

Kabuk elemanlar özel bir sınıftadır çünkü alan veya hacim bölümlene itinalı şekilde yapılamaz. Doğasında iki boyutludurlar fakat eğimli yüzeylerde kullanılmak için geliştirilmişlerdir. Gerilme analizi problemleri için kabuk elemanlar, bükülme veya eğilme tesirlerini içeren eğimli plak elemanlarıdır ve basınçlı kaplar gibi problemleri modellemek için uygundur.

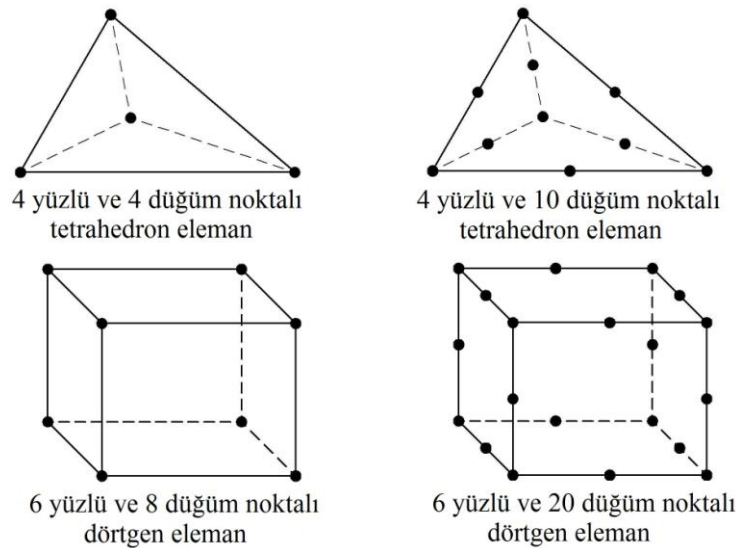
Elemanların kenarları düz veya eğimli olabilir. Eğer bir modelde eğimli elemanlar kullanılmışsa, çözümün karmaşıklığı ve süresi belirgin şekilde artar. Eğimli sınırlara sahip elemanların kullanımı, modelin geometrik doğruluğunu iyileştirmesinin yanında elemanda kullanılan interpolasyon fonksiyonunun derecesini ve dolayısıyla modelin karmaşıklığını

belirgin şekilde arttırır.

Çeşitli alan ve gerilme problemlerini çözmek için kolaylıklara haiz olan geniş ticari sonlu elemanlar bilgisayar programları kullanıcılar için rahatlıkla 100'den fazla değişik sonlu eleman tipini mümkün kılar. Verilen bir problemde kullanmak için sonlu eleman tipinin seçimi ilk bakışta görüldüğü kadar zor değildir. İlk olarak gerilme veya alan gibi analiz edilecek problemin tipi elemanların büyük bir kısmını devre dışı bırakır; ikinci olarak modelin seçilen boyutluluğu yelpazeyi daha da kısıtlar. Bundan dolayı, örneğin kullanıcı bir alan problemi için iki boyutlu bir model şekillendirirse, muhtemelen 1 ya da 2 uygun eleman tipi var olacaktır.

Şekil	Tip	Geometri
Nokta	Kütle	
Çizgi	Kiriş	
Alan	2D plak	
Eğimli Alan	Kabuk	
Hacim	3D hacim	

Şekil 3.5 Temel eleman şekilleri



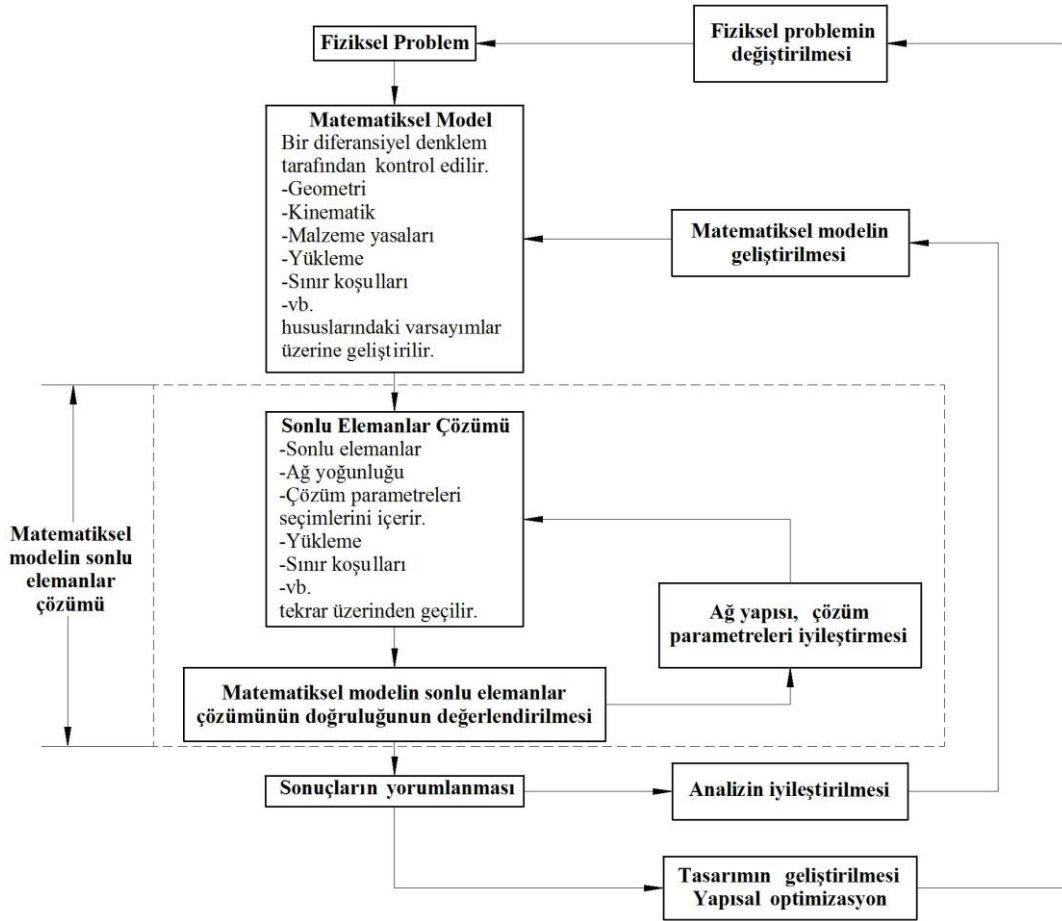
Şekil 3.6 Sonlu eleman yönteminde kullanılan bazı 3 boyutlu elemanlar

Eleman tipinin seçiminden önce mühendis, irdelenen problemde nelerin yer aldığını öngörmelidir. Bu aşamada temel mühendislik prensipleri anlayışı çok önemlidir ve standart bir analiz yönteminin teşhisi çok yararlıdır. Örneğin sistem, bir kafes sistemi problemi, bir kiriş problemi veya bir plak eğilme problemi olarak tanımlanabilir. Bu durumlarda eleman seçimi belirgindir.

Şekil 3.6, sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlerde kullanılan 3 boyutlu elemanlardan bazılarını göstermektedir.

3.5 Fiziksel Problemler ve Sonlu Elemanlar Çözümü

Sonlu elemanlar yöntemi mühendislik analizleri ve tasarımlarında fiziksel problemleri çözmek için kullanılır (Bathe, 1996). Şekil 3.7 sonlu elemanlar analizlerinin sürecini özetler.



Şekil 3.7 Sonlu elemanlar analizinin süreci (Bathe, 1996)

Fiziksel problem genellikle fiili bir yapı veya belirli yüklere maruz yapısal bir bileşen içerir. Matematiksel modele hükmeden diferansiyel denklemleri sonuç olarak veren fiziksel bir problemin matematiksel bir modele idealize edilmesi işlemi belirli varsayımlar gerektirir.

Sonlu elemanlar çözümleri tekniği nümerik bir yöntem olduğu için çözümlerinin doğruluğunun belirlenmesi gereklidir. Eğer doğruluk kriterleri karşılanmıyorsa, yeterli doğruluğa ulaşmaya kadar nümerik çözüm, örneğin daha iyi ağ yapısı gibi iyileştirilmiş çözüm parametreleriyle tekrar edilmelidir.

Analizlerle birlikte, ele alınan fiziksel problemlere ait sadece bir sezgi elde edilebileceğinin vurgulanması gerekir. Fiziksel problemin cevabı tam olarak öngörülemez çünkü en iyileştirilmiş matematiksel modelle bile, doğada ve dolayısıyla problemde geçerli olan fiziksel yasaları birebir yansıtmak mümkün değildir.

Matematiksel bir model güvenilir bir şekilde çözüldükten ve sonuçlar yorumlandıktan sonra, fiziksel problem üzerinde daha iyi bir sezgiye sahip olunması için daha iyileştirilmiş matematiksel modelin bir sonraki adım olarak ele alınması konusunda karar verilebilir. Daha da ötesinde, fiziksel problemde bir değişiklik gerekli olabilir. Bu değişiklikler başka matematiksel modeller ve sonlu elemanlar çözümlerini beraberinde getirir.

Bu nedenlerle mühendislik analizlerinde can alıcı nokta uygun matematiksel modelin seçilmesidir. Bu modeller açıkça, hangi doğal fiziksel olayın irdeleneceğine bağlı olarak seçilir. Güvenilir ve aranan nicelikleri öngörmede etkin matematiksel modelleri seçmek en önemli noktadır.

Seçilen bir modelin güvenilirliğini ve etkinliğini belirlemek için, fiziksel problemin çok geniş kapsamlı bir matematiksel modeli düşünülür ve seçilen modelin cevabı ile geniş kapsamlı modelin cevabı karşılaştırılır. Genelde, çok geniş kapsamlı matematiksel model, fiziksel problemin tamamen üç boyutlu elemanlarla tanımlanmasıdır ve ayrıca lineer olmayan davranışları da içerir. Kuşkusuz bir fiziksel problem için en etkin matematiksel model yeterli doğruluğu en az maliyetle (çözüm süresiyle) sağlayanıdır. Eğer seçilen matematiksel modelin öngördüğü fiziksel problem cevabı, geniş kapsamlı matematiksel modelin cevabı ile belirli bir doğruluk seviyesi içerisindeyse söz konusu matematiksel model güvenilirdir.

4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE ANALİZLER

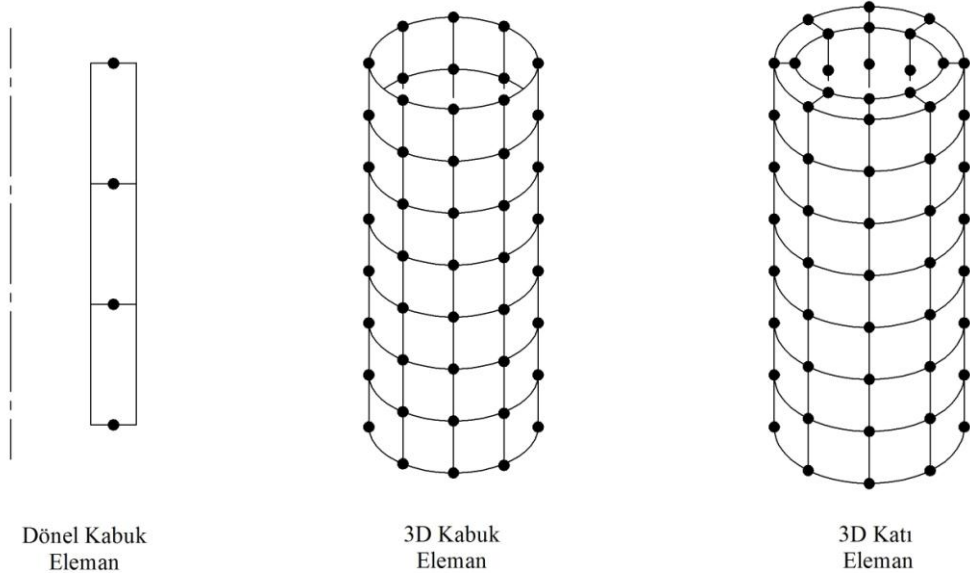
4.1 Dış Mekân Kabininin Sonlu Elemanlar Modeli

Bu bölümde dış mekân kabini için sonlu elemanlar modeli hazırlanarak analizler için uygun hale getirilecektir. Bu hazırlık için sonlu elemanlar yönteminde yaygın olarak kullanılan varsayımlardan bahsedilecek ve bu varsayımlar ışığında dış mekân kabinini oluşturan parçalar arasında temas bölgeleri tanımlanacak, malzeme özellikleri girilecek ve ağ örgüsü (meshing) çeşitli eleman boyutları için oluşturulacaktır.

4.1.1 Sonlu elemanlar yönteminde genel varsayımlar

Geometri, malzeme özellikleri, ağ örgüsü ve bağlantı elemanları olmak üzere, herhangi bir sonlu elemanlar modelinde değerlendirilen varsayımlar 4 grupta incelenebilir (Adams, Askenazi, 1999).

4.1.1.1 Geometride genel varsayımlar



Şekil 4.1 İnce cidarlı silindirik bir parça için farklı geometrik varsayımlar

Geometri kusursuz şekliyle değerlendirilmelidir. Aslında CAD (computer aided design – bilgisayar destekli tasarım) geometrileri ağ örgüsü kurmak için sadece bir şablondur. Gereksiz hatları ve ayrıntıları kaldırarak veya katı yapıları yüzey (kabuk) veya çizgi (kiriş) şeklinde ifade ederek şablon geometriyi idealize etmek yaygın bir uygulamadır. Çalışma hedeflerini ulaşmak için problemi layıkıyla ifade etmek noktasında seçilen herhangi bir idealizasyon biçimi varsayımlar gerektirir. Şekil 4.1, ince cidarlı silindirik bir parçanın farklı geometrik

yaklaşımlarla ve varsayımlarla ele alınabileceğini göstermektedir.

4.1.1.2 Malzeme özelliklerinde genel varsayımlar

Analiz edilecek modelde parçaların izotropik malzeme özelliklerine sahip ve homojen olduğu varsayımı tipik bir yaklaşımdır. Malzeme özelliklerinin yükleme mertebelerinden etkilenmediği, gerilme yığılmaları ve yerel eğilmeler gibi sonuçlar doğurabilecek yüzey kusurları ve gözeneklerin bulunmadığı diğer genel varsayımlardır. Kaynak metalinin ve kaynak sırasında ısı etkisi altında kalan bölgenin, esas metalle aynı malzeme özelliklerine sahip olduğu sonlu elemanlar analizlerin de kullanılan bir varsayımdır.

Sıcaklık değişimlerinin malzeme özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmesine rağmen, bütün analizlerde malzemelerin özellikleri oda sıcaklığına göre seçilir. Malzeme sönümü yok sayılabilir ya da araştırma kapsamındaki tüm durumlarda sabit olarak kabul edilebilir.

4.1.1.3 Ağ örgüsünde genel varsayımlar

Daha önce belirtildiği gibi ağ örgüsü, geometriyi sonlu elemanlar analizi çözücüsüne bağlamak için kullanılan yoldur. Çözümün doğruluğu birincil olarak ağ örgüsünün kalitesine bağlıdır. Kabuk veya kiriş elemanlar gibi idealize edilmiş elemanların kullanımı, bu elemanların geometriyi layıkıyla temsil edebildiği varsayımını beraberinde getirir. Bu varsayımı yeterli hale getirmek her zaman için kolay değildir.

4.1.1.4 Bağlantı elemanlarında ve kaynaklı bağlantılarda genel varsayımlar

Bağlantı elemanlarının ve diğer montaj elemanlarının gerilme gevşemeleri değerlendirmeye alınmaz. Vidalar, nokta kaynaklar, kaynaklar, perçinler ve bağlantı elemanları sayıca çoksa ve yeterince rijitse, iki parçanın arasındaki bağ kusursuz kabul edilebilir. Bağlantı elemanlarındaki aksaklıklar değerlendirmeye alınmaz. Bütün parçalar arasındaki kaynaklar ideal ve sürekli şekilde kabul edilir.

4.1.2 Dış mekân kabininin sonlu elemanlar modelinde varsayımlar

Dış mekân kabinlerine yönelik yapılan araştırma kapsamında tasarlanan telekomünikasyon teknolojisi amaçlı elektronik cihaz kabininin sonlu elemanlar modelini oluşturmak için bir önceki bölümde bahsedilen ve sonlu elemanlar yönteminde yaygın olarak kullanılan varsayımlardan yararlanılacaktır.

Adams ve Askenazi'nin (1999) belirttiği bu genel varsayımlardan bazıları örnek dış mekân kabini için kullanılabilir ve gerekli niteliktedir.

Dış mekân kabini için belirtilen geometrik varsayımlardan herhangi biri kullanılmayacaktır. Model bir bilgisayarın çözmekte zorlanacağı kadar karmaşık olmadığı ve daha önemlisi Bathe (1996) tarafından belirtildiği gibi genelde, çok geniş kapsamlı matematiksel model, fiziksel problemin tamamen üç boyutlu tanımlanması olduğundan ve bu model çözümün doğruluğunu kıyaslamada kullanıldığından dış mekân kabini için geometri herhangi bir şekilde idealize edilmeyecektir. Sonlu elemanlar modelinin ağ örgüsü için 4 yüzlü ve 4 düğüm noktalı tetrahedron 3D elemanlar kullanılacaktır.

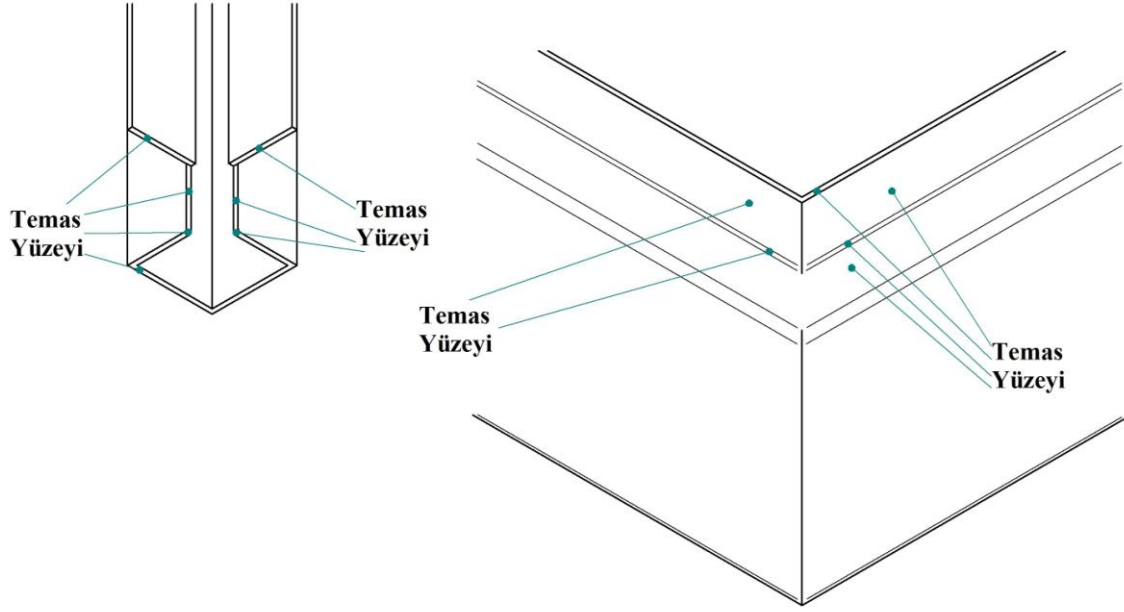
Malzeme özellikleriyle ilgili önceki bölümde belirtilen varsayımların tümü dış mekân kabini için de geçerlidir. Modelde kullanılacak malzemelerin kusursuz olarak izotropik ve homojen olduğu varsayılacaktır. Kaynak yöntemiyle birleştirilen parçaların mekanik özelliklerinin ısıdan etkilenmediği varsayımı da dış mekân kabini için sonlu elemanlar modeli için önemlidir.

Dış mekân kabini için geometrisinde kabuk veya kiriş elemanların kullanılması gibi ideal durumlar varsayılmadığı için ağ örgüsünde herhangi bir varsayım yapılmayacaktır.

Tasarlanan dış mekân kabini için çeşitli niteliklerdeki 104 adet bağlantı elemanından yararlanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi için geçerli genel varsayımlarda belirtildiği gibi bağlantı elemanlarının sayısı kabini oluşturan parçaların 27 değerindeki sayısına oranla çok fazladır ve kabini rijit bir şekilde montaj edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu bağlantı elemanlarının malzemesi, kabini korozif atmosfer şartlarına maruz kalacak olması nedeniyle paslanmaz çelik olarak seçilmiştir. Malzemesi itibariyle de rijit olan bu bağlantı elemanları, zorlanma koşullarındaki davranışları da araştırma kapsamına girmediğinden, dış mekân kabini için sonlu elemanlar modelinde yer almayacaklardır. Parçalar arasındaki bağlantılar, bağlantı elemanlarının montajı amacıyla açılmış deliklerin kusursuz şekilde bağlı oldukları varsayımı ile sağlanacaktır. Bu varsayım, sonlu elemanlar analizleri programının yüzeyler veya kenarlar arasında tanımladığı sınır şartları ile yapılacaktır. Bu tanımlama komutu ile tanımlanan sınır şartları durumunda, her türlü zorlanma durumunda yüzeyler ya da kenarlar arasında hiçbir kayma ya da ayrılmaya müsaade edilmez.

Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan genel varsayımlardan biri de kaynak bölgelerinin ideal ve sürekli kabul edilmesidir. Dış mekân kabini için birbirine kaynak edilecek parçaların temas yüzeyleri için de bu varsayım kullanılacaktır. Kaynaklı parçaların temas yüzeyi, kaynak

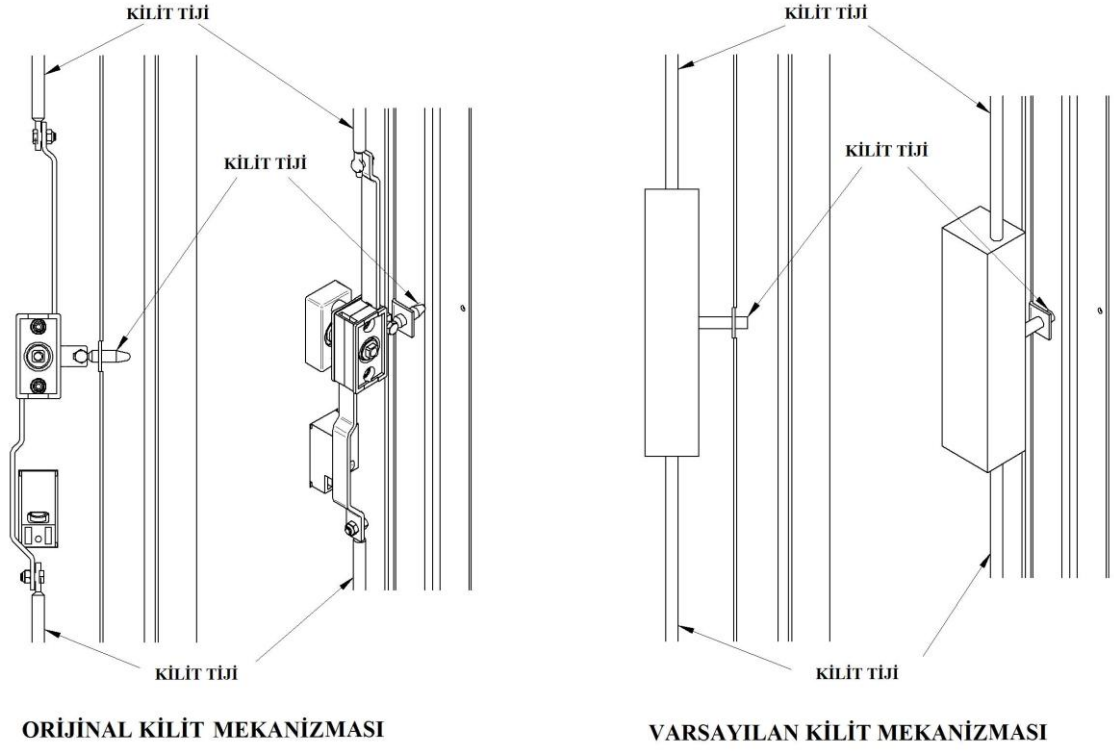
edilen parçalardan birinin kenarı boyunca ve et kalınlığına eşit genişlikte olduğu için; ek kaynak metalini temsilen parça eklenmeyecek ve bu yüzeyler arasında tanımlanacak sınır şartları ile bağlantı kusursuz varsayılacaktır. Kusursuz şekilde ilişkilendirilecek yüzeyler Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Kaynaklı bağlantı yüzeyleri sadece dış mekân kabini köşe profillerinin bazaya ve çatıya temas ettiği yüzeylerdir.



Şekil 4.2 Kaynaklı bağlantılarda yüzey bağlama yaklaşımı

Dış mekân kabini incelenecek ayrıntılardan birisi de kilit mekanizmasının göbeğini oluşturan parçalardaki deformasyon ve gerilmelerdir. Kilit mekanizmasının sisteme olan katkısı yitirilmeden basitleştirilmeye gidilecektir. Bu çerçevede kilit mekanizmasının göbek kısmını oluşturan ve deformasyon ile gerilmeleri çalışmanın kapsamına girmeyen parçaların tümü bir bütün olarak sonlu elemanlar modeline aktarılacaktır. Bu esnada birleştirilen parçaların toplam kütlesi ile birleştirilmiş blok halinin kütlesi birbirine eşit tutulacaktır. Bu blok hali, 0,75 kg kütle ve alüminyumun yoğunluğuna sahip bir hacim olarak ele alınacaktır. Sonuç olarak kilit mekanizmasının göbeğini oluşturan parçalar genişliği 35 mm, yüksekliği 175 mm ve derinliği 45,15 mm olan 0,75 kg kütleli alüminyum bir blok olarak kabul edilecektir. Kilit göbeği, kapı paneli üzerinde açılan pencerenin iç yüzeylerine kusursuz şekilde bağlanacaktır. Kilit göbeğinin 3 tarafından doğrusal hareketle çalışan kilit tijleri ise sonlu elemanlar modeline aynen taşınacaktır. Bu tijler de, kilit göbeğini temsil eden bloğa kusursuz şekilde bağlanacaktır. Böylece tijlerin deformasyon ve gerilmeleri hesaplanabilecek; daha önemlisi kilit mekanizmasının sisteme kattığı 3 noktadan kilitleme özelliği de bire bir korunmuş olacaktır. Kilit mekanizmasının orijinal ve sonlu elemanlar modeli için

basitleştirilmiş hali Şekil 4.3 ile gösterilmiştir.



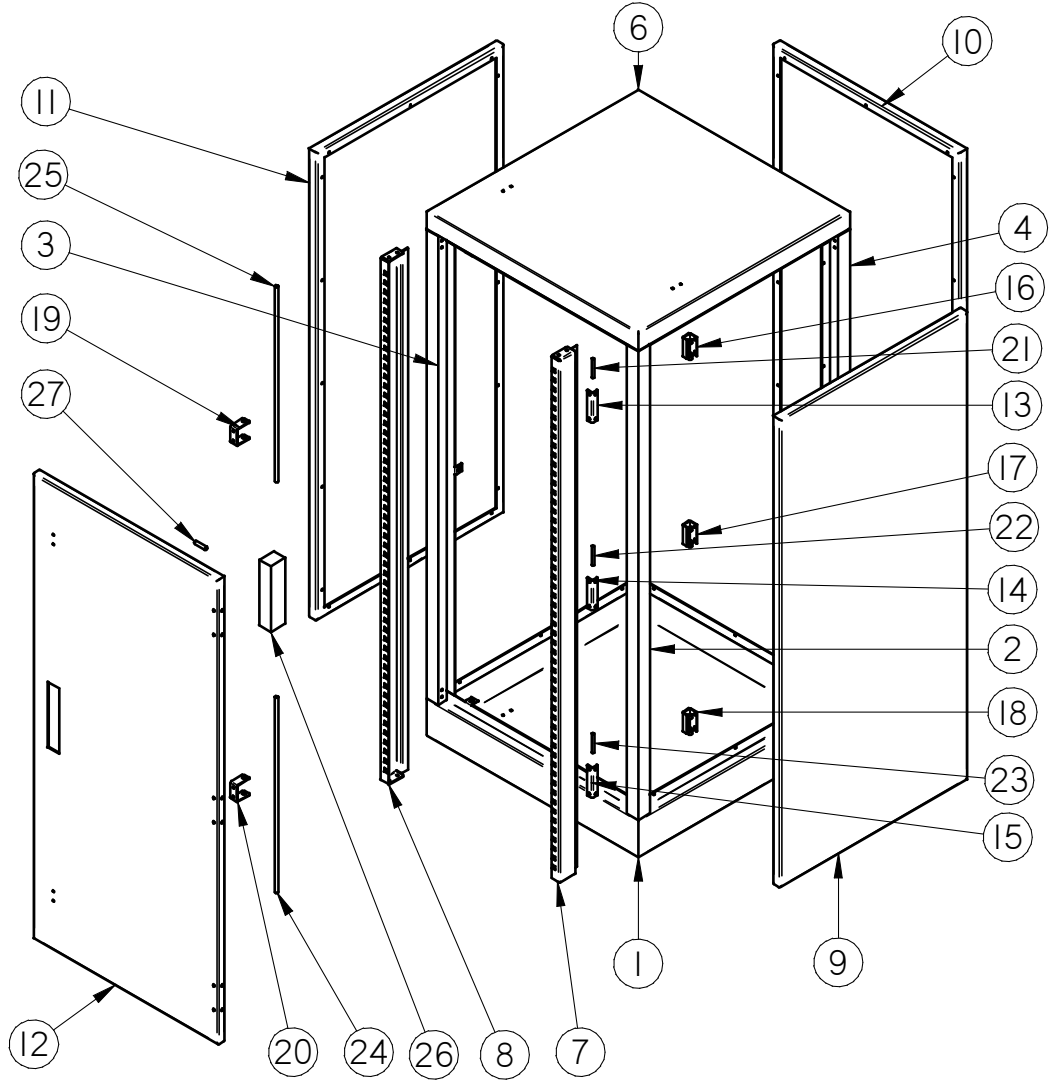
Şekil 4.3 Orjinal ve varsayılan kilit mekanizmaları

Yapılan tüm basitleştirmeler ve varsayımlardan sonra elde edilen ve analizlerin uygulanması için sonlu elemanlar modeli hazırlanacak dış mekan kabini Şekil 4.4 ile verilmektedir.

Çizelge 4.1’de ise sonlu elemanlar modeli hazırlanacak dış mekan kabini modelinde yer alan parçaların listesi ve referans numaraları verilmektedir.

Çizelge 4.1 Sonlu elemanlar modeli hazırlanacak dış mekan kabini parçaları

No	Açıklama	Malzeme	Adet	No	Açıklama	Malzeme	Adet
1	Baza	Paslanmaz Çelik	1	15	Alt Menteşe Kapı Parçası	Paslanmaz Çelik	1
2	Ön Sağ Köşe Profili	Paslanmaz Çelik	1	16	Üst Menteşe Gövde Parçası	Paslanmaz Çelik	1
3	Ön Sol Köşe Profili	Paslanmaz Çelik	1	17	Orta Menteşe Gövde Parçası	Paslanmaz Çelik	1
4	Arka Sağ Köşe Profili	Paslanmaz Çelik	1	18	Alt Menteşe Gövde Parçası	Paslanmaz Çelik	1
5	Arka Sol Köşe Profili	Paslanmaz Çelik	1	19	Kilit Üstü Tij Kılavuzu	Paslanmaz Çelik	1
6	Çatı	Paslanmaz Çelik	1	20	Kilit Altı Tij Kılavuzu	Paslanmaz Çelik	1
7	Sağ Cihaz Taşıyıcı	Paslanmaz Çelik	1	21	Üst Menteşe Pimi	Paslanmaz Çelik	1
8	Sol Cihaz Taşıyıcı	Paslanmaz Çelik	1	22	Orta Menteşe Pimi	Paslanmaz Çelik	1
9	Sağ Yan Panel	Alüminyum Alaşımı	1	23	Alt Menteşe Pimi	Paslanmaz Çelik	1
10	Arka Panel	Alüminyum Alaşımı	1	24	Kilit Altı Dikey Tiji	Paslanmaz Çelik	1
11	Sol Yan Panel	Alüminyum Alaşımı	1	25	Kilit Üstü Dikey Tiji	Paslanmaz Çelik	1
12	Kapı Paneli	Alüminyum Alaşımı	1	26	Kilit Göbeği	Alüminyum	1
13	Üst Menteşe Kapı Parçası	Paslanmaz Çelik	1	27	Kilit Yanı Yatay Tiji	Paslanmaz Çelik	1
14	Orta Menteşe Kapı Parçası	Paslanmaz Çelik	1				



Şekil 4.4 Sonlu elemanlar modeli hazırlanacak dış mekân kabini

4.1.3 Dış mekân kabini montajının sonlu elemanlar yaklaşımı

Dış mekân kabininin sonlu elemanlar modelinde bahsedilen varsayımların tümü ele alınarak kabini oluşturan parçalar arasındaki montaj şekillerinin belirlenmesi gerekir. Bu, parçaların kendi aralarındaki sınır şartlarının sonlu elemanlar programına girilmesi anlamına gelir. Dış mekân kabininin uzaydaki sınır şartları ise uygulanacak analiz seçenekleri ile birlikte verilir.

Dış mekân kabininin tasarımı incelendiğinde parçalar arasındaki bağlantıların üç yöntemden seçilen biriyle yapıldığı görülmektedir. Bağlantılar perçin şişirme yöntemi, vida-somun ile bağlama yöntemi ya da kaynak yöntemi ile yapılmaktadır. Menteşe sistemi ve kilit sistemi üzerinde ise bazı şekil bağlı bağlantılar mevcuttur.

Çizelge 4.2 Sonlu elemanlar modeli için kabin parçalarının bağlantıları

Montaj Şekli	1. Parça	1. Parça Temas Bölgesi Sayısı	Temas Bölgesi Tipi	2. Parça Temas Bölgesi Sayısı	2.Parça
Kaynak	Ön Sağ Köşe Profili	7	Yüzey	6	Baza
Kaynak	Ön Sol Köşe Profili	7	Yüzey	6	Baza
Kaynak	Arka Sağ Köşe Profili	7	Yüzey	6	Baza
Kaynak	Arka Sol Köşe Profili	7	Yüzey	6	Baza
Kaynak	Çatı	6	Yüzey	7	Ön Sağ Köşe Profili
Kaynak	Çatı	6	Yüzey	7	Ön Sol Köşe Profili
Kaynak	Çatı	6	Yüzey	7	Arka Sağ Köşe Profili
Kaynak	Çatı	6	Yüzey	7	Arka Sol Köşe Profili
Perçin	Sağ Yan Panel	3	Kenar	3	Çatı
Perçin	Sağ Yan Panel	3	Kenar	3	Baza
Perçin	Sağ Yan Panel	5	Kenar	5	Ön Sağ Köşe Profili
Perçin	Sağ Yan Panel	5	Kenar	5	Arka Sağ Köşe Profili
Perçin	Arka Panel	3	Kenar	3	Çatı
Perçin	Arka Panel	3	Kenar	3	Baza
Perçin	Arka Panel	5	Kenar	5	Arka Sağ Köşe Profili
Perçin	Arka Panel	5	Kenar	5	Arka Sol Köşe Profili
Perçin	Sol Yan Panel	3	Kenar	3	Çatı
Perçin	Sol Yan Panel	3	Kenar	3	Baza
Perçin	Sol Yan Panel	5	Kenar	5	Arka Sol Köşe Profili
Perçin	Sol Yan Panel	5	Kenar	5	Ön Sol Köşe Profili
Perçin	Kapı Paneli	4	Kenar	4	Üst Menteşe Kapı Parçası
Perçin	Kapı Paneli	4	Kenar	4	Orta Menteşe Kapı Parçası
Perçin	Kapı Paneli	4	Kenar	4	Alt Menteşe Kapı Parçası
Şekil Bağlı	Kilit Göbeği	4	Yüzey	4	Kapı Paneli
Şekil Bağlı	Kilit Üstü Dikey Tiji	1	Yüzey	1	Kilit Göbeği
Şekil Bağlı	Kilit Yanı Yatay Tiji	1	Yüzey	1	Kilit Göbeği
Şekil Bağlı	Kilit Altı Dikey Tiji	1	Yüzey	1	Kilit Göbeği
Şekil Bağlı	Kilit Üstü Dikey Tiji	1	Yüzey	2	Kilit Üstü Tij Kılavuzu
Şekil Bağlı	Kilit Altı Dikey Tiji	1	Yüzey	2	Kilit Altı Tij Kılavuzu
Şekil Bağlı	Kilit Üstü Dikey Tiji	1	Yüzey	1	Çatı
Şekil Bağlı	Kilit Yanı Yatay Tiji	1	Yüzey	1	Ön Sol Köşe Profili
Şekil Bağlı	Kilit Altı Dikey Tiji	1	Yüzey	1	Baza
Şekil Bağlı	Üst Menteşe Pimi	1	Yüzey	2	Üst Menteşe Gövde Parçası
Şekil Bağlı	Orta Menteşe Pimi	1	Yüzey	2	Orta Menteşe Gövde Parçası
Şekil Bağlı	Alt Menteşe Pimi	1	Yüzey	2	Alt Menteşe Gövde Parçası
Şekil Bağlı	Üst Menteşe Pimi	1	Yüzey	1	Üst Menteşe Kapı Parçası
Şekil Bağlı	Orta Menteşe Pimi	1	Yüzey	1	Orta Menteşe Kapı Parçası
Şekil Bağlı	Alt Menteşe Pimi	1	Yüzey	1	Alt Menteşe Kapı Parçası
Vida-Somun	Üst Menteşe Gövde Parçası	2	Kenar	2	Ön Sağ Köşe Profili
Vida-Somun	Orta Menteşe Gövde Parçası	2	Kenar	2	Ön Sağ Köşe Profili
Vida-Somun	Alt Menteşe Gövde Parçası	2	Kenar	2	Ön Sağ Köşe Profili
Vida-Somun	Kilit Üstü Tij Kılavuzu	2	Kenar	2	Kapı Paneli
Vida-Somun	Kilit Altı Tij Kılavuzu	2	Kenar	2	Kapı Paneli
Vida-Somun	Sağ Cihaz Taşıyıcı	2	Kenar	2	Baza
Vida-Somun	Sağ Cihaz Taşıyıcı	2	Kenar	2	Çatı
Vida-Somun	Sol Cihaz Taşıyıcı	2	Kenar	2	Baza
Vida-Somun	Sol Cihaz Taşıyıcı	2	Kenar	2	Çatı

Perçin şişirme yöntemi ve vida-somun sıkma yöntemi ile birleştirilmiş parçalar için bağlantı elemanları modelden kaldırılacak; sonlu elemanlar modelinde bağlantı delikleri kusursuz şekilde bağlanacaktır. Kaynakla birleştirilen parçalar için temas yüzeyleri arasında yine kusursuz şekilde bağlantı sağlanacaktır. Çizelge 4.2’de dış mekan kabinini oluşturan parçalar arasındaki bağlantıların raporu verilmektedir.

Dış mekân elektronik cihaz kabini üzerinde bazı parçalar bağlantı elemanları vasıtasıyla değil şekil bağı ile bağlanmaktadır. Bu bağlantılar Çizelge 4.2’de verilmiş olup, sonlu elemanlar modelinde şekil bağının olduğu yüzeyler arasında kusursuz bağlantı tanımlanmıştır.

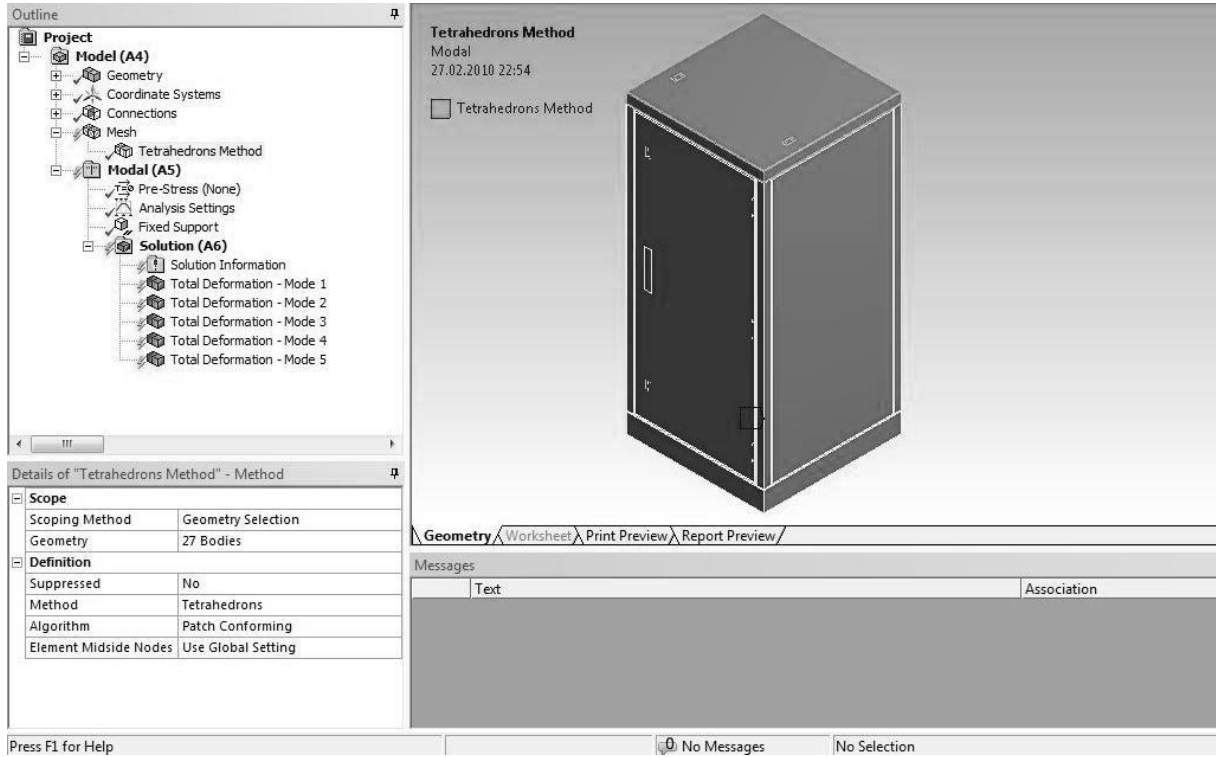
Dış mekân elektronik cihaz kabininde yüklerin uygulanması veya çalışma sırasında birbirinin içinde kayan ya da herhangi bir ekseninde dönen parça söz konusu değildir. Yani mekanizma şeklinde eş çalışan herhangi iki parça söz konusu değildir. Menteşe pimi ve kilit tijleri gibi şekil bağı bağlantı esasına dayalı parçalar hareket iletme amacı ile değil sabitleme amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle tij veya pim gibi parçalar da temas ettikleri yüzeylere kusursuz şekilde bağlanmıştır.

4.1.4 Dış mekân kabininin ağ örgüsünün oluşturulması

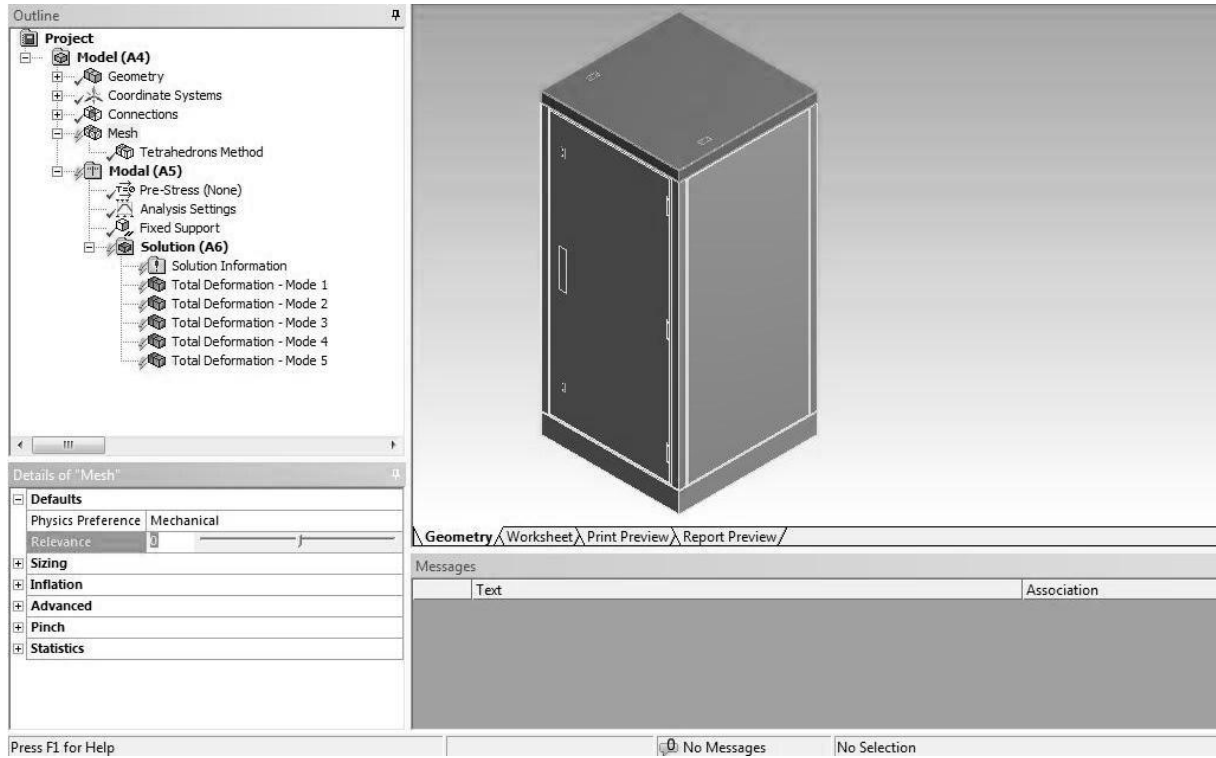
Sonlu elemanlar modelinin ağ örgüsü için 4 yüzlü ve 4 düğüm noktalı tetrahedron 3D elemanlar kullanılacaktır. Modal analiz ile eleman boyutunu belirlemek için yakınsama yapılacağı için sonlu elemanlar modeli değişik eleman boyutlarında hazırlanacaktır. Eleman boyutu küçüldükçe yani ağ örgüsü inceldikçe elde edilen sonuçların doğruluğu artmaktadır. Bu nedenle her defasında eleman boyutu küçültülerek tekrarlanacak modal analizlerle sonuçların belirli değerlere yakınsaması beklenecektir. Sonuçlardaki değişimin belirli bir hassasiyetle değiştiği noktada eleman boyutu ya da ağ örgüsü inceliği belirlenmiş olacaktır. Belirlenen bu ağ örgüsü, sistemi yeterli şekilde temsil eden yapı olarak kabul edilip, daha sonraki analizlerde de aynı ağ örgüsü kullanılacaktır.

Sonlu elemanlar analizleri programında ağ örgüsü oluşturmak için “eleman tipi” belirlendikten sonra “eleman boyutu” veya “ağ örgüsü inceliği” seçilir. Ağ örgüsünü çeşitli eleman boyutlarında oluşturmak için ağ örgüsü inceliği (relevance) arttırma yöntemi kullanılacaktır. Şekil 4.5 sonlu elemanlar analizleri programında ağ örgüsü oluşturmak için eleman tipinin, Şekil 4.6 ise ağ örgüsü inceliğinin (relevance) nasıl seçildiğini göstermektedir. Bir sistemin parçaları arasındaki bağlantılar tanımlandıktan sonra ağ örgüsü işlemine geçilmektedir. Sonlu elemanlar analizleri programı ağ örgüsü oluştururken delik ve temas bölgeleri civarında daha ince ağ örgüsü kullanır. Bu, analiz sonucunun doğruluğunu olumlu

yönde etkiler. Şekil 4.7, 4 yüzlü ve 4 düğüm noktalı lineer tetrahedron elemanı göstermektedir.

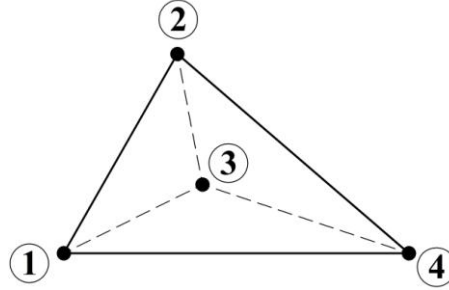


Şekil 4.5 Sonlu elemanlar analizleri programı ile eleman tipinin seçilmesi



Şekil 4.6 Sonlu elemanlar analizleri programı ile ağ örgüsü inceliğinin ayarlanması

Bu esaslarla ağ örgüsü inceliği (relevance) artırılarak oluşturulan ağ örgülerinde bulunan eleman ve mod sayıları Çizelge 4.3 ile verilmiştir.



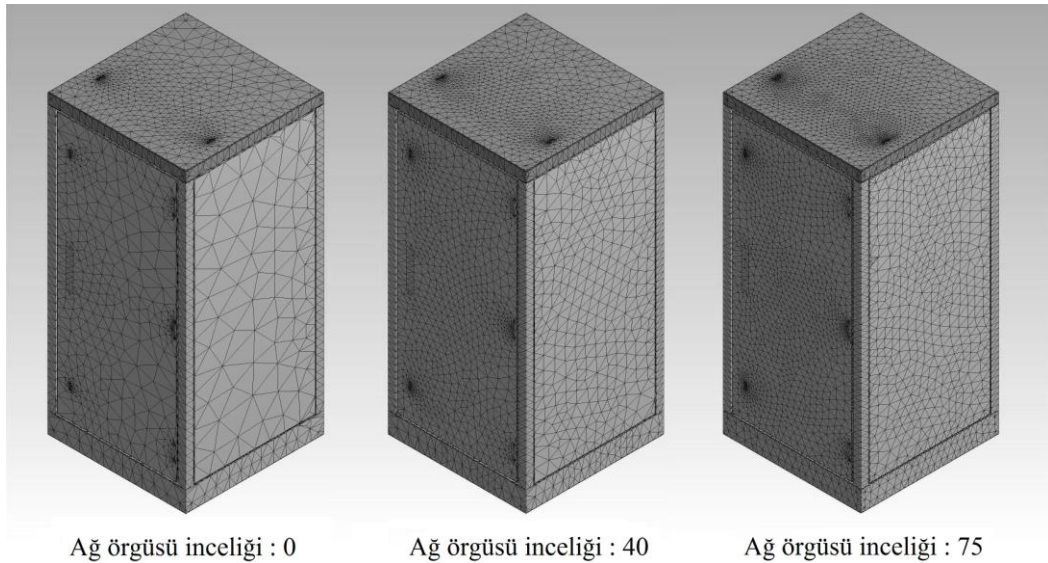
Şekil 4.7 4 yüzlü ve 4 düğüm noktalı lineer tetrahedron eleman

Çizelge 4.3 Değişik ağ örgüsü incelikleri ile değişen nod ve eleman sayıları

Ağ Örgüsü İnceliği	Nod Sayısı	Eleman Sayısı	Ağ Örgüsü İnceliği	Nod Sayısı	Eleman Sayısı
0	170336	83608	65	273332	137011
10	194879	96684	70	278443	139109
20	213316	106829	75	285320	141931
30	225495	111983	80	290676	144418
40	232524	114885	85	294290	146006
50	248374	123453	90	300310	148916
55	252161	125248	95	309116	152961
60	270965	135797	99	311830	153401

Değişik inceliklerle oluşturulan ağ örgülerinden bazılarının görünüşü Şekil 4.8 ile verilmiştir.

Yapıda bulunan üçgen bölgelerin, ağ örgüsü inceliği arttıkça küçüldüğü gözlenmektedir.



Şekil 4.8 Değişik inceliklerdeki ağ örgülerinin görünüşü

Ağ örgülerinin oluşturulmasıyla birlikte dış mekân elektronik cihaz kabiniin sonlu elemanlar modeli uygulanacak analizler için hazırlanmış olur.

4.2 Modal Analiz

Bu bölümde modal analizin tanımı ve öneminden bahsedilecek, ardından dış mekân kabine modal analiz uygulanacaktır. Modal analizin dış mekân kabine uygulanmasındaki temel amaç, eleman boyutunun belirlenmesi ve kabini oluşturan parçalar arasında tanımlanan bağlantıların kontrol edilerek doğrulanmasıdır.

4.2.1 Modal analizin önemi ve kullanımı

Modal veya doğal frekans analizleri, parçaların titreşimli veya periyodik yüklere maruz kalacağı bilindiği ve şartlara göre tasarlanacağı zamanlarda kullanılır (Adams, Askenazi, 1999). Bu çözüm şekli verilen bir yapı için belirli sınır şartlarında rezonans frekanslarını verir. Bu frekanslara benzer olarak mod şekilleri de elde edilir. Modal analiz, motorun dengelenmemiş kuvvetlerinden ortaya çıkan titreşimlere maruz kalan, otomobil ve motosikletler üzerine monte edilen parçalar için son derece önemlidir.

Periyodik bir girdisi mevcut olan tasarımların doğal frekanslarının bilinmesi önemlidir. Bir parça, titreştirilmesi gereken bir frekansta tahrik edildiği zaman, girdinin etkileri büyüyebilir ve erken, büyük zarar getiren hasarlara neden olabilir. Bu etkiler temel olarak sistemde daha fazla fark edilebilen titreşimler olabilir. Bu etkiler bazen malzemede bozukluk yaratmayabilirken, el aletlerinde kullanıcı yorgunluğuna veya diğer tüketici ürünlerinde algılama problemlerine neden olabilir. Karmaşık yapılar için, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler bu frekansları belirlemede en etkin yoldur.

Modal bir çalışmanın amacı, sistemin çalışma frekansı civarında ya da çalışma frekansı yelpazesi içerisinde doğal bir frekansa sahip olup olmadığına emin olmaktır. Bir sistemde birinci mod çalışma frekansının altında ise, ürün kullanıcısı başlangıçta sistemin hızı birinci mod frekansından geçerken bir titreşim hissedecektir. Çoğu mühendis bir zımpara taşının hızını alırken yarattığı titreşimi bilir. Bu, zımpara taşı sisteminin en azından birinci modunun çalışma frekansının altında olduğunu işaret eder.

Sonuç olarak modal analiz, bir yapının ya da makine parçasının titreşim karakteristiklerini (doğal frekanslarını ve mod şekillerini) belirler. Modal analiz ayrıca, daha detaylı nitelikteki dinamik analiz, transient dinamik analiz, harmonik analiz ve spektrum analiz için başlangıç

noktası oluşturur. Dinamik yükleme şartları için yapısal tasarımda doğal frekanslar ve mod şekilleri önemli parametrelerdir. Dönen türbin kanatları gibi öngerilmeli yapılar için de modal analiz gerçekleştirilebilir.

4.2.2 Sonlu elemanlar yöntemi ile modal analiz

Dinamik bir analizde eylemsizlik kuvvetlerinin etkileri hesaplamalara dahil edilir (Fagan, 1992). Bu eylemsizlik kuvvetleri, irdeleme altındaki yapının ivmesine orantılıdır ve sonuç olarak sistem denklemlerinde bir zaman değişkeni ortaya çıkarır. Denklemlerin çözümü zaman değişkenli modeller veya yapının dinamik cevabını verir.

Bir yapının veya bir parçanın dinamik davranışını veren temel denklem 4.1 ile ifade edilir.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \quad (4.1)$$

$[M]$ yapının, her bir elemanın kütle matrislerinin toplanması ile elde edilen toplam kütle matrisi; $[C]$ yapısal sönüm matrisi; $[K]$ katılık matrisi; $\{\ddot{u}\}$, $\{\dot{u}\}$ ve $\{u\}$ nodal ivme, hız ve yer değiştirmeler; ve $\{F(t)\}$ zamanın fonksiyonu olabilecek uygulanan yükler vektörüdür.

Modal analiz, serbest titreşim halindeki sönümsüz yapıların doğal frekansları ve mod şekilleriyle ilgilidir ve dinamik analizin en sık kullanılan şeklidir. Bir mühendisin, belirli bir yapının yüksek genlikli titreşimler doğuracak yüklerle tahrik edilmeyeceğini garanti altına almayı bilmesi önemlidir. Bu etkilerin nerelerde kritik olduğuna bilinen bir örnek helikopter tasarımındadır. Helikopterdeki herhangi bir parça pervanelerin dönme hızına yakın bir değerde doğal frekansa sahipse, bu takdirde örneğin malzemede yorulma hasarına yol açan rezonans meydana gelebilir.

Modal analiz için (4.1), (4.2)'de verilen şekle indirgenir.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = 0 \quad (4.2)$$

Eğer titreşim sinüs eğrisi şeklinde kabul edilirse (4.3) ve (4.4) yazılabilir.

$$u = A \cdot \cos(w \cdot t) \quad (4.3)$$

$$\ddot{u} = -w^2 \cdot \cos(w \cdot t) = -w^2 \cdot u \quad (4.4)$$

Böylece (4.2), (4.5) ile verilen hale gelir.

$$([K] - w^2 \cdot [M])\{U\} = 0 \quad (4.5)$$

(7.5)'de hem w^2 hem de $\{U\}$ bilinmeyenlerdir. $\{U\}$ titreşimle birlikte yapının şeklini tarif eden normalleştirilmiş özvektör iken, w^2 özdeğer olarak bilinir. Eğer bir model n serbestlik dereceliyse, o halde w^2 ve $\{U\}$ için n adet farklı kombinasyon söz konusu olur; başka bir deyişle yapı n adet doğal frekansa ve ilişkili mod şekline sahip olur.

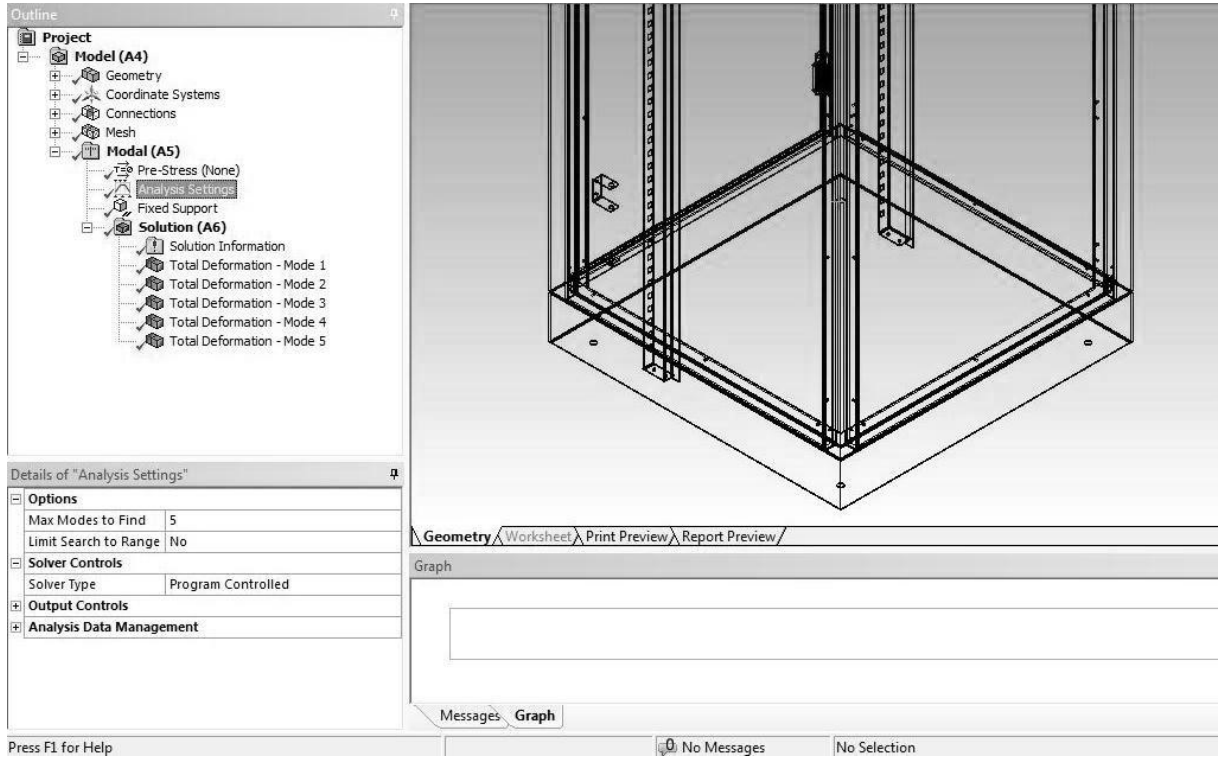
4.2.3 Dış mekân elektronik cihaz kabininin modal analizi

Dış mekân kabininin uluslararası standartlarda belirtilen zorlama koşulları altındaki dayanıklılığını belirlemek amacıyla yapılacak analizlerde kullanılacak sonlu elemanlar modelini doğrulamak için dış mekân kabine modal analiz uygulanacaktır. Uygulanacak modal analizle, farklı ağ örgüsü inceliği ile oluşturulmuş modellerin ilk 5 doğal frekansı bulunacaktır. Analizler, ağ örgüsü inceliği az olan modelden çok olan modele doğru sırayla gerçekleştirilecek ve modellerin doğal frekans değerlerinin anlamlı şekilde yakınsadığı noktaya kadar devam ettirilecektir.

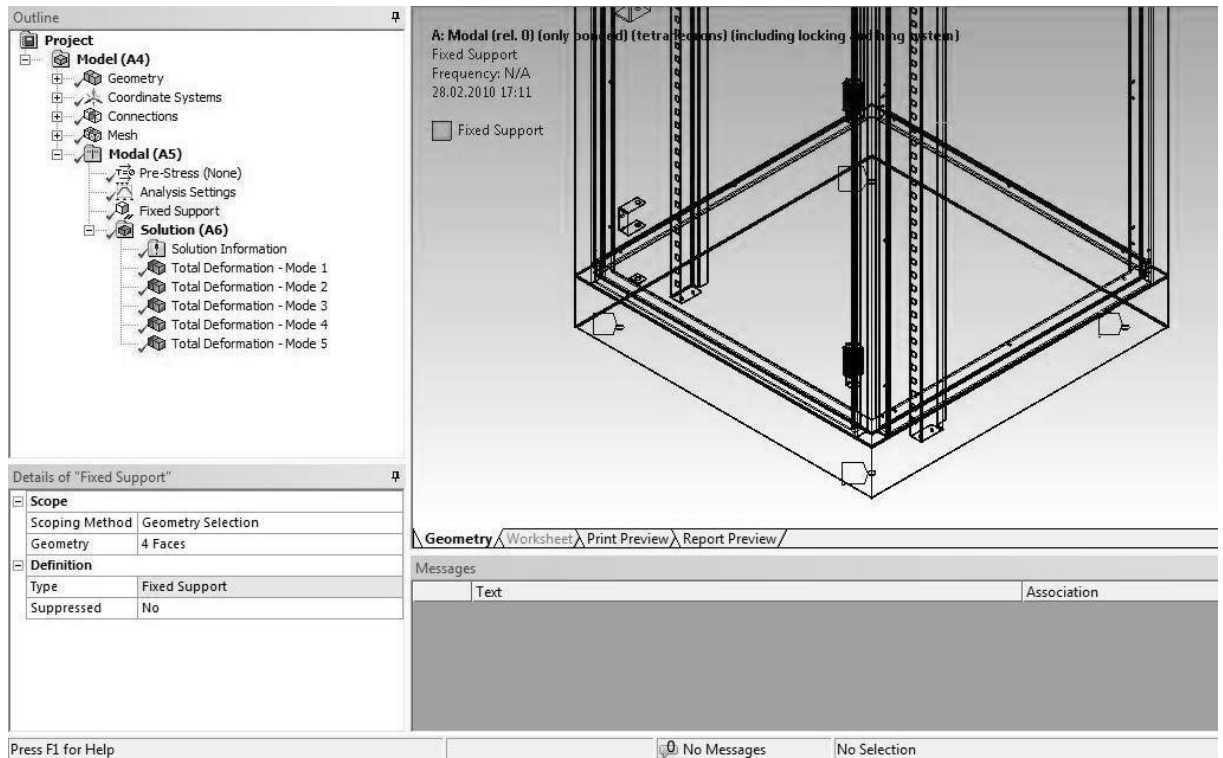
Gerçekleştirilen analizler sonrası doğal frekans değişimlerinin yanı sıra mod şekilleri de incelenerek, dış mekân kabini montajının sonlu elemanlar modeli yaklaşımında uygulanan parçalar arası sınır şartlarının doğruluğu da kontrol edilecektir. Mod şekilleri dikkatlice incelenerek, şekil değişimlerinin zorlanma koşulları altındaki davranışlarla örtüşüp örtüşmediği mühendislik bakış açısıyla değerlendirilecektir.

Gerçekleştirilecek modal analiz sonrası elde edilecek mod şekilleri incelenerek, değişik frekans değerlerine sahip titreşim koşulları altında dış mekân elektronik cihaz kabininin davranışı öngörülebilir. Çünkü modal analizle elde edilen mod şekilleri, doğal frekans adı verilen kritik frekans değerlerinde uygulanan titreşimlere karşı sistem üzerinde gerçekleşen yer değiştirmeleri gösterir. Bu yer değiştirmeler dikkatlice incelenerek hangi frekans değerleri civarında hangi parçalarda en büyük yer değiştirmelerin gerçekleşeceği öğrenilebilir. Ayrıca mod şekilleri bu sayede parçalar arasında tanımlanan sınır şartlarını sınamamızı sağlar.

Dış mekân kabine modal analizin uygulanmasında sonlu elemanlar analizleri programı kullanılacaktır. Şekil 4.9, sonlu elemanlar analizleri programında ilk 5 doğal frekansın nasıl bulunacağı konusunda modal analiz ayarlarının nasıl yapılacağını gösterir. Şekil 4.10 ise, dış mekân kabininin kullanım esnasında olduğu gibi, tabanındaki 4 noktadan nasıl sabitlendiğini, diğer bir deyişle sınır şartlarının nasıl verildiğini gösterir.



Şekil 4.9 Sonlu elemanlar analizleri programı için modal analiz ayarları



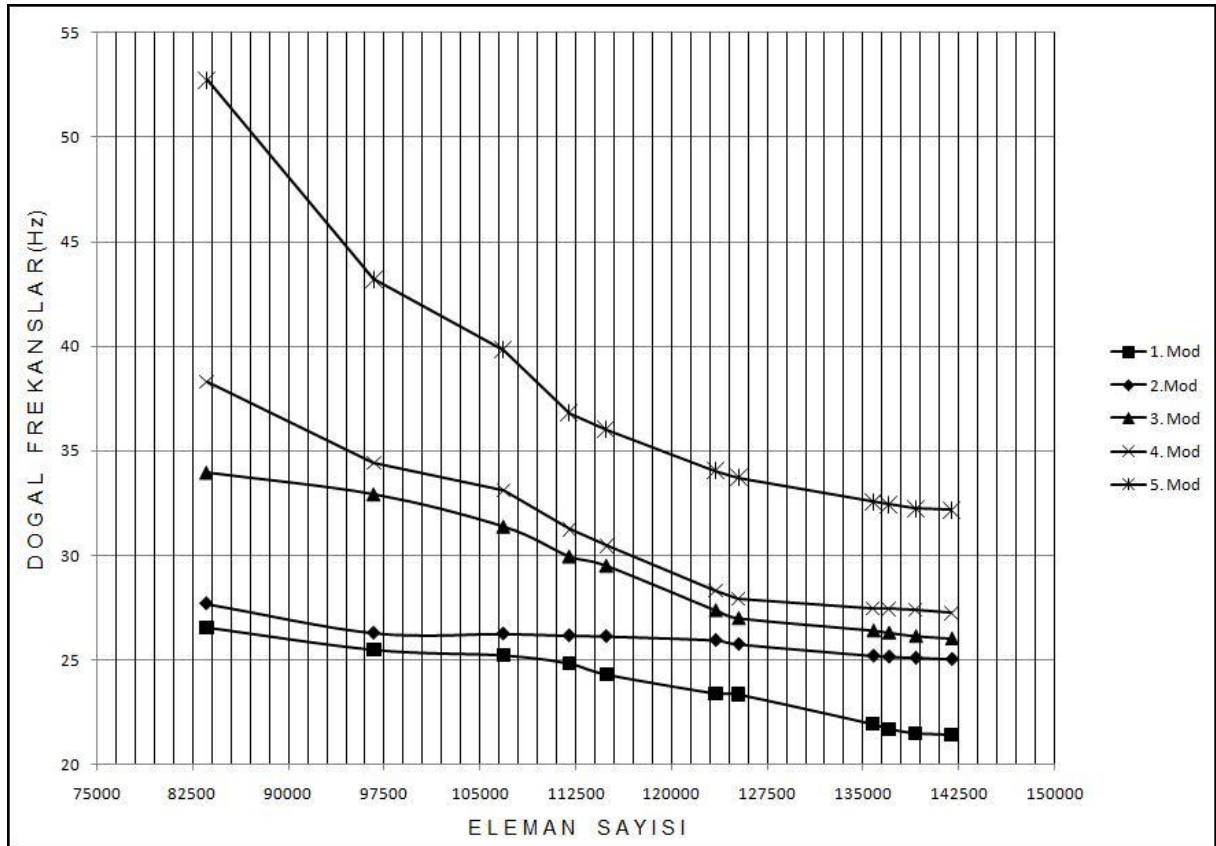
Şekil 4.10 Sonlu elemanlar analizleri programı için modal analiz sınır şartları

Farklı ağ örgüsü inceliklerine sahip modellerle yapılan çözüm sonuçları Çizelge 4.4 ile verilmiştir.

Çizelge 4.4 Değişik ağ örgüsü incelikleri kullanılarak yapılan modal analizlerle hesaplanmış ilk 5 doğal frekans değeri

Ağ Örgüsü İnceliği	0	10	20	30	40	50	55	60	65	70	75
Toplam Düğüm Noktası Sayısı	170336	194879	213316	225495	232524	248374	252161	270965	273332	278443	285320
Toplam Eleman Sayısı	83608	96684	106829	111983	114885	123453	125248	135797	137011	139109	141931
1. Mod	26,553	25,489	25,220	24,833	24,313	23,401	23,352	21,934	21,707	21,508	21,426
2. Mod	27,688	26,301	26,259	26,174	26,142	25,954	25,766	25,213	25,171	25,116	25,057
3. Mod	33,980	32,936	31,391	29,956	29,510	27,374	26,992	26,397	26,294	26,134	26,013
4. Mod	38,318	34,419	33,120	31,254	30,464	28,328	27,947	27,486	27,437	27,381	27,245
5. Mod	52,730	43,230	39,839	36,823	36,033	34,055	33,739	32,558	32,441	32,258	32,183

Çizelge ile verilen doğal frekans değerleri her analizde aralarındaki farklar azalarak değişmektedir. Değişimin bu şekli doğal frekans değerlerinin yakınsadığını gösterir. Bu da, dış mekân kabini uygulanacak analizlerde yeterli şekilde temsil edecek sonlu elemanlar modeli için gerekli ağ örgüsü inceliği değerine yaklaşıldığı anlamına gelir.



Şekil 4.11 Ağ örgüsü inceliğinin modal analiz sonuçlarına etkisi

Çizelge 4.4 incelendiğinde doğal frekans değerlerinin anlamlı şekilde yakınsadığı fakat sonlu elemanlar modelinde kullanılan eleman sayısının orantılı şekilde artmadığı görülür. Bu nedenle sonuçların yakınsadığını daha iyi gözlemleyebilmek için Şekil 4.11 ile verilen grafik çizilir. Bu grafik Çizelge 4.4 ile verilen değerleri kullanır.

Şekil 4.11’den anlaşılacağı üzere ağ örgüsü inceliği 75 olarak ayarlanmış 141931 elemanlı sonlu elemanlar modeli, dış mekân elektronik cihaz kabinini yeterli şekilde temsil edebilmektedir. Ağ örgüsü devamlı arttırılarak tekrarlanan analizlerde sonuçlar yakınsamış, son analizlerle birlikte Şekil 4.11 ile verilen grafikteki doğal frekans eğrileri yatayla neredeyse paralel hale gelmiştir. Bu hal, son analizde kullanılan sonlu elemanlar modelinin yeterli doğrulukta olduğuna karar verebilmemizi sağlar.

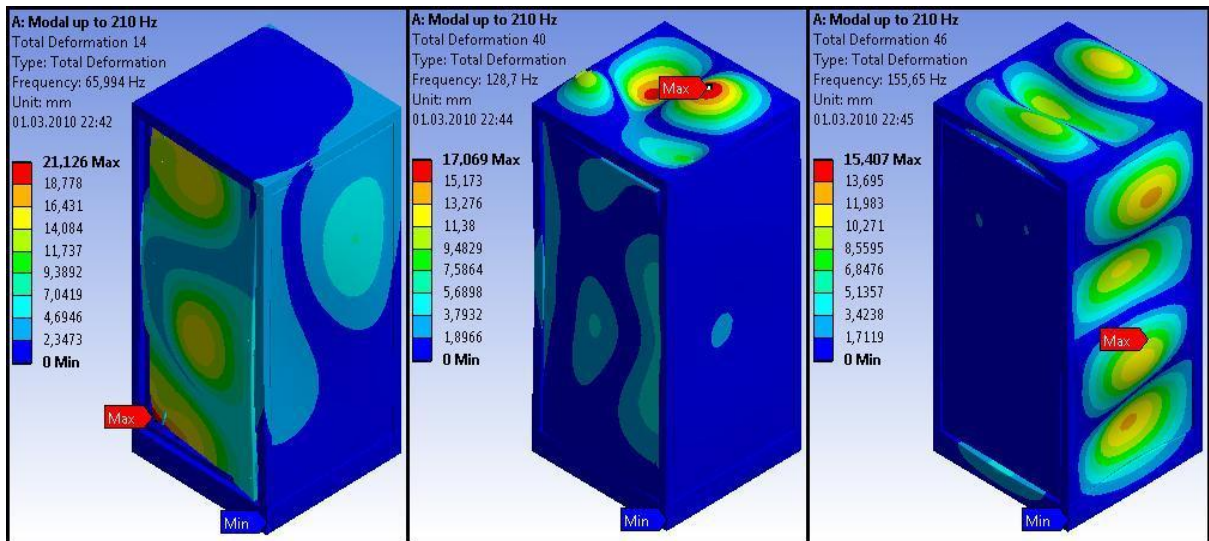
Dış mekânlarda kullanılan telekomünikasyon teknolojisi amaçlı elektronik cihaz kabinleri ile ilgili uluslararası standartların belirttiği zorlanma koşulları için frekanslar 2 – 200 Hz aralığında değişmektedir. Çizelge 4.5, tasarlanan dış mekan kabininin, ağ örgüsü inceliği 75 olarak ayarlanmış sonlu elemanlar modeli kullanılarak sonlu elemanlar analizleri programı ile 2 – 200 Hz aralığında yapılan modal analizin verdiği doğal frekans değerlerini ve bu doğal frekans değerlerinde en büyük yer değiştirmenin ve gerilmenin gerçekleştiği parçayı göstermektedir. Bu tablo yardımıyla olası bir çalışma doğal frekansı civarında, en büyük gerilme ve en büyük yer değiştirmelerin gözleneceği parçalar kolaylıkla saptanabilir.

Çizelge 4.5’e göre dış mekan kabininin 2-200 Hz aralığında 63 adet modu ve doğal frekansı bulunmaktadır. Zorlanma koşullarında kabinin maruz kaldığı yüklerden birinin frekansı, bu modlardan herhangi birinin doğal frekans değeri ile çakıştığında, kabin üzerinde rezonans (tınlaşım) durumu gerçekleşme olasılığı ortaya çıkar. Kabin üzerindeki bazı parçaların deformasyonları ve gerilmelerinde anlamlı bir artış gözlenir. Bu parçanın veya parçaların hangisi veya hangileri olacağını mod şekillerini inceleyerek öngörebiliriz. Sonlu elemanlar analizleri programı modlara ait doğal frekans değerlerini hesapladığı gibi mod şekillerini de resmeder. Şekil 4.12, rastgele seçilmiş 3 mod için mod şekillerini göstermektedir.

Şekil 4.12’de sırasıyla 14, 40 ve 46. modlar için ölçek 15 olmak üzere mod şekilleri verilmiştir. Mod şekilleri incelendiğinde 14. mod için maksimum deformasyonun “kayı paneli” parçası, 40. mod için “çatı” parçası ve 46. mod için “arka panel” parçası üzerinde gerçekleştiği görülür. Yani bu modlardan herhangi birine ait doğal frekans civarında bir frekansa sahip yükleme koşullarında ilgili mod için belirtilen parçada maksimum deformasyon ve gerilme oluşacaktır.

Çizelge 4.5 Dış mekan kabininin 2-200 Hz arasındaki doğal frekans değerleri

Mod	Frekans (Hz)	En Büyük Yer Değişirme	En Büyük Gerilme	Mod	Frekans (Hz)	En Büyük Yer Değişirme	En Büyük Gerilme
		Parça No	Parça No			Parça No	Parça No
1.	21,426	Sol Cihaz Taşıyıcı	Baza	33.	111,72	Arka Panel	Arka Sağ Köşe Profili
2.	25,057	Sağ Cihaz Taşıyıcı	Baza	34.	112,87	Kapı Paneli	Alt Menteşe Gövde Parçası
3.	26,013	Sol Cihaz Taşıyıcı	Baza	35.	115,61	Sağ Yan Panel	Ön Sağ Köşe Profili
4.	27,245	Sağ Cihaz Taşıyıcı	Baza	36.	116,55	Sol Yan Panel	Ön Sol Köşe Profili
5.	32,183	Kapı Paneli	Kapı Paneli	37.	122,62	Sol Yan Panel	Ön Sol Köşe Profili
6.	39,908	Arka Panel	Baza	38.	123,14	Çatı	Çatı
7.	42,67	Çatı	Baza	39.	127,27	Kapı Paneli	Ön Sol Köşe Profili
8.	43,775	Sağ Yan Panel	Ön Sol Köşe Profili	40.	128,7	Çatı	Baza
9.	45,859	Baza	Baza	41.	131,59	Kapı Paneli	Kilit Altı Tij Kılavuzu
10.	49,748	Arka Panel	Çatı	42.	141,86	Kapı Paneli	Ön Sağ Köşe Profili
11.	50,525	Kapı Paneli	Baza	43.	147,13	Sol Cihaz Taşıyıcı	Sol Cihaz Taşıyıcı
12.	53,992	Sol Cihaz Taşıyıcı	Sol Cihaz Taşıyıcı	44.	148,83	Sağ Cihaz Taşıyıcı	Sağ Cihaz Taşıyıcı
13.	54,652	Sağ Cihaz Taşıyıcı	Sağ Cihaz Taşıyıcı	45.	149,25	Sol Yan Panel	Ön Sol Köşe Profili
14.	65,994	Kapı Paneli	Baza	46.	155,65	Arka Panel	Arka Sağ Köşe Profili
15.	67,485	Arka Panel	Arka Sol Köşe Profili	47.	159,63	Çatı	Sağ Cihaz Taşıyıcı
16.	71,018	Kapı Paneli	Alt Menteşe Gövde Parçası	48.	160,74	Sağ Yan Panel	Ön Sol Köşe Profili
17.	71,559	Sol Yan Panel	Çatı	49.	163,08	Kapı Paneli	Ön Sol Köşe Profili
18.	72,705	Kapı Paneli	Çatı	50.	163,95	Çatı	Ön Sağ Köşe Profili
19.	76,174	Arka Panel	Arka Sol Köşe Profili	51.	166,2	Baza	Arka Sol Köşe Profili
20.	83,645	Kapı Paneli	Ön Sol Köşe Profili	52.	168,4	Sol Yan Panel	Çatı
21.	86,255	Çatı	Baza	53.	171,64	Kapı Paneli	Alt Menteşe Gövde Parçası
22.	87,165	Baza	Baza	54.	171,88	Kapı Paneli	Ön Sol Köşe Profili
23.	90,528	Çatı	Baza	55.	172,65	Baza	Arka Sağ Köşe Profili
24.	93,02	Sağ Cihaz Taşıyıcı	Üst Menteşe Gövde Parçası	56.	174,43	Kapı Paneli	Ön Sağ Köşe Profili
25.	93,709	Baza	Baza	57.	175,85	Kilit Üstü Dikey Tiji	Arka Sol Köşe Profili
26.	95,63	Sağ Cihaz Taşıyıcı	Sağ Cihaz Taşıyıcı	58.	177,37	Sol Yan Panel	Arka Sağ Köşe Profili
27.	98,881	Sağ Cihaz Taşıyıcı	Üst Menteşe Gövde Parçası	59.	181,09	Kapı Paneli	Ön Sağ Köşe Profili
28.	100,99	Kapı Paneli	Çatı	60.	187,35	Baza	Çatı
29.	101,47	Baza	Çatı	61.	191,41	Arka Panel	Arka Sağ Köşe Profili
30.	103,96	Sağ Cihaz Taşıyıcı	Baza	62.	198,26	Kilit Altı Dikey Tiji	Arka Sol Köşe Profili
31.	105,05	Sol Cihaz Taşıyıcı	Üst Menteşe Gövde Parçası	63.	198,33	Baza	Çatı
32.	107,43	Sağ Yan Panel	Arka Sağ Köşe Profili	64.	201,45	Kilit Üstü Dikey Tiji	Alt Menteşe Gövde Parçası



Şekil 4.12 Bazı doğal frekans değerleri için mod şekilleri

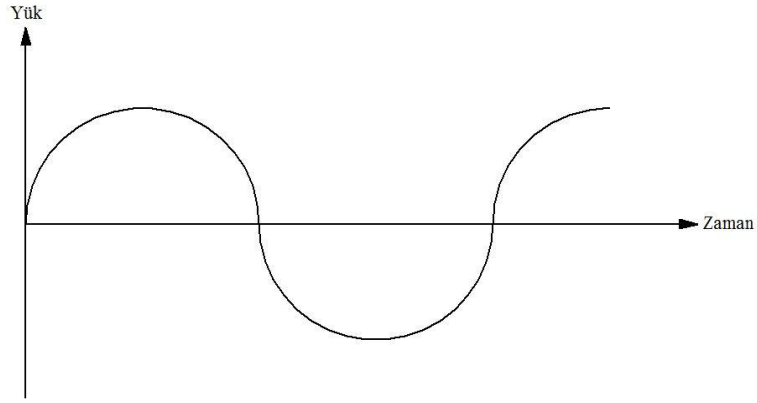
Bu bilgiye sahip olmak, dış mekân kabini tasarımı gibi bütün tasarımlarda büyük önem taşır. Tasarlanan ürünün, çalışma frekansı civarında rezonansa girme olasılığı bulunan parçalarının daha mukavim olması için tasarım değişiklikleri en baştan yapılabilir. Ya da tasarımın temel prensipleri değiştirilerek, doğal frekansların çalışma frekansları civarında olması önlenerek, rezonans olasılığı en aza indirilebilir.

4.3 Harmonik Titreşim Analizi

Bu bölümde harmonik titreşim analizinin tanımı ve öneminden bahsedilecek, ardından dış mekân elektronik cihaz kabinine harmonik titreşim analizi uygulanacaktır. Harmonik titreşim analizinde yükler, dış mekân kabinleri ile ilgili yayınlanmış uluslararası standartların kılavuzluğunda belirlenecektir.

4.3.1 Harmonik titreşim analizinin önemi ve kullanımı

Harmonik titreşim analizi, genliği ve frekansı bilinen harmonik (sinüs biçimli) yükler takımına karşı bir yapının sürekli rejim cevabını bulmak için kullanılır (Fagan, 1992). Harmonik bir yük Şekil 4.13’de gösterildiği gibi tek bir frekansta zamanla sinüs biçimli değişen yükür.



Şekil 4.13 Harmonik yük şekli

Harmonik yükler doğada genellikle insan kaynaklıdır ve örneğin dönen veya pistonlu mekanizmalarda ortaya çıkar. İnceleme altındaki yapının veya parçanın cevabı yine kendisinin doğal frekansına ve uygulanan yükün frekansına bağlıdır. Harmonik analiz nodal yer değiştirmelerin, hızların ve ivmelerin büyüklük ve fazları hakkında, elemanların gerilmeleri ve kuvvetleri ile birlikte öngörüler verir. Eğer yapının değişen frekanslardaki cevapları gerekliyse, frekans değerlerine karşılık yer değiştirme, hız ve ivme değerlerine sahip

grafikler elde edilmesi yoluyla, analiz süreci frekans değerlerinden oluşan aralıkta tekrar edilir. Bazı sonlu elemanlar bilgisayar programları frekans tarama analizlerini otomatik olarak gerçekleştirebilir.

Sonuç olarak yapısal bir sistemde uzun süre uygulanan periyodik bir yük, yine uzun süreli periyodik ya da harmonik bir cevap doğurur. Harmonik analiz sonuçları, lineer yapısal sistemlerin zamanla sinüs biçimli (harmonik) olarak değişen yüklere karşı sürekli rejim cevabını belirlemede kullanılır. Bu belirleme, yapısal tasarımın, zorlanmış titreşimlerin rezonans, yorulma gibi zararlı etkilerine karşı nasıl davranacağını öğrenilmesini mümkün kılar.

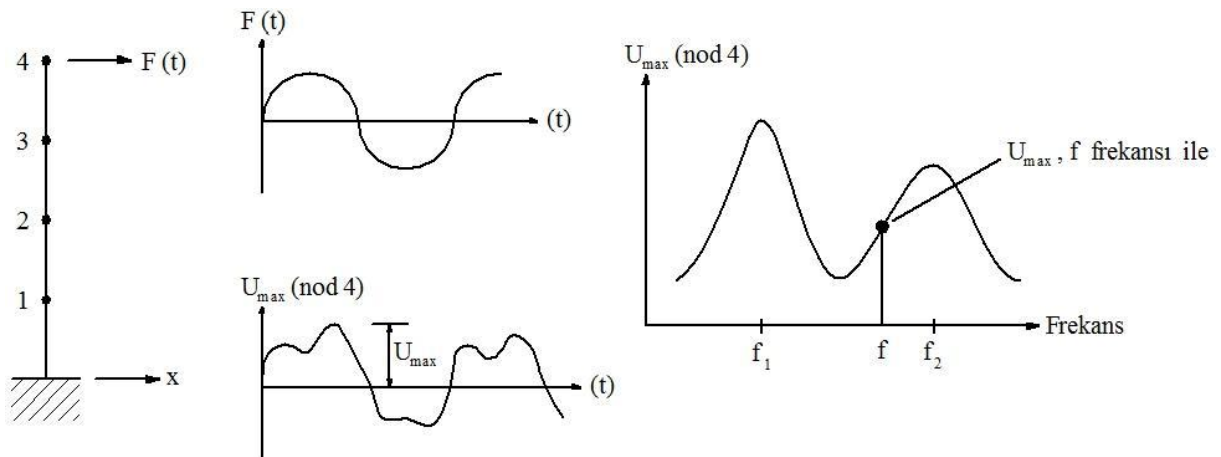
4.3.2 Sonlu elemanlar yöntemi ile harmonik titreşim analizi

Genel olarak harmonik titreşim analizi problemlerini çözmek için iki yöntem kullanılır; biri direkt yaklaşım ve biri modal süperpozisyon yaklaşımıdır. İsimlerinin belirttiği gibi birinci yaklaşım sistem denklemlerini direkt olarak çözer. Eğer yükler w frekansı ile sinüs biçimli değişiyorsa, yer değiştirmeler aynı frekansla fakat ϕ faz farkıyla gerçekleşir.

$$F(t) = F_0 \cdot \cos(w \cdot t) \quad (4.6)$$

$$u = A \cdot \cos(w \cdot t - \phi) \quad (4.7)$$

$$\ddot{u} = -w^2 \cdot A \cdot \cos(w \cdot t - \phi) = -w^2 \cdot u \quad (4.8)$$



Şekil 4.14 Sonlu elemanlar modeli, uygulanan yük, maksimum yatay yer değiştirmenin f frekansında uygulanan yükle zamana göre değişimi ve maksimum yatay yer değiştirmenin değişik yük frekanslarındaki değerleri

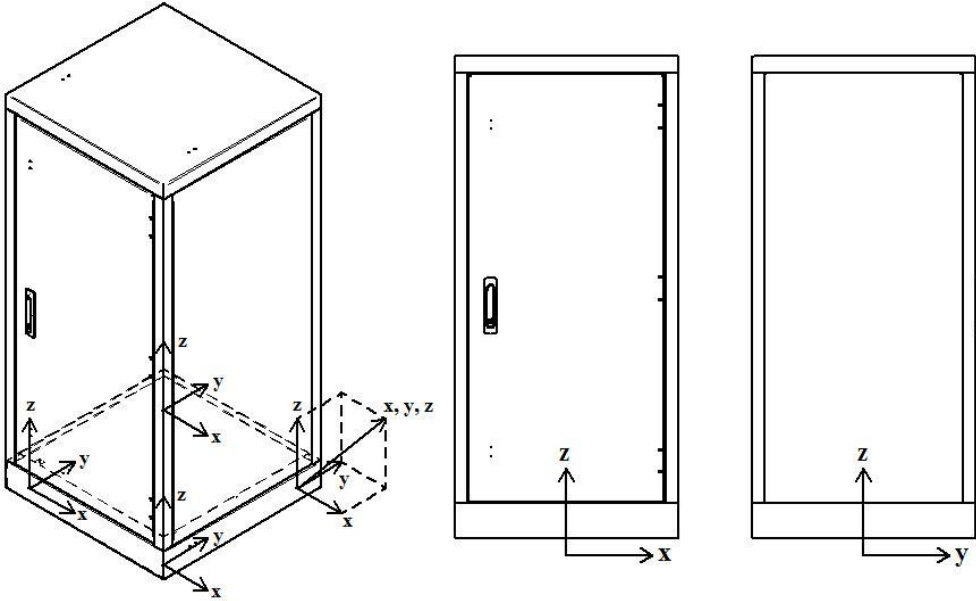
Genel sistem denklemi şu şekli alır.

$$([K] - \omega^2 \cdot [M])\{u\} = \{F_0 \cdot \cos(\omega \cdot t)\} \quad (4.9)$$

4.3.3 Dış mekân elektronik cihaz kabininin harmonik titreşim analizi

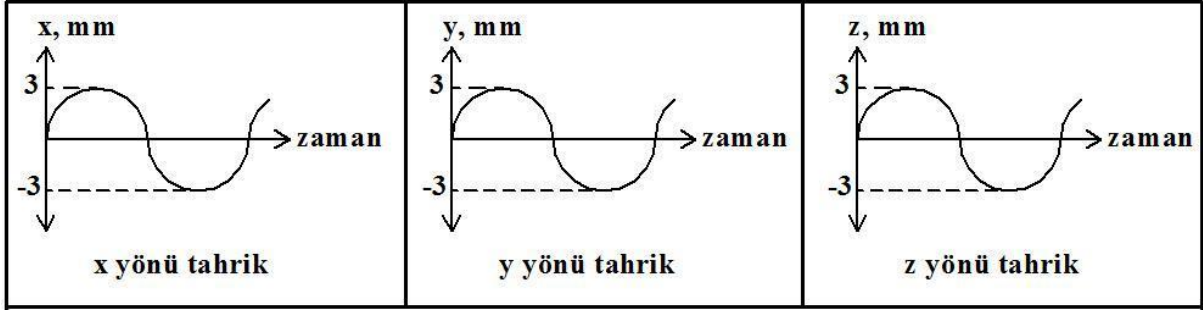
Bir sisteme harmonik şekilde tesir eden zorlayıcı etkiler çeşitli formlarda bulunabilir. Bir sistemin herhangi bir noktasına harmonik şekilde değişen doğrusal kuvvet ya da basınçlar etkiyebilirken, analizlerde kullanılmak üzere bu etkiler direk olarak yer değiştirme, hız veya ivme olarak da belirtilebilir. Dış mekân elektronik cihaz kabinleri için ETSI EN 300 019-1-4 standardının belirlediği harmonik zorlanma koşulları, çalışma sırasında kullanılan bağlantı noktalarından etkileyen yer değiştirme ve ivme formundadır. Bu çalışmanın kapsamında incelenecek olan yer değiştirme formundaki zorlama koşullarına göre, kabinin yere bağlantı noktalarına 2 ile 9 Hz aralığında olmak üzere 3 mm mertebesinde harmonik yer değiştirme uygulanacaktır. Standartlar doğrultusunda bu analizler, yer değiştirmenin sadece x, sadece y ve sadece z yönlerindeki tahrik durumlarının her biri için ayrıca yapılacaktır. Yere bağlantı noktasından etkileyen, yönleri itibariyle toplam 3 çeşit hareketle kabinin parçaları üzerinde sürekli rejim durumunda gerçekleşen yer değiştirmeler ve eş değer gerilmeler (von-mises gerilmeleri) belirlenecek ve malzemelerin akma gerilmeleri ile kıyaslanacaktır. Emniyetli olmayan parçalar için daha sonra iyileştirme uygulanacaktır.

Şekil 4.15 Dış mekân elektronik cihaz kabini için tahrik yönlerini göstermektedir.



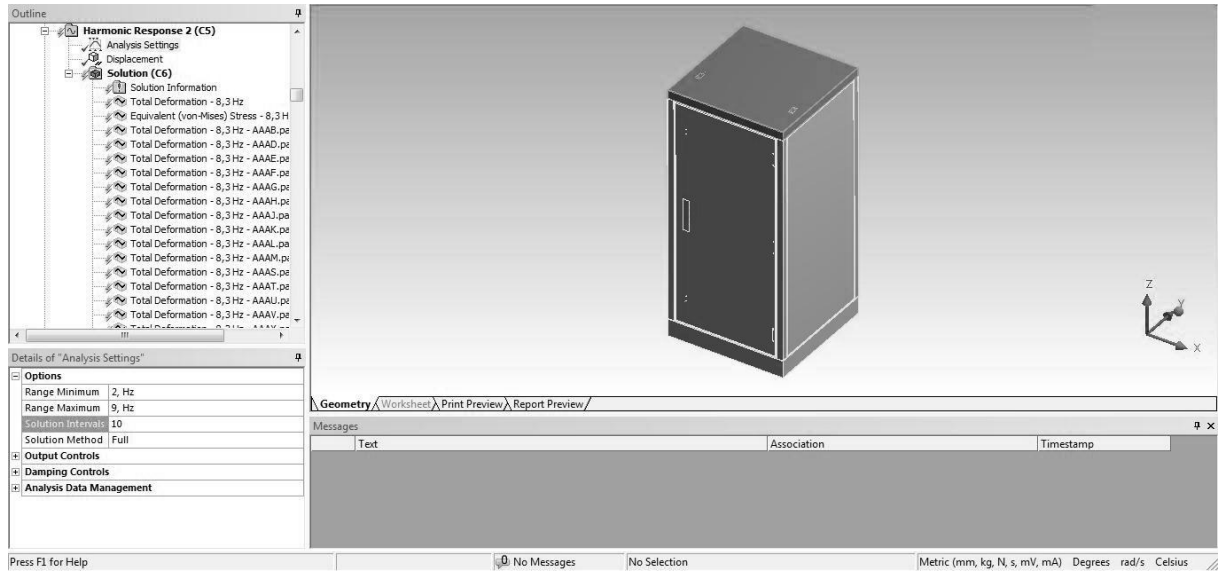
Şekil 4.15 Harmonik titreşim analizinde tahrik yönleri

Şekil 4.16 verilen yönlerde uygulanacak 3 çeşit tahrik hareketini göstermektedir.



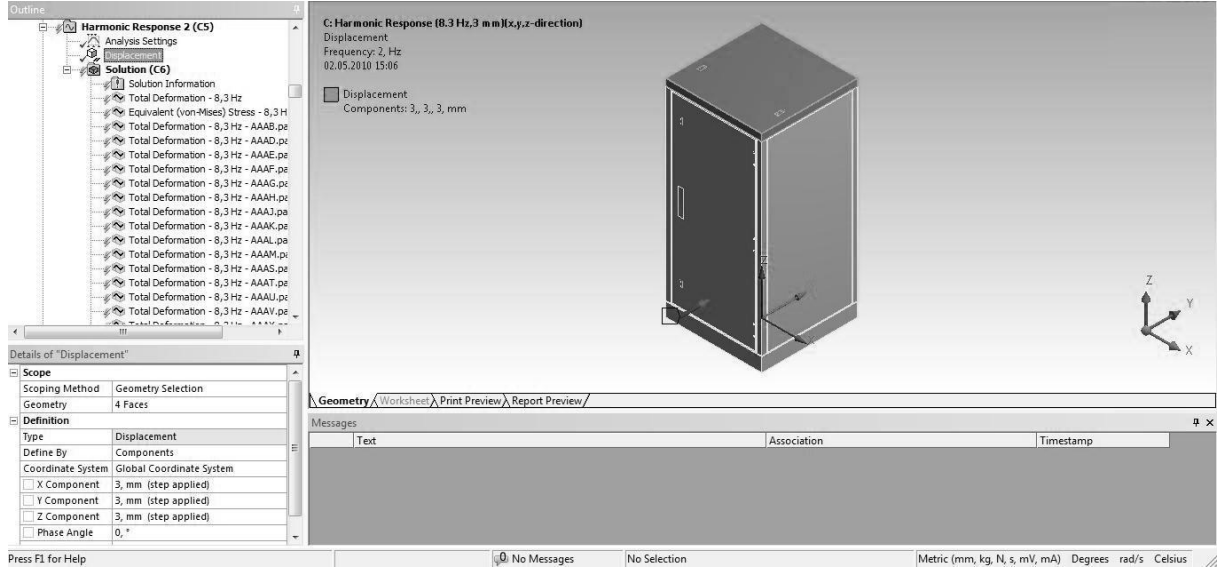
Şekil 4.16 Harmonik titreşim analizinde uygulanan 3 farklı tahrik

Sonlu elemanlar analizi programı, belirtilen bir frekans aralığında, fiziksel büyüklüğü verilen zorlayıcı etki altında yer değiştirmeleri ve eş değer gerilmeleri hesaplayabilir. Söz konusu frekans alt sınırı ve üst sınırı arasını yine belirtilen sayıda eşit aralığa bölerek, her bir frekans için hesaplama yapar. Böylece belirli bir frekans aralığını arzu edilen sıklıkta taramış olur. 2 ile 9 Hz arasını 10 eşit parçaya böldüğümüzde aralarında 0,7 Hz fark bulunan toplam 11 adet frekans değeri elde etmiş oluruz. Bu prensiple, harmonik yer değiştirme analizi için sonlu elemanlar analizi programının nasıl ayarlandığı Şekil 4.17 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.17 Sonlu elemanlar analizi programında harmonik analiz için frekans aralığının ayarlanması

Tahrik 3 yönlü olmak üzere 3 mm mertebesindeki yer değiştirme hareketinin nasıl ayarlandığı ise Şekil 4.18 ile gösterilmektedir (uygulanacak tahrik yönünden farklı olan yönler için yer değiştirme bileşeni "0" olarak girilir). Harmonik yer değiştirme şiddeti girilirken aynı zamanda bu yer değiştirmenin etki ettiği yere bağlantı yüzeyleri seçilir.



Şekil 4.18 Sonlu elemanlar analizi programında harmonik analiz için tahrik hareketinin ayarlanması

Çizelge 4.6 x yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen en büyük yer değiştirmeler (mm)

PARÇA	NO	FREKANS (Hz)										
		2,0	2,7	3,4	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,6	8,3	9,0
Baza	1	3,003	3,005	3,008	3,011	3,016	3,021	3,027	3,034	3,043	3,052	3,064
Ön Sağ Köşe Profili	2	3,032	3,059	3,095	3,139	3,194	3,258	3,335	3,424	3,527	3,646	3,783
Ön Sol Köşe Profili	3	3,032	3,059	3,095	3,139	3,194	3,259	3,335	3,424	3,528	3,647	3,785
Arka Sağ Köşe Profili	4	3,025	3,046	3,073	3,108	3,150	3,200	3,259	3,327	3,407	3,499	3,606
Arka Sol Köşe Profili	5	3,025	3,046	3,073	3,108	3,150	3,200	3,259	3,328	3,408	3,500	3,607
Çatı	6	3,033	3,060	3,097	3,142	3,198	3,264	3,342	3,433	3,538	3,660	3,800
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	3,042	3,077	3,124	3,183	3,255	3,341	3,443	3,563	3,704	3,868	4,059
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	3,042	3,077	3,124	3,183	3,255	3,342	3,444	3,565	3,706	3,871	4,063
Sağ Yan Panel	9	3,032	3,059	3,094	3,138	3,192	3,257	3,332	3,421	3,523	3,641	3,778
Arka Panel	10	3,025	3,045	3,073	3,107	3,148	3,198	3,257	3,325	3,404	3,496	3,601
Sol Yan Panel	11	3,032	3,059	3,094	3,139	3,193	3,257	3,333	3,422	3,524	3,643	3,780
Kapı Paneli	12	3,028	3,052	3,083	3,122	3,169	3,226	3,293	3,370	3,460	3,564	3,683
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	3,028	3,051	3,081	3,119	3,165	3,221	3,286	3,362	3,450	3,551	3,668
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	3,020	3,036	3,058	3,085	3,118	3,158	3,205	3,259	3,322	3,394	3,478
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	3,012	3,023	3,036	3,053	3,074	3,099	3,128	3,161	3,201	3,246	3,298
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	3,030	3,055	3,089	3,130	3,181	3,242	3,313	3,396	3,493	3,604	3,733
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	3,020	3,036	3,058	3,085	3,119	3,158	3,205	3,259	3,322	3,395	3,479
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	3,012	3,023	3,036	3,054	3,074	3,099	3,129	3,163	3,202	3,247	3,300
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	3,028	3,051	3,081	3,119	3,165	3,220	3,285	3,361	3,449	3,550	3,667
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	3,013	3,023	3,037	3,054	3,075	3,101	3,130	3,165	3,205	3,252	3,306
Üst Menteşe Pimi	21	3,027	3,050	3,081	3,119	3,165	3,220	3,285	3,360	3,447	3,548	3,665
Orta Menteşe Pimi	22	3,020	3,036	3,058	3,085	3,118	3,157	3,203	3,257	3,320	3,392	3,475
Alt Menteşe Pimi	23	3,012	3,021	3,034	3,050	3,070	3,093	3,120	3,152	3,189	3,231	3,280
Kilit Altı Dikey Tiji	24	3,018	3,033	3,053	3,077	3,107	3,143	3,186	3,235	3,293	3,360	3,437
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	3,032	3,059	3,094	3,138	3,192	3,256	3,331	3,419	3,522	3,640	3,776
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	3,019	3,035	3,056	3,083	3,115	3,154	3,199	3,252	3,314	3,385	3,467

Çizelge 4.7 x yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen en büyük eş değer gerilmeler (MPa)

PARÇA	NO	AKMA GERİLMESİ (MPa)	FREKANS (Hz)										
			2,0	2,7	3,4	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,6	8,3	9,0
Baza	1	207	6,799	12,475	19,959	29,347	40,762	54,361	70,339	88,936	110,450	135,250	163,790
Ön Sağ Köşe Profili	2	207	3,375	6,191	9,905	14,561	20,221	26,961	34,878	44,090	54,742	67,017	81,138
Ön Sol Köşe Profili	3	207	3,814	7,004	11,217	16,514	22,974	30,694	39,797	50,438	62,803	77,126	93,697
Arka Sağ Köşe Profili	4	207	2,238	4,105	6,567	9,653	13,404	17,871	23,115	29,216	36,270	44,396	53,743
Arka Sol Köşe Profili	5	207	0,979	1,795	2,870	4,216	5,850	7,792	10,068	12,710	15,757	19,259	23,276
Çatı	6	207	1,794	3,296	5,283	7,785	10,841	14,502	18,829	23,901	29,811	36,679	44,652
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	207	0,846	1,556	2,495	3,679	5,127	6,865	9,24	11,343	14,172	17,473	21,323
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	207	0,882	1,622	2,603	3,839	5,354	7,174	9,334	11,875	14,852	18,331	22,398
Sağ Yan Panel	9	280	0,333	0,610	0,975	1,430	1,981	2,634	3,397	4,278	5,290	6,447	7,767
Arka Panel	10	280	0,278	0,509	0,814	1,195	1,658	2,207	2,850	3,597	4,456	5,443	6,574
Sol Yan Panel	11	280	0,198	0,363	0,581	0,853	1,187	1,584	2,051	2,595	3,226	3,955	4,796
Kapı Paneli	12	280	0,995	1,826	2,921	4,296	5,969	7,963	10,307	13,039	16,202	19,852	24,058
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	207	0,878	1,614	2,586	3,808	5,302	7,088	9,198	11,668	14,544	17,881	21,751
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	207	1,222	2,245	3,595	5,293	7,363	9,837	12,754	16,163	20,124	24,712	30,021
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	207	2,535	4,651	7,442	10,941	15,197	20,267	26,223	33,157	41,179	50,426	61,069
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	207	1,900	3,490	5,594	8,242	11,476	15,349	19,927	25,289	31,538	38,796	47,220
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	207	1,163	2,135	3,419	5,033	7,000	9,351	12,121	15,358	19,118	23,471	28,505
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	207	4,348	7,977	12,761	18,760	26,053	34,738	44,939	56,809	70,535	86,352	104,550
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	207	0,845	1,553	2,488	3,664	5,100	6,819	8,848	11,224	13,989	17,197	20,916
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	207	1,493	2,740	4,386	6,453	8,970	11,973	15,509	19,634	24,418	29,947	36,330
Üst Menteşe Pimi	21	207	0,497	0,914	1,465	2,159	3,008	4,026	5,230	6,642	8,290	10,208	12,437
Orta Menteşe Pimi	22	207	0,519	0,953	1,527	2,248	3,127	4,178	5,418	6,867	8,551	10,502	12,760
Alt Menteşe Pimi	23	207	1,015	1,862	2,980	4,381	6,084	8,114	10,498	13,273	16,483	20,183	24,440
Kilit Altı Dikey Tiji	24	207	1,342	2,462	3,942	5,799	8,060	10,758	13,933	17,636	21,929	26,889	32,613
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	207	0,870	1,599	2,563	3,776	5,258	7,032	9,129	11,586	14,448	17,772	21,629
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	207	2,315	4,251	6,810	10,028	13,954	18,648	24,187	30,665	38,198	46,931	57,042

Çizelge 4.8 x yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen gerilme emniyet katsayıları

PARÇA	NO	2,0	2,7	3,4	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,6	8,3	9,0
Baza	1	30,447	16,593	10,371	7,054	5,078	3,808	2,943	2,328	1,874	1,530	1,264
Ön Sağ Köşe Profili	2	61,342	33,433	20,900	14,216	10,237	7,678	5,935	4,695	3,781	3,089	2,551
Ön Sol Köşe Profili	3	54,279	29,556	18,454	12,535	9,010	6,744	5,201	4,104	3,296	2,684	2,209
Arka Sağ Köşe Profili	4	92,510	50,424	31,522	21,444	15,443	11,583	8,955	7,085	5,707	4,663	3,852
Arka Sol Köşe Profili	5	211,458	115,307	72,123	49,096	35,385	26,566	20,560	16,286	13,137	10,748	8,893
Çatı	6	115,397	62,801	39,182	26,590	19,094	14,274	10,994	8,661	6,944	5,644	4,636
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	244,551	133,042	82,969	56,270	40,375	30,154	23,197	18,249	14,606	11,847	9,708
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	234,601	127,589	79,536	53,920	38,661	28,853	22,178	17,432	13,938	11,292	9,242
Sağ Yan Panel	9	840,614	458,746	287,241	195,804	141,328	106,294	82,435	65,451	52,931	43,432	36,052
Arka Panel	10	1008,355	549,936	344,061	234,310	168,909	126,869	98,232	77,851	62,831	51,440	42,593
Sol Yan Panel	11	1416,932	771,967	482,334	328,253	235,948	176,812	136,539	107,896	86,789	70,793	58,378
Kapı Paneli	12	281,483	153,383	95,851	65,174	46,910	35,163	27,166	21,474	17,282	14,104	11,639
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	235,648	128,277	80,059	54,359	39,045	29,203	22,505	17,741	14,233	11,577	9,517
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	169,339	92,213	57,577	39,108	28,114	21,044	16,230	12,807	10,286	8,376	6,895
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	81,660	44,504	27,817	18,920	13,621	10,214	7,894	6,243	5,027	4,105	3,390
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	108,965	59,306	37,005	25,115	18,038	13,486	10,388	8,185	6,564	5,336	4,384
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	178,049	96,960	60,546	41,130	29,571	22,138	17,078	13,478	10,827	8,819	7,262
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	47,611	25,950	16,221	11,034	7,945	5,959	4,606	3,644	2,935	2,397	1,980
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	244,944	133,333	83,216	56,494	40,586	30,357	23,394	18,443	14,797	12,037	9,897
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	138,693	75,556	47,199	32,080	23,078	17,289	13,347	10,543	8,477	6,912	5,698
Üst Menteşe Pimi	21	416,315	226,527	141,297	95,860	68,810	51,417	39,581	31,164	24,969	20,278	16,644
Orta Menteşe Pimi	22	398,782	217,147	135,578	92,086	66,191	49,542	38,207	30,145	24,208	19,711	16,223
Alt Menteşe Pimi	23	203,941	111,147	69,472	47,252	34,021	25,512	19,718	15,596	12,558	10,256	8,470
Kilit Altı Dikey Tiji	24	154,305	84,064	52,518	35,698	25,683	19,241	14,857	11,737	9,440	7,698	6,347
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	237,854	129,456	80,774	54,821	39,371	29,436	22,675	17,866	14,327	11,648	9,570
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	89,432	48,691	30,396	20,642	14,834	11,100	8,558	6,750	5,419	4,411	3,629

Çizelge 4.9 y yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen en büyük yer değiştirmeler (mm)

PARÇA	NO	FREKANS (Hz)										
		2,0	2,7	3,4	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,6	8,3	9,0
Baza	1	3,003	3,006	3,009	3,013	3,018	3,024	3,030	3,038	3,047	3,057	3,069
Ön Sağ Köşe Profili	2	3,021	3,038	3,061	3,089	3,124	3,164	3,212	3,266	3,329	3,400	3,481
Ön Sol Köşe Profili	3	3,021	3,038	3,061	3,089	3,123	3,164	3,211	3,265	3,328	3,399	3,479
Arka Sağ Köşe Profili	4	3,021	3,038	3,061	3,089	3,124	3,164	3,212	3,266	3,329	3,400	3,481
Arka Sol Köşe Profili	5	3,021	3,038	3,061	3,089	3,123	3,164	3,211	3,265	3,328	3,399	3,480
Çatı	6	3,022	3,040	3,063	3,092	3,128	3,170	3,219	3,276	3,341	3,415	3,498
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	3,022	3,040	3,063	3,092	3,128	3,170	3,219	3,275	3,340	3,413	3,497
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	3,022	3,039	3,063	3,092	3,128	3,169	3,218	3,275	3,339	3,412	3,496
Sağ Yan Panel	9	3,021	3,038	3,061	3,089	3,123	3,164	3,211	3,266	3,328	3,399	3,480
Arka Panel	10	3,024	3,044	3,070	3,103	3,143	3,190	3,245	3,308	3,380	3,463	3,556
Sol Yan Panel	11	3,021	3,038	3,061	3,089	3,123	3,163	3,210	3,265	3,327	3,398	3,478
Kapı Paneli	12	3,031	3,056	3,090	3,132	3,183	3,244	3,315	3,397	3,492	3,600	3,723
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	3,020	3,037	3,059	3,087	3,120	3,159	3,205	3,258	3,319	3,388	3,467
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	3,015	3,027	3,043	3,063	3,087	3,115	3,148	3,187	3,231	3,281	3,338
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	3,005	3,010	3,015	3,023	3,031	3,041	3,053	3,067	3,083	3,101	3,122
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	3,020	3,037	3,059	3,086	3,119	3,158	3,204	3,256	3,317	3,385	3,463
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	3,015	3,027	3,043	3,062	3,086	3,115	3,148	3,186	3,230	3,280	3,337
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	3,005	3,009	3,014	3,020	3,028	3,037	3,048	3,060	3,075	3,091	3,110
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	3,023	3,043	3,068	3,100	3,138	3,184	3,237	3,299	3,369	3,450	3,542
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	3,009	3,017	3,027	3,040	3,056	3,074	3,095	3,119	3,147	3,179	3,215
Üst Menteşe Pimi	21	3,020	3,036	3,058	3,085	3,118	3,156	3,201	3,253	3,313	3,381	3,458
Orta Menteşe Pimi	22	3,014	3,025	3,040	3,058	3,081	3,108	3,139	3,175	3,216	3,262	3,316
Alt Menteşe Pimi	23	3,005	3,008	3,013	3,020	3,027	3,036	3,046	3,058	3,072	3,088	3,106
Kilit Altı Dikey Tiji	24	3,018	3,032	3,052	3,076	3,105	3,140	3,180	3,227	3,281	3,342	3,412
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	3,023	3,042	3,068	3,099	3,138	3,183	3,236	3,297	3,367	3,448	3,539
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	3,017	3,032	3,051	3,074	3,103	3,137	3,177	3,223	3,275	3,336	3,404

Çizelge 4.10 y yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen en büyük eş değer gerilmeler (MPa)

PARÇA	NO	AKMA GERİLMESİ (MPa)	FREKANS (Hz)										
			2,0	2,7	3,4	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,6	8,3	9,0
Baza	1	207	6,880	12,602	20,115	29,490	40,814	54,200	69,781	87,721	108,210	131,490	157,840
Ön Sağ Köşe Profili	2	207	1,150	2,106	3,362	4,927	6,819	9,054	11,654	14,648	18,066	21,948	26,339
Ön Sol Köşe Profili	3	207	1,315	2,409	3,845	5,636	7,800	10,357	13,334	16,762	20,678	25,127	30,163
Arka Sağ Köşe Profili	4	207	1,327	2,432	3,884	5,698	7,894	10,494	13,528	17,031	21,045	25,622	30,824
Arka Sol Köşe Profili	5	207	1,111	2,034	3,246	4,757	6,581	8,736	11,242	14,126	17,418	21,155	25,381
Çatı	6	207	1,247	2,288	3,660	5,380	7,469	9,955	12,870	16,255	20,158	24,636	29,761
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	207	0,571	1,047	1,671	2,452	3,397	4,516	5,822	7,330	9,058	11,028	13,266
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	207	0,540	0,988	1,577	2,311	3,198	4,245	5,463	6,865	8,464	10,279	12,331
Sağ Yan Panel	9	280	0,474	0,867	1,383	2,027	2,803	3,720	4,785	6,009	7,405	8,988	10,775
Arka Panel	10	280	0,227	0,415	0,660	0,966	1,333	1,765	2,263	2,833	3,479	4,205	5,019
Sol Yan Panel	11	280	0,335	0,613	0,978	1,433	1,982	2,631	3,386	4,253	5,243	6,366	7,635
Kapı Paneli	12	280	0,718	1,318	2,108	3,098	4,300	5,731	7,408	9,354	11,599	14,174	17,122
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	207	0,342	0,629	1,007	1,483	2,062	2,755	3,570	4,523	5,628	6,904	8,376
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	207	0,336	0,617	0,986	1,448	2,008	2,673	3,451	4,352	5,389	6,575	7,929
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	207	0,352	0,643	1,024	1,497	2,063	2,728	3,494	4,367	5,351	6,454	7,682
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	207	0,307	0,563	0,901	1,325	1,840	2,453	3,172	4,007	4,970	6,075	7,340
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	207	0,379	0,694	1,108	1,625	2,249	2,986	3,845	4,834	5,964	7,247	8,700
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	207	0,300	0,548	0,872	1,273	1,754	2,318	2,968	3,708	4,544	5,482	6,530
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	207	0,641	1,177	1,884	2,771	3,850	5,137	6,649	8,409	10,443	12,782	15,466
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	207	0,667	1,220	1,944	2,844	3,927	5,201	6,675	8,363	10,280	12,443	14,876
Üst Menteşe Pimi	21	207	0,157	0,289	0,464	0,684	0,955	1,280	1,665	2,119	2,649	3,266	3,985
Orta Menteşe Pimi	22	207	0,140	0,257	0,410	0,600	0,830	1,107	1,436	1,819	2,264	2,779	3,373
Alt Menteşe Pimi	23	207	0,139	0,253	0,402	0,586	0,806	1,062	1,354	1,683	2,051	2,457	2,902
Kilit Altı Dikey Tiji	24	207	0,598	1,093	1,739	2,542	3,504	4,633	5,935	7,420	9,097	10,980	13,085
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	207	0,612	1,123	1,798	2,644	3,675	4,903	6,346	8,025	9,965	12,197	14,757
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	207	0,532	0,974	1,556	2,283	3,163	4,205	5,421	6,825	8,435	10,269	12,354

Çizelge 4.11 y yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen gerilme emniyet katsayıları

PARÇA	NO	FREKANS (Hz)										
		2,0	2,7	3,4	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,6	8,3	9,0
Baza	1	30,087	16,426	10,291	7,019	5,072	3,819	2,966	2,360	1,913	1,574	1,311
Ön Sağ Köşe Profili	2	180,016	98,286	61,580	42,010	30,358	22,864	17,762	14,132	11,458	9,431	7,859
Ön Sol Köşe Profili	3	157,402	85,935	53,842	36,728	26,539	19,986	15,524	12,349	10,011	8,238	6,863
Arka Sağ Köşe Profili	4	155,979	85,119	53,294	36,326	26,223	19,726	15,302	12,154	9,836	8,079	6,716
Arka Sol Köşe Profili	5	186,386	101,775	63,779	43,518	31,454	23,695	18,413	14,654	11,884	9,785	8,156
Çatı	6	165,972	90,464	56,554	38,476	27,714	20,794	16,084	12,735	10,269	8,402	6,955
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	362,490	197,802	123,848	84,411	60,933	45,833	35,552	28,240	22,853	18,770	15,604
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	383,667	209,493	131,270	89,572	64,734	48,763	37,890	30,155	24,456	20,138	16,787
Sağ Yan Panel	9	591,341	322,953	202,415	138,135	99,886	75,275	58,519	46,595	37,811	31,153	25,986
Arka Panel	10	1235,439	675,480	423,992	289,855	210,037	158,685	123,713	98,825	80,485	66,581	55,785
Sol Yan Panel	11	836,695	456,897	286,337	195,394	141,243	106,415	82,703	65,833	53,404	43,983	36,671
Kapı Paneli	12	389,744	212,459	132,834	90,384	65,112	48,861	37,800	29,933	24,140	19,754	16,353
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	604,627	329,235	205,561	139,582	100,383	75,147	57,977	45,768	36,783	29,983	24,715
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	615,302	335,570	209,946	142,966	103,088	77,441	59,981	47,562	38,414	31,484	26,108
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	588,369	321,838	202,148	138,323	100,320	75,880	59,241	47,402	38,681	32,073	26,945
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	674,333	367,497	229,706	156,250	112,512	84,397	65,265	51,662	41,651	34,072	28,202
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	546,145	298,163	186,789	127,408	92,057	69,319	53,838	42,823	34,711	28,564	23,794
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	690,783	377,999	237,522	162,608	117,996	89,293	69,742	55,821	45,554	37,759	31,698
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	322,888	175,901	109,902	74,710	53,763	40,296	31,132	24,617	19,822	16,195	13,384
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	310,424	169,686	106,487	72,785	52,713	39,803	31,010	24,751	20,136	16,636	13,915
Üst Menteşe Pimi	21	1317,632	716,362	446,371	302,446	216,790	161,744	124,302	97,706	78,154	63,376	51,949
Orta Menteşe Pimi	22	1476,041	806,075	505,211	344,793	249,280	186,941	144,191	113,793	91,427	74,493	61,377
Alt Menteşe Pimi	23	1492,537	817,697	514,644	353,062	256,868	195,007	152,914	122,980	100,941	84,259	71,337
Kilit Altı Dikey Tiji	24	346,357	189,474	119,013	81,445	59,072	44,679	34,877	27,899	22,756	18,852	15,820
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	338,307	184,311	115,147	78,279	56,331	42,221	32,619	25,794	20,772	16,971	14,027
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	389,383	212,478	133,025	90,666	65,446	49,226	38,183	30,328	24,542	20,158	16,756

Çizelge 4.12 z yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen en büyük yer değiştirmeler (mm)

PARÇA	NO	FREKANS (Hz)										
		2,0	2,7	3,4	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,6	8,3	9,0
Baza	1	3,012	3,022	3,034	3,050	3,069	3,091	3,116	3,145	3,176	3,212	3,251
Ön Sağ Köşe Profili	2	3,002	3,003	3,005	3,008	3,011	3,014	3,018	3,022	3,027	3,033	3,039
Ön Sol Köşe Profili	3	3,002	3,003	3,005	3,008	3,010	3,014	3,017	3,021	3,026	3,031	3,037
Arka Sağ Köşe Profili	4	3,002	3,003	3,004	3,006	3,009	3,012	3,015	3,018	3,022	3,026	3,031
Arka Sol Köşe Profili	5	3,002	3,003	3,004	3,006	3,009	3,012	3,015	3,018	3,022	3,026	3,031
Çatı	6	3,013	3,024	3,038	3,055	3,076	3,100	3,128	3,159	3,195	3,234	3,277
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	3,004	3,007	3,011	3,016	3,022	3,028	3,036	3,045	3,055	3,066	3,078
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	3,004	3,007	3,011	3,016	3,022	3,028	3,036	3,045	3,055	3,066	3,078
Sağ Yan Panel	9	3,002	3,003	3,005	3,008	3,011	3,014	3,018	3,022	3,027	3,032	3,038
Arka Panel	10	3,002	3,003	3,005	3,007	3,010	3,013	3,016	3,020	3,024	3,029	3,034
Sol Yan Panel	11	3,002	3,003	3,005	3,007	3,010	3,013	3,017	3,021	3,026	3,031	3,036
Kapı Paneli	12	3,002	3,004	3,006	3,009	3,012	3,016	3,020	3,025	3,030	3,036	3,043
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	3,002	3,004	3,006	3,008	3,011	3,015	3,019	3,024	3,029	3,035	3,041
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	3,002	3,004	3,006	3,008	3,011	3,015	3,019	3,024	3,029	3,035	3,041
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	3,002	3,004	3,006	3,008	3,011	3,015	3,019	3,024	3,029	3,035	3,041
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	3,002	3,004	3,006	3,008	3,011	3,015	3,019	3,024	3,029	3,035	3,041
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	3,002	3,004	3,006	3,008	3,011	3,015	3,019	3,024	3,029	3,035	3,041
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	3,002	3,004	3,006	3,008	3,011	3,015	3,019	3,024	3,029	3,034	3,041
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	3,002	3,004	3,006	3,009	3,012	3,016	3,020	3,025	3,030	3,036	3,042
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	3,002	3,004	3,006	3,009	3,012	3,016	3,020	3,025	3,030	3,036	3,042
Üst Menteşe Pimi	21	3,002	3,004	3,006	3,008	3,011	3,015	3,019	3,024	3,029	3,034	3,041
Orta Menteşe Pimi	22	3,002	3,004	3,006	3,008	3,011	3,015	3,019	3,024	3,029	3,034	3,041
Alt Menteşe Pimi	23	3,002	3,004	3,006	3,008	3,011	3,015	3,019	3,024	3,029	3,034	3,041
Kilit Altı Dikey Tiji	24	3,002	3,004	3,006	3,008	3,011	3,015	3,019	3,023	3,028	3,033	3,039
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	3,002	3,004	3,006	3,008	3,011	3,015	3,019	3,023	3,028	3,033	3,040
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	3,002	3,004	3,006	3,008	3,011	3,015	3,018	3,023	3,028	3,033	3,039

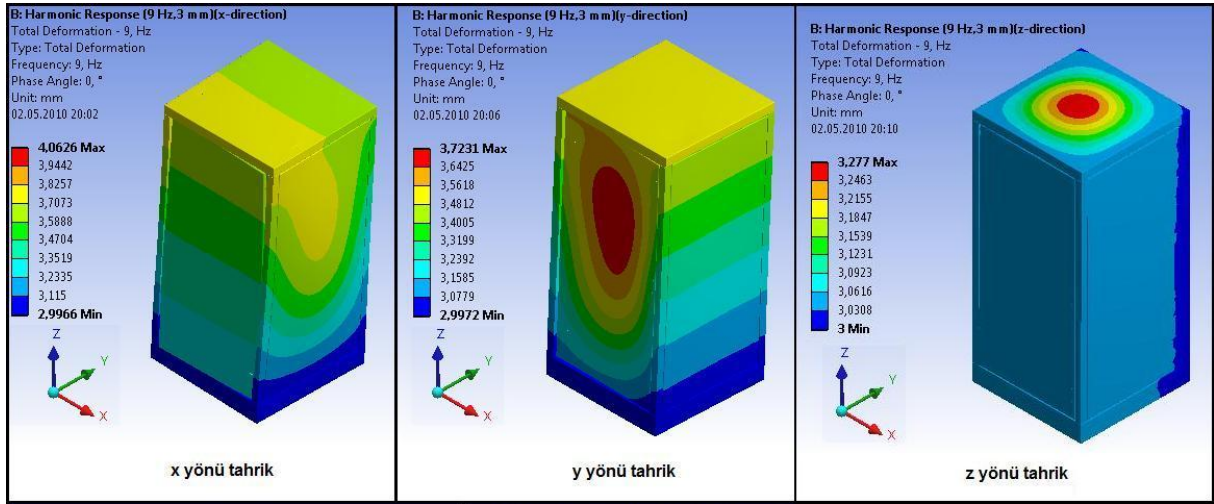
Çizelge 4.13 z yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen en büyük eş değer gerilmeler (MPa)

PARÇA	NO	AKMA GERİLMESİ (MPa)	FREKANS (Hz)										
			2,0	2,7	3,4	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,6	8,3	9,0
Baza	1	207	2,904	5,298	8,413	12,254	16,829	22,146	28,216	35,052	42,669	51,083	60,315
Ön Sağ Köşe Profili	2	207	0,281	0,513	0,815	1,189	1,635	2,156	2,753	3,429	4,185	5,026	5,953
Ön Sol Köşe Profili	3	207	0,568	1,036	1,645	2,395	3,289	4,328	5,514	6,850	8,337	9,980	11,782
Arka Sağ Köşe Profili	4	207	0,200	0,364	0,577	0,838	1,148	1,506	1,911	2,365	2,865	3,411	4,002
Arka Sol Köşe Profili	5	207	0,167	0,305	0,483	0,702	0,962	1,262	1,603	1,983	2,402	2,879	3,412
Çatı	6	207	0,676	1,233	1,960	2,858	3,931	5,180	6,611	8,228	10,036	12,041	14,250
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	207	0,706	1,289	2,048	2,984	4,102	5,403	6,891	8,570	10,446	12,523	14,807
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	207	0,853	1,558	2,475	3,608	4,961	6,536	8,339	10,375	12,650	15,171	17,947
Sağ Yan Panel	9	280	0,096	0,174	0,276	0,402	0,551	0,723	0,919	1,139	1,381	1,647	1,936
Arka Panel	10	280	0,107	0,196	0,311	0,454	0,624	0,822	1,050	1,307	1,595	1,914	2,266
Sol Yan Panel	11	280	0,085	0,155	0,245	0,358	0,492	0,648	0,827	1,029	1,254	1,505	1,780
Kapı Paneli	12	280	0,044	0,080	0,126	0,184	0,252	0,332	0,423	0,524	0,637	0,762	0,898
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	207	0,147	0,267	0,424	0,618	0,848	1,114	1,418	1,759	2,138	2,555	3,010
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	207	0,171	0,312	0,495	0,720	0,987	1,297	1,649	2,045	2,484	2,966	3,491
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	207	0,195	0,355	0,563	0,820	1,124	1,477	1,879	2,329	2,829	3,378	3,976
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	207	0,143	0,261	0,414	0,603	0,827	1,088	1,385	1,718	2,089	2,497	2,943
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	207	0,173	0,315	0,500	0,728	0,998	1,311	1,666	2,064	2,506	2,990	3,517
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	207	0,200	0,364	0,578	0,841	1,154	1,516	1,928	2,391	2,903	3,466	4,080
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	207	0,122	0,223	0,354	0,517	0,712	0,939	1,200	1,496	1,828	2,197	2,607
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	207	0,167	0,305	0,484	0,706	0,970	1,277	1,629	2,027	2,470	2,962	3,502
Üst Menteşe Pimi	21	207	0,091	0,167	0,265	0,385	0,529	0,695	0,885	1,098	1,335	1,595	1,881
Orta Menteşe Pimi	22	207	0,085	0,154	0,245	0,356	0,488	0,641	0,815	1,009	1,225	1,462	1,719
Alt Menteşe Pimi	23	207	0,099	0,180	0,286	0,416	0,570	0,749	0,953	1,182	1,435	1,714	2,017
Kilit Altı Dikey Tiji	24	207	0,133	0,242	0,385	0,561	0,771	1,016	1,297	1,614	1,968	2,360	2,793
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	207	0,105	0,192	0,306	0,447	0,615	0,812	1,038	1,295	1,584	1,906	2,264
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	207	0,419	0,764	1,214	1,768	2,429	3,196	4,073	5,061	6,161	7,378	8,713

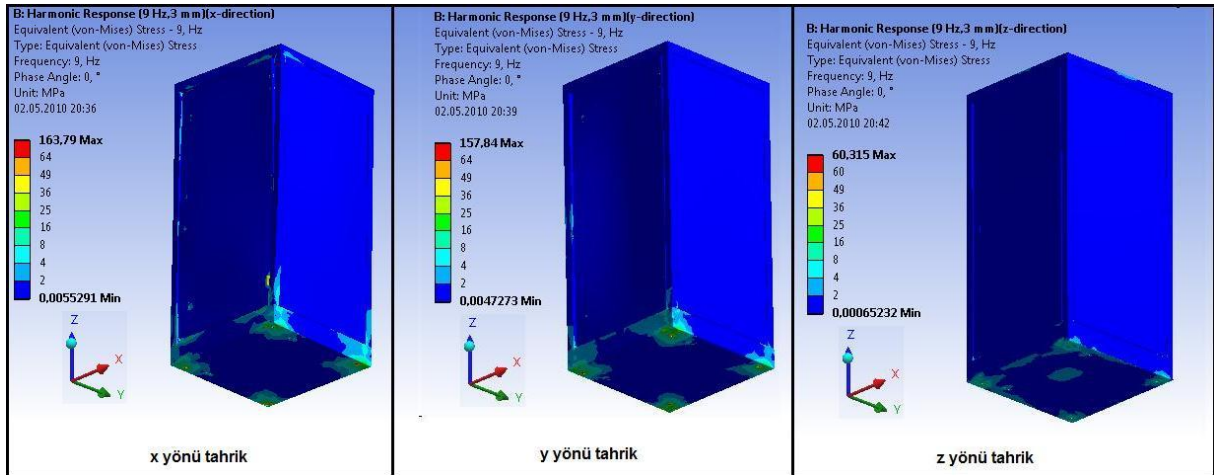
Çizelge 4.14 z yönü harmonik tahrik sonucu gerçekleşen gerilme emniyet katsayıları

PARÇA	NO	FREKANS (Hz)										
		2,0	2,7	3,4	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,6	8,3	9,0
Baza	1	71,276	39,068	24,605	16,892	12,300	9,347	7,336	5,906	4,851	4,052	3,432
Ön Sağ Köşe Profili	2	737,390	403,832	254,028	174,154	126,598	96,011	75,185	60,371	49,459	41,187	34,770
Ön Sol Köşe Profili	3	364,629	199,865	125,874	86,423	62,933	47,826	37,539	30,220	24,828	20,741	17,569
Arka Sağ Köşe Profili	4	1036,814	569,072	359,026	247,034	180,361	137,487	108,298	87,545	72,264	60,691	51,720
Arka Sol Köşe Profili	5	1236,781	678,844	428,270	294,666	215,130	163,986	129,173	104,414	86,185	71,910	60,668
Çatı	6	306,390	167,829	105,601	72,421	52,665	39,961	31,311	25,158	20,626	17,191	14,526
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	293,164	160,627	101,099	69,363	50,467	38,314	30,404	24,153	19,816	16,530	13,980
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	242,571	132,888	83,630	57,373	41,729	31,672	24,824	19,952	16,364	13,644	11,534
Sağ Yan Panel	9	2929,269	1607,163	1013,391	696,517	508,324	387,120	304,613	245,938	202,722	169,985	144,606
Arka Panel	10	2612,184	1430,761	900,177	616,740	448,804	340,471	266,717	214,247	175,593	146,298	123,571
Sol Yan Panel	11	3308,011	1812,298	1140,622	782,123	569,198	432,032	338,639	272,188	223,232	186,108	157,303
Kapı Paneli	12	6412,899	3516,439	2215,716	1522,070	1109,087	843,501	662,675	534,025	439,250	367,420	311,683
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	1411,235	773,919	487,701	334,951	244,216	185,784	145,991	117,681	96,829	81,027	68,764
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	1210,739	664,079	418,579	287,684	209,748	159,624	125,508	101,232	83,350	69,800	59,290
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	1063,120	583,099	367,530	252,590	184,164	140,149	110,188	88,876	73,178	61,286	52,062
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	1446,339	793,134	499,759	343,329	250,193	190,292	149,512	120,489	99,114	82,913	70,341
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	1196,324	656,309	413,768	284,454	207,465	157,955	124,250	100,271	82,615	69,238	58,862
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	1035,466	567,948	357,989	246,042	179,392	136,535	107,348	86,593	71,308	59,725	50,742
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	1695,887	928,584	583,970	400,217	290,804	220,426	172,500	138,397	113,269	94,215	79,417
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	1240,189	679,491	427,677	293,409	213,466	162,048	127,048	102,147	83,799	69,897	59,109
Üst Menteşe Pimi	21	2264,027	1241,454	782,254	537,383	391,593	297,829	233,986	188,576	155,103	129,748	110,071
Orta Menteşe Pimi	22	2446,259	1341,977	846,107	581,689	424,267	323,034	254,112	205,093	168,993	141,635	120,426
Alt Menteşe Pimi	23	2095,184	1149,170	724,333	497,812	362,954	276,221	217,177	175,171	144,241	120,805	102,628
Kilit Altı Dikey Tiji	24	1560,615	854,913	537,998	369,017	268,402	203,700	159,636	128,293	105,204	87,704	74,124
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	1966,559	1076,443	676,692	463,554	336,629	254,998	199,403	159,858	130,707	108,604	91,439
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	494,081	270,808	170,539	117,068	85,238	64,762	50,822	40,903	33,596	28,057	23,758

Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 ile gösterilen prensiplerle gerçekleştirilen 3 farklı tahrik yönündeki harmonik analiz sonucunda dış mekân kabini oluşturan parçalar üzerindeki en büyük yer değiştirmeler ve en büyük eş değer gerilmeler hesaplanmıştır. Çizelge 4.6, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Çizelge 4.10, Çizelge 4.11, Çizelge 4.12, Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14, farklı yönlerdeki tahrik sonucu gerçekleşen sırasıyla en büyük yer değiştirmeleri, en büyük eş değer gerilmeleri ve malzemelerin akma sınırlarına göre gerilme emniyet katsayılarını değişen frekans değerlerine göre göstermektedir.



Şekil 4.19 9 Hz mertebesi için 3 farklı tahrik durumunda gerçekleşen yer değiştirmeler



Şekil 4.20 9 Hz mertebesi için 3 farklı tahrik durumunda gerçekleşen eş değer gerilmeler

Yapılan harmonik analizler sonucunda elde edilen sayısal veriler ilgili çizelgelerle birlikte verilmiştir. Sonlu elemanlar analizi programı bu sayısal verilerin yanı sıra, kabini oluşturan parçaların yer değiştirmelerini ve eş değer gerilmelerin dağılımını grafiksel olarak gösterebilmektedir. Yer değiştirme değerlerinin en büyük olduğu 9 Hz mertebesi için, 3 farklı

tahrik durumunda gerçekleşen yer değiştirmelerin grafiksel gösterimi ölçek 1'den büyük olmak üzere Şekil 4.19 ile verilmiştir. Eş değer gerilmelerin de en büyük değerde gerçekleştiği 9 Hz mertebesi için Şekil 4.20 gerilme dağılımlarını göstermektedir.

4.4 Tepki Spektrumu Analizi

Bu bölümde sismik şartları uygulamak için gerçekleştirilecek tepki spektrumu analizinin tanımı ve öneminden bahsedilecek, ardından dış mekân kabine tepki spektrum analizi uygulanacaktır. Tepki spektrumu analizinde yükler, dış mekân kabinleri ile ilgili yayınlanmış uluslararası standartların kılavuzluğunda belirlenecektir.

4.4.1 Tepki spektrumu analizinin önemi ve kullanımı

Tepki spektrumu analizi, rüzgâr yükleri veya deprem etkileri altındaki yüksek binalar gibi yapısal tasarımlarda yaygın olarak kullanılır. Tepki spektrumu analizinden elde edilen cevaplar mutlak maksimum cevaplardır. Verilen bir tahrik için maksimum cevaplar, girdi tepki spektrumu esas alınarak hesaplanır ve yöntem modal cevapları birleştirir. Modal cevaplar, modal analizle elde edilmiş doğal frekans değerlerinde hesaplanmış maksimum cevaplardır.

Tepki spektrumu analizi tahrik olarak tepki spektrumlarını kullanır (response spectrum). Tepki spektrumları yer değiştirme, hız veya ivme birimlerinde bulunabilir. Her bir spektrum değerine karşılık gelen bir frekans değeri vardır. Tepki spektrumları modal cevaplar esas alınarak hesaplandığından önceden yapılmış modal analize gereksinim duyulur.

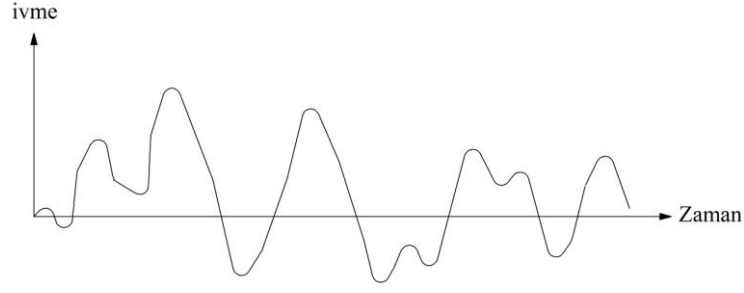
Tepki spektrumları zaman bölgesinde gerçekleşen bir tahrik hareketinin frekans bölgesinde ifadesidir. Deprem bölgelerinde sarsıntılar sırasında yeryüzü hareketi incelenerek elde edilen verilerle oluşturulurlar. Bölgede kullanılacak yapı tasarlanırken ilgili bölge için mevcut tepki spektrumu dikkate alınır.

4.4.2 Sonlu elemanlar yöntemi ile tepki spektrumu analizi

Tepki spektrumu analizi bir yapının rastgele yüklere karşı maksimum cevabını tahmin etmek için kullanılır (Fagan, 1992). Böyle bir yükün zamanla değişimi Şekil 4.21'de gösterilmektedir.

Yükün karmaşıklığı, normal zaman bölgesi yöntemlerinin kullanılamayacağı anlamına gelir; yerine tepki spektrumu kullanılmalıdır. Böyle bir sistemi kontrol eden denklem, en genel

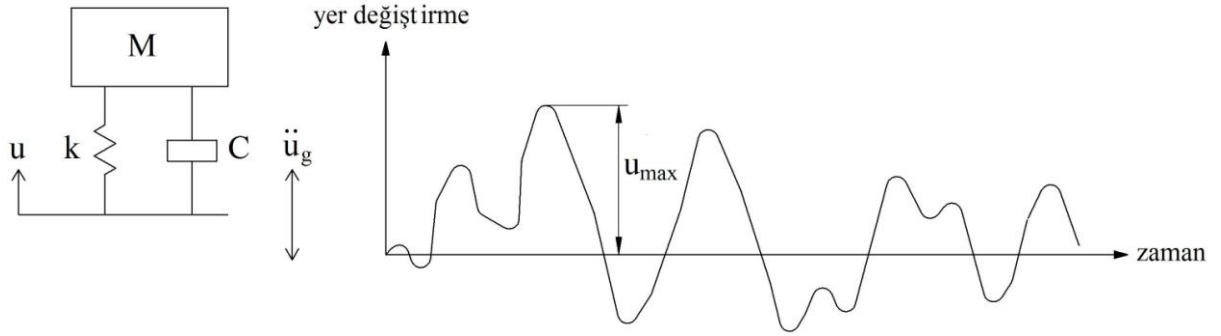
şekliyle (4.10) ile verilmiştir.



Şekil 4.21 Deprem ivmelerinin zamanla değişimi

$$\ddot{u} + 2 \cdot \xi \cdot \dot{u} + \omega^2 \cdot u = \ddot{u}_g \quad (4.10)$$

(4.10)'da $\omega = \sqrt{k/M}$ olarak doğal frekans, $\xi = C/(2 \cdot M \cdot \omega)$ olarak sönüm oranı, \ddot{u}_g yer ivmesi, C sönüm sabiti, M kütle ve k katılık değerleridir.

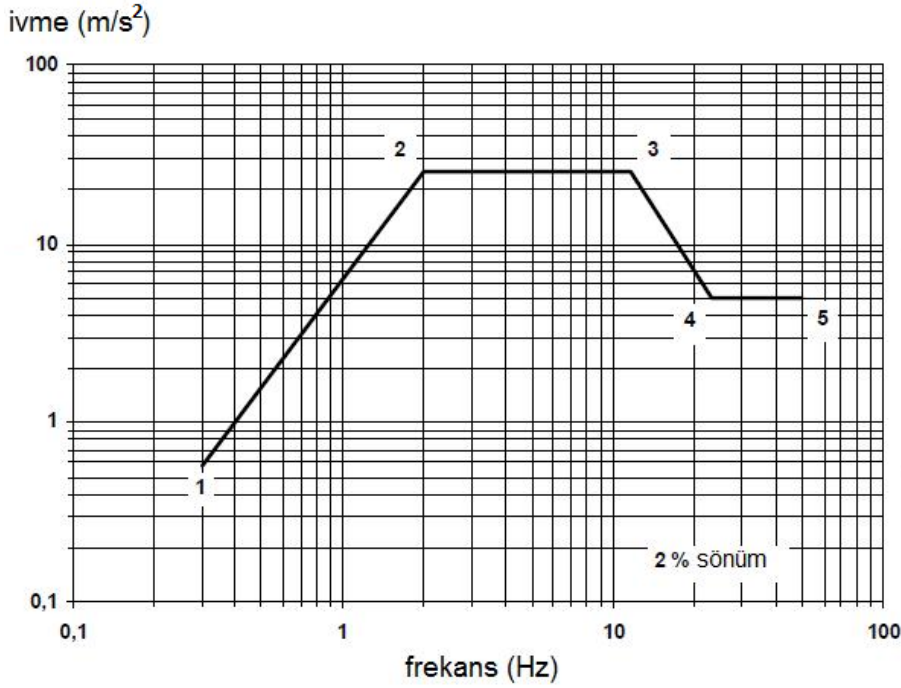


Şekil 4.22 Tek serbestlik dereceli bir yapının tepki spektrumuna karşı zamanla değişen cevabı (Fagan, 1992)

4.4.3 Dış mekân kabininin tepki spektrumu analizi

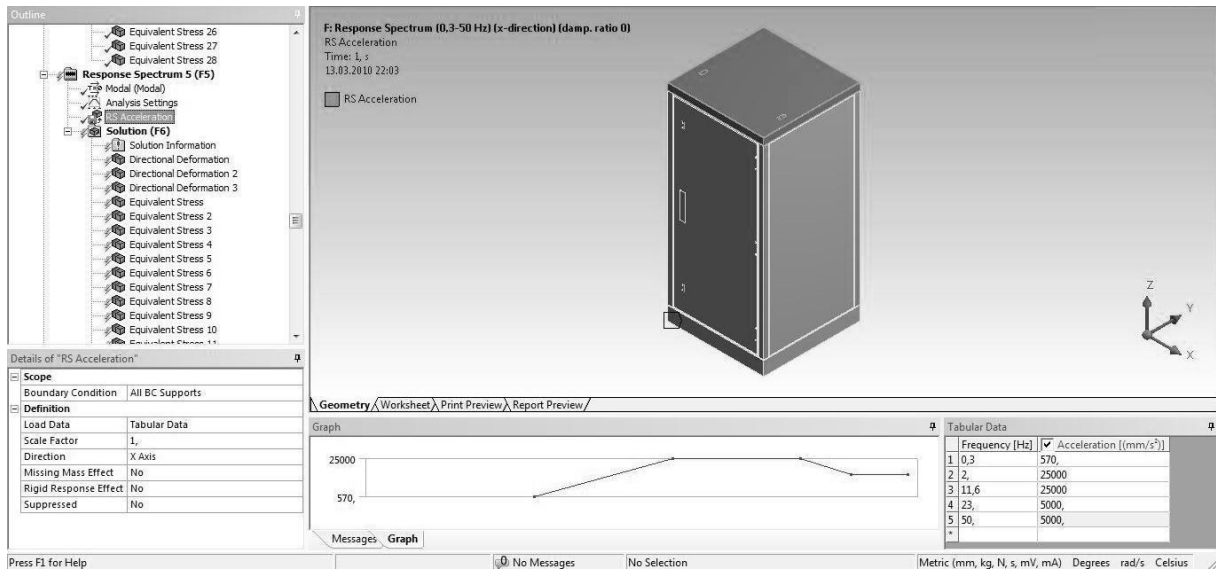
Dış mekân elektronik cihaz kabinlerinin çevresel şartlara dayanıklılığı konusunda yayınlanmış uluslararası standartların tarif ettiği koşullardan bazıları, tasarlanan dış mekân kabine uygulanmak üzere seçilmiştir. Bunlardan biri, tepki spektrumu vasıtasıyla dış mekân elektronik cihaz kabininin deprem koşullarına karşı dayanıklılığının sınanmasıdır. Bu tepki spektrumu standartta belirtildiği üzere frekans bölgesinde ivme girdileri şeklindedir. Sonlu elemanlar analizleri programında gerçekleştirilecek tepki spektrumu analizlerinde girdi olarak ulurlar arası standartlarda belirtilen spektrum kullanılacak ve dış mekân kabinin parçaları üzerinde bu zorlamalara karşı meydana gelen en büyük eş değer gerilmeler elde edilecektir.

Şekil 4.23, standartlar doğrultusunda tasarlanan dış mekân kabine uygulanacak ve uluslararası standartlarla belirli girdi tepki spektrumunu göstermektedir.



Şekil 4.23 Deprem tepki spektrumu analizi için girdi tepki spektrumu (ETSI, 2003b)

Şekil 4.24 ile sonlu elemanlar analizleri programında tepki spektrumu analizinin nasıl ayarlandığı gösterilmektedir. Tepki spektrumu analizi, aynı frekans aralığını kapsayacak şekilde daha önce gerçekleştirilmiş modal analiz üzerinde gerçekleştirilir. Modal analiz ile birlikte tanımlanan sınır şartlarını tepki spektrumu analizi de kullanır. Modal analiz için tanımlanan sabitleme yüzeyleri, tepki spektrumu analizi için de sınır şartlarını oluşturur ve bu yüzeyler girdi tepki spektrumu ile tanımlı rastgele titreşimin etkideği yüzeylerdir. Yapılan tüm analizlerde sistemin sönümü ihmal edilecektir.



Şekil 4.24 Sonlu elemanlar analizleri programında tepki spektrumu analizi

Tepki spektrumu analizleri, sistemin sırasıyla sadece x, sadece y, sadece z ve x, y, z olmak üzere eş zamanlı 3 yönlü olarak tahrik edildiği üzere 4 farklı şekilde gerçekleştirilir. Bu prensiple gerçekleştirilen deprem spektrumu analizlerine göre ortaya çıkan en büyük yer değiştirmeler ve bu yer değiştirmelerin gerçekleştiği parçalar Çizelge 4.15 ile listelenmiştir.

Çizelge 4.15 Deprem tepki spektrumu analizi ile oluşan en büyük yer değiştirmeler

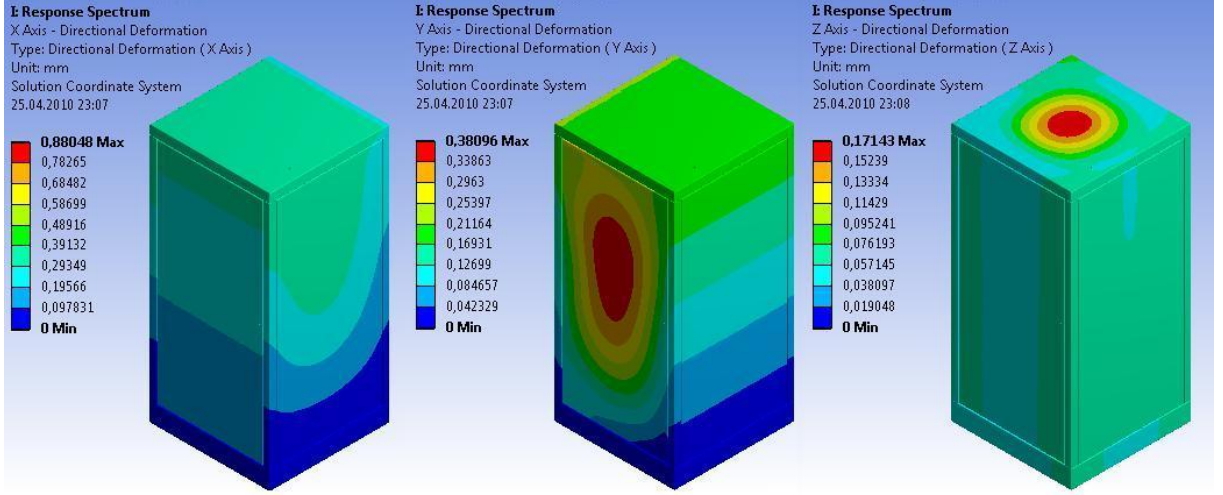
		DEPREM TEPKİ SPEKTRUMU TAHİRİK YÖNLERİ											
		X yönü			Y yönü			Z yönü			X-Y-Z yönleri		
		No	Parça	Yer Değiştirme (mm)	No	Parça	Yer Değiştirme (mm)	No	Parça	Yer Değiştirme (mm)	No	Parça	Yer Değiştirme (mm)
YER DEĞİŞTİRME YÖNLERİ	X yönü	8	Sol Cihaz Taşıyıcı	0,773	7	Sağ Cihaz Taşıyıcı	0,455	8	Sol Cihaz Taşıyıcı	0,024	7	Sağ Cihaz Taşıyıcı	0,88
	Y yönü	8	Sol Cihaz Taşıyıcı	0,161	12	Kapı Paneli	0,377	12	Kapı Paneli	0,021	12	Kapı Paneli	0,381
	Z yönü	5	Arka Sol Köşe Profili	0,075	12	Kapı Paneli	0,056	6	Çatı	0,171	6	Çatı	0,171

Deprem tepki spektrumunun girdi spektrumu olarak kullanıldığı analizler sonucunda parçalar için hesaplanan en büyük eş değer gerilmeler (von-mises gerilmeleri) Çizelge 4.16 ile listelenmiştir.

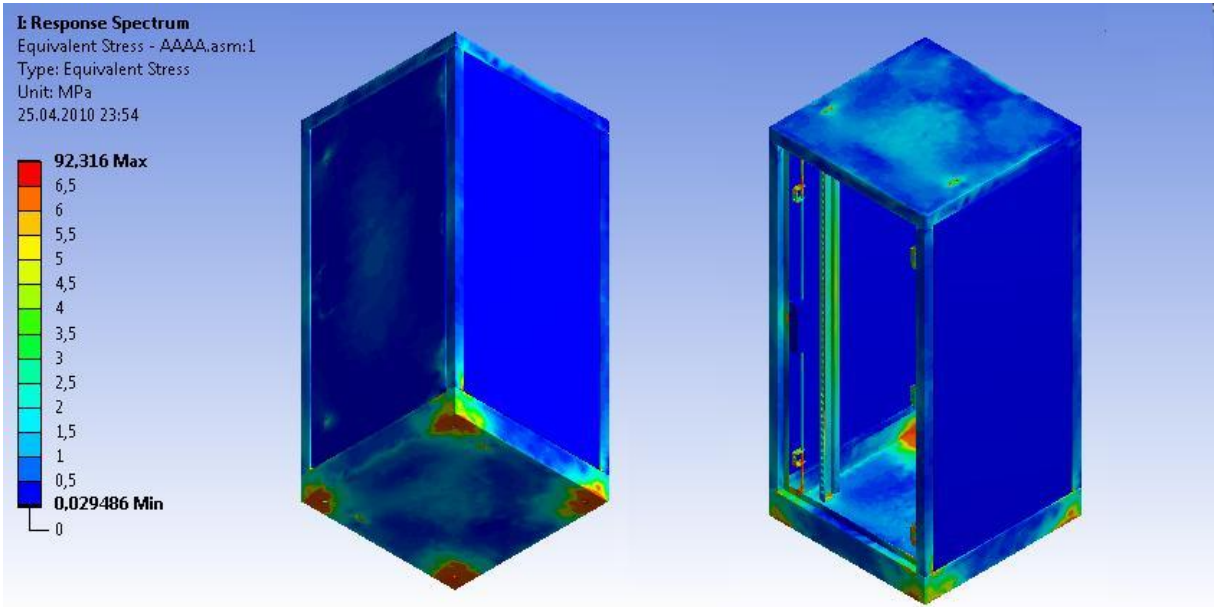
Çizelge 4.16 Deprem tepki spektrumu analizi ile oluşan en büyük eş değer gerilmeler

PARÇA ADI		DEPREM TEPKİ SPEKTRUMU TAHİRİK YÖNLERİ									
		X yönü		Y yönü		Z yönü		X-Y-Z yönleri			
		No	Akma Gerilmesi (MPa)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı
Baza	1	207	74,277	2,79	68,267	3,03	17,351	11,93	92,316	2,24	
Ön Sağ Köşe Profili	2	207	34,734	5,96	11,918	17,37	3,599	57,52	35,812	5,78	
Ön Sol Köşe Profili	3	207	47,15	4,39	11,513	17,98	3,556	58,21	48,409	4,28	
Arka Sağ Köşe Profili	4	207	25,714	8,05	12,289	16,84	2,173	95,26	28,585	7,24	
Arka Sol Köşe Profili	5	207	10,481	19,75	90,61	2,28	1,955	105,88	12,093	17,12	
Çatı	6	207	23,694	8,74	19,076	10,85	8,668	23,88	26,573	7,79	
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	207	17,146	12,07	12,509	16,55	7,337	28,21	21,232	9,75	
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	207	17,525	11,81	7,867	26,31	6,767	30,59	20,053	10,32	
Sağ Yan Panel	9	280	2,788	100,43	3,707	75,53	0,701	399,43	4,021	69,63	
Arka Panel	10	280	2,794	100,21	1,747	160,27	1,553	180,30	2,858	97,97	
Sol Yan Panel	11	280	2,486	112,63	2,92	95,89	0,922	303,69	3,316	84,44	
Kapı Paneli	12	280	11,177	25,05	20,044	13,97	1,5637	179,06	20,413	13,72	
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	207	11,719	17,66	4,666	44,36	1,082	191,31	11,877	17,43	
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	207	13,105	15,80	6,87	30,13	1,072	193,10	13,518	15,31	
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	207	20,982	9,87	4,151	49,87	1,56	132,69	21,305	9,72	
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	207	24,074	8,60	5,247	39,45	1,779	116,36	24,526	8,44	
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	207	14,328	14,45	5,029	41,16	1,324	156,34	14,512	14,26	
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	207	45,521	4,55	6,057	34,18	3,217	64,35	45,981	4,50	
Kilit Üstü Tij Kilavuzu	19	207	10,536	19,65	9,198	22,50	1,989	104,07	13,906	14,89	
Kilit Altı Tij Kilavuzu	20	207	17,386	11,91	4,257	48,63	1,545	133,98	17,816	11,62	
Üst Menteşe Pimi	21	207	6,959	29,75	1,848	112,01	0,572	361,89	7,218	28,68	
Orta Menteşe Pimi	22	207	7,353	28,15	2,393	86,50	0,595	347,90	7,629	27,13	
Alt Menteşe Pimi	23	207	10,885	19,02	2,214	93,50	0,904	228,98	11,417	18,13	
Kilit Altı Dikey Tiji	24	207	15,874	13,04	3,908	52,97	1,348	153,56	16,131	12,83	
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	207	9,376	22,08	9,681	21,38	1,742	118,83	13,125	15,77	
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	207	29,634	6,99	7,974	25,96	2,2637	91,44	30,494	6,79	

Sonlu elemanlar analizleri programı ile analiz edilen bir sistemde, en büyük yer değiştirmeler ve en büyük gerilmelerin hangi bölgelerde meydana geldiği renklendirilmiş grafiksel gösterimlerle incelenebilir. Sistemin x, y ve z yönlerinde beraber tahrik edildiği analiz sonuçlarına göre meydana gelen en büyük yer değiştirmeleri ve en büyük eş değer gerilmeleri sırasıyla Şekil 4.25 ve Şekil 4.26 göstermektedir.



Şekil 4.25 Deprem tepki spektrumu kullanılarak üç yönlü tahrikle meydana gelen yer değiştirmelerin bileşenlerinin grafiksel gösterimi



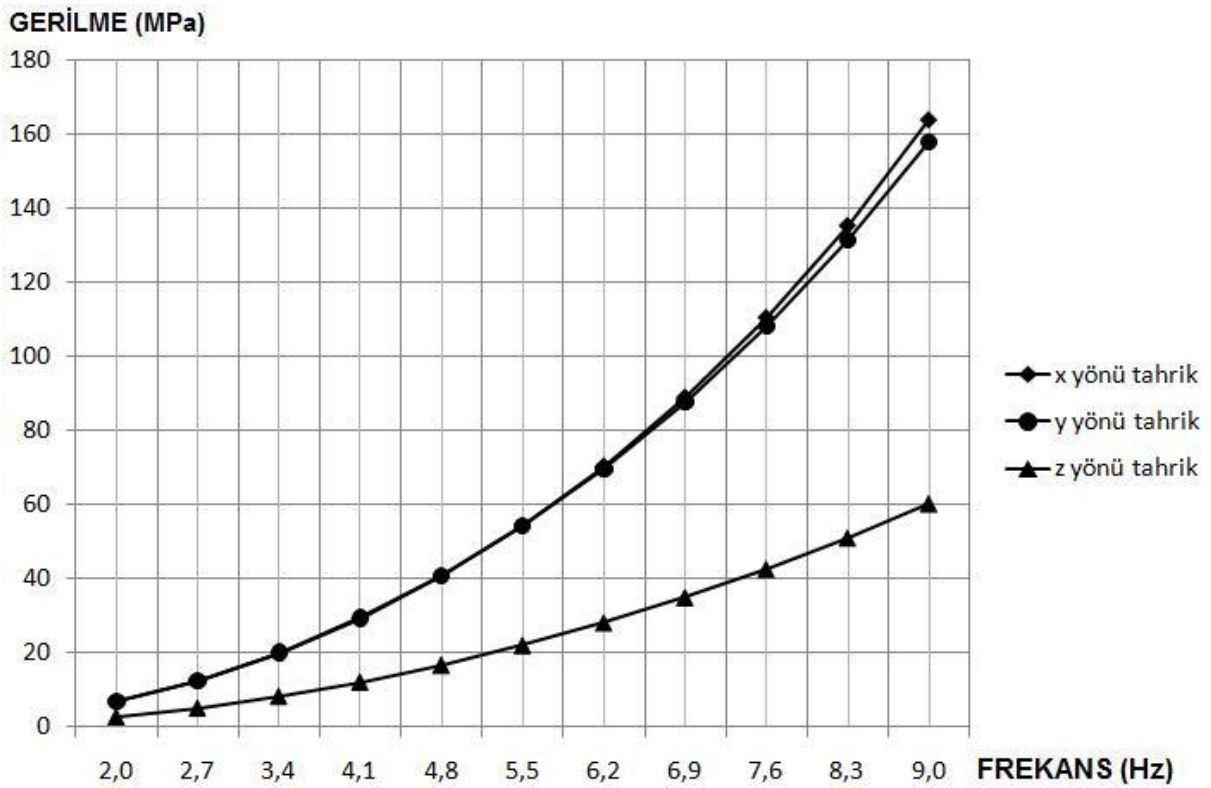
Şekil 4.26 Deprem tepki spektrumu kullanılarak üç yönlü tahrikle meydana gelen eş değer gerilmelerin grafiksel gösterimi

4.5 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler

4.5.1 Harmonik analiz için sonuçlar ve değerlendirmeler

“ETSI 300 019-1-4” standardı ile belirli harmonik titreşim koşullarının sınır şartları olarak uygulandığı, tahrik yönleri itibariyle farklı 3 adet harmonik analiz sonucu dış mekân kabinini oluşturan parçalar üzerindeki eş değer gerilmeler ve yer değiştirmeler hesaplanmıştır.

Şekil 4.27, aynı frekans değerlerinde tahrik yönleri açısından birbirinden farklı harmonik hareketlerin kabin parçaları üzerinde oluşturduğu en büyük eş değer gerilmeleri göstermektedir.

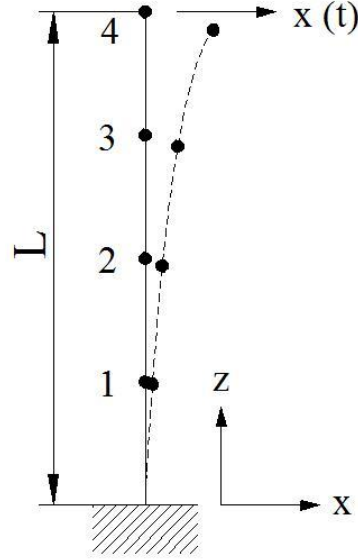


TAHRİK YÖNLERİ	FREKANS (Hz)										
	2,0	2,7	3,4	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,6	8,3	9,0
x yönü tahrik	6,799	12,475	19,959	29,347	40,762	54,361	70,339	88,936	110,450	135,250	163,790
y yönü tahrik	6,880	12,602	20,115	29,490	40,814	54,200	69,781	87,721	108,210	131,490	157,840
z yönü tahrik	2,904	5,298	8,413	12,254	16,829	22,146	28,216	35,052	42,669	51,083	60,315

Şekil 4.27 Harmonik titreşim tahriklerinin kabin parçaları üzerinde oluşturduğu en büyük eş değer gerilmeler (MPa)

Şekil 4.27’de görüldüğü gibi her bir tahrik şekli için frekansla birlikte sürekli şekilde artan

gerilmeler gerçekleşmektedir. Örnek dış mekân kabininin konstrüksiyonu x ve y yönünde büyük oranda benzer olduğundan, bu iki yöndeki tahrik sonucunda gerçekleşen eş değer gerilme değerleri büyük oranda yakınlık göstermektedir. Bu iki yöndeki tahrik hareketinin aksine sistem z yönünde tahrik edildiği zaman gerilmeler anlamlı şekilde düşük değerlerdedir. Çünkü z yönünde tahrik sırasında sistemi oluşturan parçalar üzerinde eğilme veya burulma deformasyonları en aza iner; sistem daha rijit bir şekilde harmonik titreşim salınım yapar. Fakat x ve y yönlerindeki tahriklerde eğilme ve burulma deformasyonları fazlalaşır. Yere bağlantı noktalarından oldukça yüksekte bulunan parçaların atalet momentlerinin etkisiyle, sınır şartlarını oluşturan yere bağlantı noktalarının etrafında büyük gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Dış mekân kabininin gerilme dağılım durumunu, tek tarafından dikey yönde ankastre şekilde mesnetlenmiş bir kirişteki gerilme dağılımına benzetebiliriz. Şekil 4.28 tek tarafından dikey yönde ankastre şekilde mesnetlenmiş bir kirişi göstermektedir.



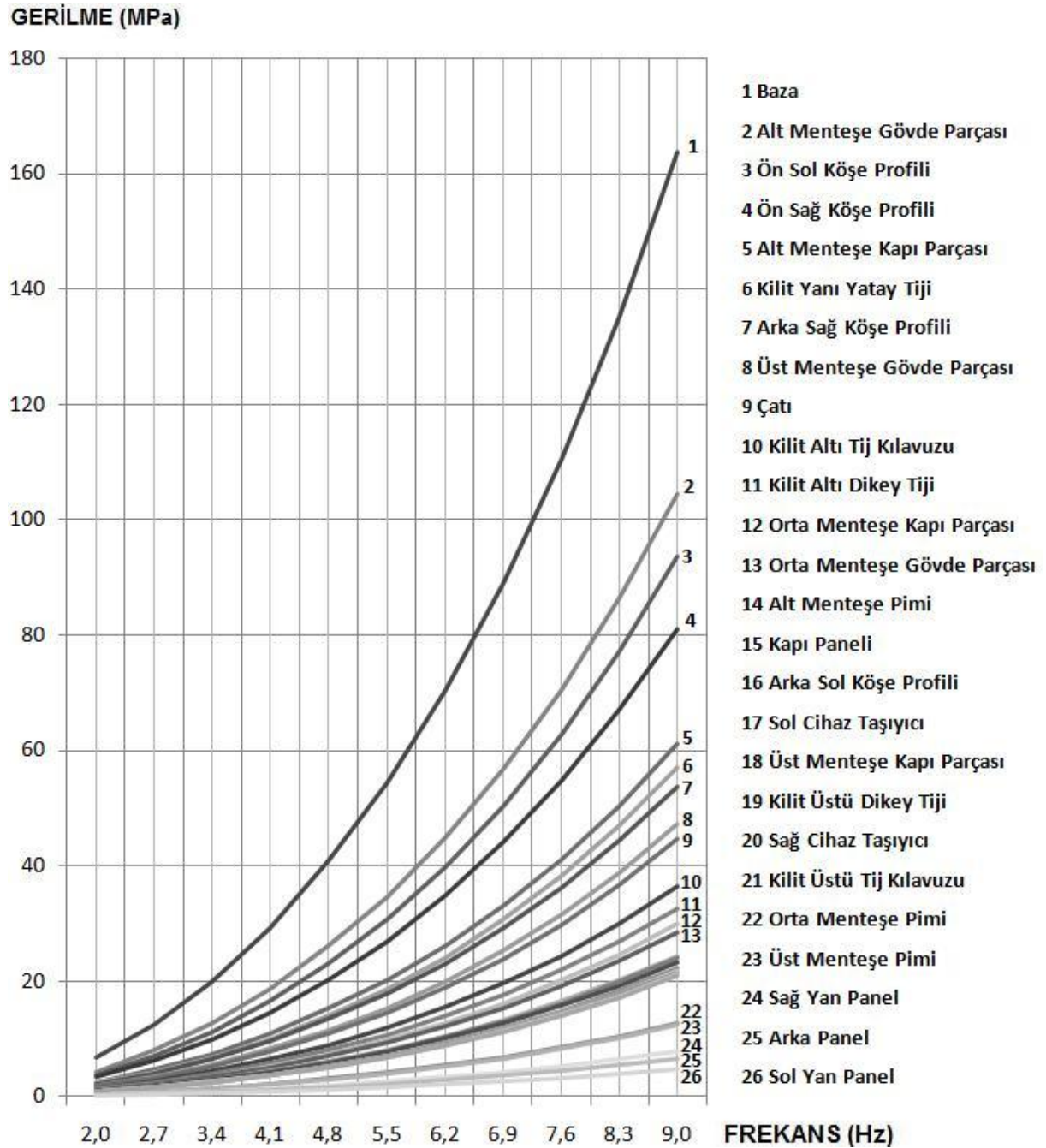
Şekil 4.28 Tek tarafından dikey yönde ankastre şekilde mesnetlenmiş kiriş

Şekil 4.28 ile gösterilen ankastre kirişte, x yönünde herhangi bir yer değiştirme eğilmeye ve dolayısıyla gerilmeye neden olur. Bu gerilme sistemin ankastre olarak mesnetlendiği noktaya yaklaştıkça artar. Mesnetlendiği noktada ise en büyük değerine ulaşır. Dış mekân kabini de x veya y yönünde tahrik edildiğinde, Şekil 4.28 ile verilen kiriş sisteminde olduğu gibi sabitlendiği noktada en büyük gerilmeler ortaya çıkar. Z yönünde uygulanan harmonik tahrik durumunda ise kiriş sisteminde olduğu gibi dış mekân kabininde de gerilmeler anlamlı şekilde azalmaktadır.

Frekansla doğru orantılı olarak parçaların eş değer gerilmelerinin sürekli artıyor olması, 2

Hz'den daha düşük veya 9 Hz'den daha yüksek frekanslarda uygulanacak harmonik titreşim tahrikleri sonucunda ortaya çıkacak gerilmeler konusunda fikir vermektedir.

Şekil 4.29, herhangi bir frekans değerinde eş değer gerilmelerin herhangi bir parça için en büyük olduğu x yönü harmonik tahrik sonucu parçalarda oluşan eş değer gerilmeleri değişik frekanslar için göstermektedir.



Şekil 4.29 x yönü harmonik tahrikle değişik frekanslardaki eş değer gerilmeler

Şekil 4.29 incelendiğinde, her bir parça için çizilen eğrilerin frekansla birlikte parabolik şekilde arttığı fakat birbirlerini kesmedikleri gözlemlenir. Bu, harmonik tahrik frekansının

artmasına rağmen, parçalar üzerinde oluşan eş değer gerilmelerin sayısal büyüklüklerinin belirli bir düzende arttığı anlamına gelir. Buradan hareketle, 2 Hz'den daha düşük veya 9 Hz'den daha yüksek frekanslardaki harmonik titreşim tahrikleri durumunda eş değer gerilmeler açısından parçalar arasında kıyaslama yapılabilir.

Şekil 4.29'de x yönü tahrik için yapıldığı gibi, y ve z yönü tahriklerle parçalarda oluşan en büyük eş değer gerilmeler çizelgeler yardımıyla kıyaslandığında aynı tabloyla karşılaştırılır. Yani parçalar için frekansla değişen en büyük eş değer gerilmelerin eğrileri kesişmeyecektir.

Farklı harmonik tahrik yönleri durumunda eş değer gerilme değerlerinin, parça malzemelerinin akma gerilmeleri değerlerine göre emniyet katsayılarını veren Çizelge 4.8, Çizelge 4.11, ve Çizelge 4.14 incelendiğinde, tasarlanan dış mekân kabini için çoğu parçasının gerilmeler açısından emniyetli olduğu kanısına varılır. Sadece, "baza" parçasının x ve y yönündeki tahrik şekillerinde en yüksek 3 frekans değeri için, katsayısı 2 olarak belirli emniyet sınırını aşan eş değer gerilmelerin ortaya çıktığı gözlenir. Buradan, harmonik titreşim koşullarında en büyük gerilmelerin yere bağlantıyı sağlayan (sınır koşullarını oluşturan) bölgelerde ve söz konusu parça üzerinde ortaya çıktığı genellemesi yapılabilir. Bu sonuç, dış mekân elektronik cihaz kabini mekanik tasarımlarında yere bağlantı parçalarının mukavemetine tasarımcı tarafından özen gösterilmesi gerektiğini gösterir.

Harmonik titreşim frekansının sürekli artışına rağmen parçalar üzerinde gerçekleşen eş değer gerilmelerin sürekli ve birbirleriyle düzenli şekilde artabilmesi (Şekil 4.29), 2-9 Hz aralığında dış mekân kabini için herhangi bir doğal frekansa sahip olmaması nedeniyle gerçekleşebilmektedir. Çizelge 4.5 ile verilen ve modal analizle hesaplanan doğal frekans değerlerinin en küçüğü 21,426 Hz olarak görülmektedir. Bölüm 4.2.1'de açıklandığı gibi bir sistem doğal frekans değerlerinden herhangi biri ile eş frekansta tahrik edilirse gerilme ve deformasyonlarda ani artışlar gözlenir. Buradan hareketle, sürekli frekans artışı ile birlikte 21,426 Hz frekans değeri civarına kadar Şekil 4.29 ile gösterilen eş değer gerilmelerdeki düzenli artış devam edecektir. 21,426 Hz değerine gelindiğinde hangi parçalarda ani eş değer gerilme artışı yaşanacağı, bu frekansa ait deformasyon mod şekli ve gerilme mod şekli incelenerek anlaşılabilir.

4.5.2 Tepki spektrumu analizi için sonuç ve değerlendirmeler

Tepki spektrumu analizinde, uluslararası standartlarda dış mekân kabinleri için belirtilen yeryüzü tepki spektrumu, tahrik girdisi olarak kullanılmış ve bu tahrik sonucu dış mekân elektronik cihaz kabini oluşturulan parçalar üzerinde gerçekleşen en büyük yer değiştirmeler

ve en büyük gerilmeler hesaplanmıştır. Deprem tepki spektrumunun örnek olarak tasarlanan dış mekân elektronik cihaz kabine tahrik olarak uygulanması sonucu gerçekleşen en büyük gerilmeler Çizelge 4.16 ile verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde ortaya çıkan eş değer gerilmelerin malzemelerin akma gerilmesi sınırlarına yaklaşmadığı ve gerilme açısından emniyetli olduğu görülmektedir.

Şekil 4.26 ve Çizelge 4.16 beraber incelendiklerinde, deprem tepki spektrumu sonucunda en büyük eş değer gerilmelerin yere bağlantı noktaları civarında ve yere bağlantıyı sağlayan parçalar üzerinde gerçekleştiği gözlenir. Tıpkı harmonik titreşim durumunda olduğu gibi spektral bir titreşimde de en büyük gerilmeler yere bağlantı noktaları civarında gerçekleşir. Nitekim spektral bir tahrik özünde, değişik frekanslarda harmonik titreşimler barındıran bir tahrik hareketinin frekans bölgesinde ifadesidir. Bu nedenle harmonik titreşime benzer şekilde gerilme dağılımları oluşturması beklenen bir durumdur.

4.5.3 Analiz sonuçları ve değerlendirmeler

Harmonik titreşim analizi ve deprem tepki spektrumu analizi sonuçları, tasarlanan dış mekân kabini için konstrüktif açıdan genel olarak değerlendirildiğinde ulaşılabilecek en önemli sonuç, yere bağlantı noktaları civarında ve yere bağlantıyı sağlayan “baza” parçasında emniyet sınırlarını aşan gerilmelerin ortaya çıktığıdır.

Yapılan analizler, harmonik titreşimle veya tepki spektrumu ile tahrik edilen sistemler için genel olarak değerlendirildiğinde ulaşılabilecek en önemli sonuç, yine yere veya herhangi bir platforma bağlantı noktaları civarında ve bu bağlantıyı sağlayan parça üzerinde en büyük gerilmelerin ortaya çıktığıdır.

Endüstriyel bir tasarım açısından analizler değerlendirildiğinde ise mevcut tasarımın uluslararası standartlar tarafından tarif edilen mekanik dayanıklılığa sahip olmadığı sonucuna ulaşılır. Çünkü harmonik titreşim analizi ile ilgili hesaplamalar ışığında, tasarlanan dış mekân kabininin mekanik gerilmeler açısından emniyetli olmadığı açıkça görülebilir. Yere bağlantıyı sağlayan “baza” parçası haricinde dış mekân kabini konstrüksiyonuna dâhil olan diğer parçalar için hesaplanan eş değer gerilme değerleri ise akma sınırları açısından yeterli derecede emniyetlidir denilebilir.

Sonlu elemanlar yönteminin nümerik bir yöntem olması dolayısıyla analizleri ile hesaplanan değerlere yaklaşık cevaplar vermesi ve incelenen mekanik zorlama koşulları dışında bir dış mekân kabininin maruz kalabileceği diğer etkiler göz önüne alındığında, eş değer gerilmeler

için emniyet katsayısı 2 olarak alınmıştır. Bu takdirde, eş değer gerilme katsayısına göre emniyet katsayısını veren çizelgeler incelendiğinde, dış mekân kabini oluşturulan birçok parçanın son derece emniyetli olduğu gözlenir. Fakat bu parçalardan bazıları (örneğin “sağ yan panel”, “arka panel”, “sol yan panel”) son derece emniyetli oldukları gibi, boyutları itibariyle dış mekân kabini toplam malzeme maliyetine olumsuz etki yapmaktadırlar.

Endüstriyel açıdan bir dış mekân kabini mekanik dayanıklılığı kadar malzeme maliyetleri de önem taşımaktadır. Bir ürün henüz tasarım aşamasındayken, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler, deney yapmak için ilk örnek üretmeden ürünün dayanıklılığı ile ilgili önemli ipuçları verir. Bu çalışmada örnek olarak tasarlanan dış mekân kabini için de mekanik dayanıklılık açısından önemli ipuçları elde edilmiştir. Bu ipuçları doğrultusunda mekanik dayanıklılığı ve ürün maliyetini iyileştiren çalışmalar yapılabilir.

5. İYİLEŞTİRME

Bu bölümde örnek dış mekân kabiniinde yer alan ve malzeme miktarı açısından büyük parçaların et kalınlıklarındaki değişimlerin, gerek aynı parça üzerinde gerekse kabini oluşturan diğer parçalar üzerinde ortaya çıkan eş değer gerilmeleri nasıl etkilediği araştırılacaktır. Elde edilen ipuçları ışığında, Çizelge 2.3 ile verilen kabin parçalarının et kalınlıkları değiştirilerek, yine emniyetli eş değer gerilme sınırları içinde kalacak şekilde malzeme maliyeti azaltılmış bir dış mekân elektronik cihaz kabini konstrüksiyonu oluşturulacaktır.

5.1 İyileştirme Parametrelerinin Belirlenmesi

5.1.1 İyileştirmenin hedefi

Analiz sonuçlarının değerlendirildiği bölümde ulaşılan sonuçlarla örnek olarak tasarlanan dış mekân kabiniinin eş değer gerilmeler açısından emniyetli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Konstrüksiyon için uygun görülen emniyet katsayısı “2” olmasına rağmen, x ve y yönlerindeki 3 mm mertebesindeki harmonik yer değiştirme koşullarında, dış mekân kabiniinin yere bağlantısını sağlayan “baza” parçası üzerinde “2” değerinden daha düşük eş değer gerilme emniyet katsayılarına rastlanmaktadır. Deprem tepki spektrumu analizi sonuçlarına göre ise herhangi bir parça için “2” değerinden daha düşük emniyet katsayısı bulunmamaktadır.

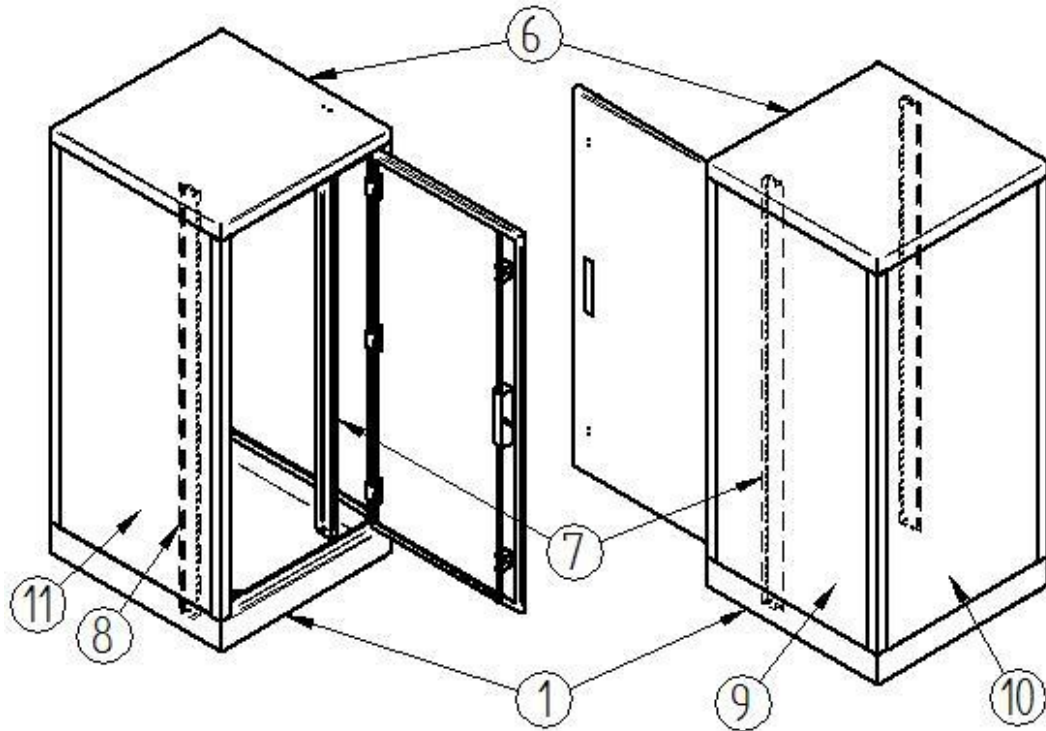
Harmonik titreşim analizleri sonucunda “baza” parçasının emniyetli olmadığı, fakat malzeme miktarı açısından büyük ve dolayısıyla üretim açısından maliyetli parçaların fazlasıyla emniyetli olduğu gözlenmektedir. Bu nedenle yapılacak iyileştirme çalışmasında “baza” parçasının güçlendirilmesi kadar, söz konusu maliyetli parçaların et kalınlıklarını düşürmek de hedeflenecektir.

Pratikte olduğu gibi, iyileştirme çalışması sırasında referans alınacak eş değer gerilmeler, en büyük eş değer gerilme değerlerini yaratan koşullar altında belirlenmelidir. Böylece hesaplanan en büyük eş değer gerilmeler emniyet sınırları çerçevesinde tutulursa, diğer koşullar için de emniyetli bir tasarım yapılmış olur. Harmonik titreşim analizi ve deprem tepki spektrumu analizi sonuçları incelendiğinde, en büyük eş değer gerilmelerin, x yönünde tahrikle gerçekleşen 9 Hz mertebesindeki harmonik 3 mm yer değiştirme koşullarında ortaya çıktığı görülür. Bu nedenle, iyileştirme çalışması sırasında referans alınacak ve ideal değerlere getirilecek eş değer gerilmeler, söz konusu zorlanma koşullarında hesaplanacak eş değer

gerilmeler olacaktır. İdeal gerilme değerlerini malzeme maliyeti düşürülmüş parçalarla veren tasarım daha sonra, diğer zorlanma koşulları için de (diğer tahrik yönlerindeki harmonik titreşim ve deprem tepki spektrumu koşulları) analiz edilerek kontrol edilecektir.

Çeşitli tahrik yönlerindeki harmonik titreşim analizlerinde en büyük gerilme değerleri 9 Hz mertebesinde elde edildiği ve frekansla doğru orantılı olarak değiştiği için, iyileştirme çalışmaları sırasında harmonik analizler sadece bu frekans değerinde gerçekleştirilecektir. Zira daha düşük frekans değerlerinde eş değer gerilmelerin daha düşük değerlerde olduğu bilinmektedir.

5.1.2 İyileştirme kapsamı



No	Açıklama	Malzeme	Et Kalınlığı (mm)
1	Baza	Paslanmaz Çelik	2
6	Çatı	Paslanmaz Çelik	2
7	Sağ Cihaz Taşıyıcı	Paslanmaz Çelik	2
8	Sol Cihaz Taşıyıcı	Alaşımli Alüminyum	2
9	Sağ Yan Panel	Alaşımli Alüminyum	3
10	Arka Panel	Alaşımli Alüminyum	3
11	Sol Yan Panel	Alaşımli Alüminyum	3

Şekil 5.1 İyileştirme çalışmasında et kalınlıkları değişebilecek parçalar

Dış mekân kabini parçalarını malzeme maliyeti ve eş değer gerilmeler açısından iyileştirmek için öncelikle, belirli parçaların et kalınlıklarındaki değişimin, kabin üzerindeki tüm

parçalarda oluşan eş değer gerilmelere etkisi araştırılacaktır. Şekil 5.1, iyileştirme çalışması kapsamında et kalınlığı değiştirilecek parçaları göstermektedir.

İyileştirme çalışmasında et kalınlığı değiştirilecek parçaların listesi ve bu parçaların önceki analizlerde sahip oldukları et kalınlığı değerleri Şekil 5.1 ile verilmiştir. Bu başlangıç et kalınlığı değerlerinin iyileştirmeye ulaşabileceği minimum mertebesi, ürünün zorlu çevresel koşullara maruz kalacak bir “dış mekân kabini” olduğu göz önüne alınarak “1 mm” olarak belirlenmiştir. İyileştirme çalışmasında prensip olarak “sağ cihaz taşıyıcı” ve “sol cihaz taşıyıcı” parçalarının et kalınlıkları aynı değerde tutulacak; aynı şekilde “sağ yan panel”, “arka panel” ve “sol yan panel” parçaları da aynı et kalınlığı değerine sahip olacaklardır.

5.1.3 İyileştirme prensibi

Dış mekân kabininin iyileştirilmesi gerçekleştirilmeden önce, iyileştirme kapsamında et kalınlığı değişebilir parçaların her birinin et kalınlıklarındaki değişimin, diğer parçalar üzerindeki etkilerini saptamak gerekmektedir. Bu etkiler belirlenerek elde edilen tecrübelerle iyileştirme çalışmasına yön verilecektir.

Çizelge 5.1 “Baza” parçasının et kalınlığı değişimine karşılık eş değer gerilmelerdeki değişim

Parça	No	Akma Gerilmesi (MPa)	"Baza" et kalınlığı değerleri								
			2 mm			2,5 mm			3 mm		
			Yer Değiştirme (mm)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Yer Değiştirme (mm)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Yer Değiştirme (mm)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı
Baza	1	207	3,064	163,790	1,264	3,046	155,010	1,335	3,039	88,764	2,332
Ön Sağ Köşe Profili	2	207	3,783	81,138	2,551	3,592	60,020	3,449	3,492	54,437	3,803
Ön Sol Köşe Profili	3	207	3,785	93,697	2,209	3,593	81,664	2,535	3,493	72,791	2,844
Arka Sağ Köşe Profili	4	207	3,606	53,743	3,852	3,435	41,279	5,015	3,352	30,454	6,797
Arka Sol Köşe Profili	5	207	3,607	23,276	8,893	3,435	44,747	4,626	3,352	34,538	5,993
Çatı	6	207	3,800	44,652	4,636	3,603	38,837	5,330	3,500	33,345	6,208
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	207	4,059	21,323	9,708	3,918	23,545	8,792	3,002	44,648	4,636
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	207	4,063	22,398	9,242	3,923	25,110	8,244	3,002	48,693	4,251
Sağ Yan Panel	9	280	3,778	7,767	36,052	3,613	5,286	52,966	3,546	5,917	47,324
Arka Panel	10	280	3,601	6,574	42,593	3,430	7,545	37,112	3,347	6,657	42,061
Sol Yan Panel	11	280	3,780	4,796	58,378	3,615	4,059	68,976	3,546	3,919	71,449
Kapı Paneli	12	280	3,683	24,058	11,639	3,506	22,571	12,405	3,417	22,495	12,447
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	207	3,668	21,751	9,517	3,500	19,117	10,828	3,414	17,930	11,545
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	207	3,478	30,021	6,895	3,368	22,170	9,337	3,310	25,016	8,275
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	207	3,298	61,069	3,390	3,246	46,120	4,488	3,215	41,058	5,042
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	207	3,733	47,220	4,384	3,556	39,505	5,240	3,463	35,137	5,891
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	207	3,479	28,505	7,262	3,371	31,646	6,541	3,315	23,473	8,819
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	207	3,300	104,550	1,980	3,249	100,530	2,059	3,219	86,898	2,382
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	207	3,667	20,916	9,897	3,500	18,404	11,248	3,415	15,929	12,995
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	207	3,306	36,330	5,698	3,252	33,753	6,133	3,220	31,565	6,558
Üst Menteşe Pimi	21	207	3,665	12,437	16,644	3,497	9,389	22,048	3,411	8,702	23,787
Orta Menteşe Pimi	22	207	3,475	12,760	16,223	3,367	12,346	16,767	3,310	11,811	17,526
Alt Menteşe Pimi	23	207	3,280	24,440	8,470	3,231	22,061	9,383	3,202	23,638	8,757
Kilit Altı Dikey Tiji	24	207	3,437	32,613	6,347	3,340	30,698	6,743	3,288	30,735	6,735
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	207	3,776	21,629	9,570	3,587	18,343	11,285	3,487	16,011	12,929
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	207	3,467	57,042	3,629	3,361	49,234	4,204	3,305	42,636	4,855

İyileştirme çalışmasının eş değer gerilmelerin her bir parça için en büyük değerde gerçekleştiği şartlarda, yani x yönünde ve 9 Hz frekans değerinde olmak üzere 3 mm harmonik yer değiştirme koşullarında yapılacağı açıklanmıştır.

Çizelge 5.1 ile verilen eş değer gerilme ve emniyet katsayısı değerleri, belirtilen harmonik titreşim koşullarında sadece “baza” parçasının et kalınlığı değiştirilerek tekrarlanan analizler sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 5.1 incelendiğinde “baza” parçasının et kalınlığı değeri arttıkça hem “baza” parçasının hem de sistem üzerindeki diğer parçaların eş değer gerilme değerlerinde anlamlı bir düşüş gerçekleştiği görülmektedir. İlk tasarlanan dış mekân kabini için “1,264” olarak gerçekleşen emniyet katsayısı, sınır olarak belirlenen “2” değerinin üzerine çıkarılmıştır. İyileştirme çalışmasında söz konusu hedeflerden biri “baza” parçasını güçlendirmektir. Kendi et kalınlığının artışı “baza” parçasının eş değer gerilme değerini düşürmekte ve iyileştirme hedefini sağlamaktadır. Fakat bu et kalınlığındaki artış diğer iyileştirme hedefi olan malzeme maliyetini azaltma noktasında olumsuz etki yapmaktadır.

Çizelge 5.2 “Sağ yan panel”, “arka panel” ve “sol yan panel” parçalarının et kalınlığı değişimine karşılık eş değer gerilmelerdeki değişim

Parça	No	Akma Gerilmesi (MPa)	"sağ yan panel", "arka panel" ve "sol yan panel" et kalınlığı değerleri								
			3 mm			2 mm			1,5 mm		
			Yer Değiştirme (mm)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Yer Değiştirme (mm)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Yer Değiştirme (mm)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı
Baza	1	207	3,064	163,790	1,264	3,055	144,440	1,433	3,050	134,600	1,538
Ön Sağ Köşe Profili	2	207	3,783	81,138	2,551	3,699	68,723	3,012	3,657	64,999	3,185
Ön Sol Köşe Profili	3	207	3,785	93,697	2,209	3,700	84,186	2,459	3,658	79,438	2,606
Arka Sağ Köşe Profili	4	207	3,606	53,743	3,852	3,539	47,466	4,361	3,507	45,000	4,600
Arka Sol Köşe Profili	5	207	3,607	23,276	8,893	3,541	19,951	10,375	3,508	19,353	10,696
Çatı	6	207	3,800	44,652	4,636	3,713	39,977	5,178	3,670	37,543	5,514
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	207	4,059	21,323	9,708	4,003	22,937	9,025	3,975	22,265	9,297
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	207	4,063	22,398	9,242	4,005	22,444	9,223	3,976	22,005	9,407
Sağ Yan Panel	9	280	3,778	7,767	36,052	3,694	6,121	45,743	3,652	5,394	51,910
Arka Panel	10	280	3,601	6,574	42,593	3,536	10,022	27,939	3,503	9,246	30,284
Sol Yan Panel	11	280	3,780	4,796	58,378	3,703	3,807	73,558	3,654	4,622	60,585
Kapı Paneli	12	280	3,683	24,058	11,639	3,611	21,279	13,159	3,574	20,201	13,861
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	207	3,668	21,751	9,517	3,597	18,981	10,906	3,561	17,883	11,575
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	207	3,478	30,021	6,895	3,429	21,884	9,459	3,404	20,520	10,088
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	207	3,298	61,069	3,390	3,270	46,786	4,424	3,255	44,353	4,667
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	207	3,733	47,220	4,384	3,654	40,141	5,157	3,614	38,006	5,447
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	207	3,479	28,505	7,262	3,428	30,962	6,686	3,403	28,999	7,138
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	207	3,300	104,550	1,980	3,272	101,660	2,036	3,257	96,362	2,148
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	207	3,667	20,916	9,897	3,596	18,560	11,153	3,560	17,597	11,763
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	207	3,306	36,330	5,698	3,277	33,172	6,240	3,262	31,388	6,595
Üst Menteşe Pimi	21	207	3,665	12,437	16,644	3,594	9,462	21,876	3,559	8,971	23,075
Orta Menteşe Pimi	22	207	3,475	12,760	16,223	3,426	12,231	16,924	3,401	11,409	18,144
Alt Menteşe Pimi	23	207	3,280	24,440	8,470	3,254	22,165	9,339	3,240	20,882	9,913
Kilit Altı Dikey Tiji	24	207	3,437	32,613	6,347	3,392	28,656	7,224	3,369	27,099	7,639
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	207	3,776	21,629	9,570	3,692	18,633	11,109	3,650	17,633	11,739
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	207	3,467	57,042	3,629	3,419	50,743	4,079	3,394	48,042	4,309

Çizelge 5.2 ile verilen eş değer gerilme ve emniyet katsayısı değerleri, belirtilen harmonik titreşim koşullarında sadece “sağ yan panel”, “arka panel” ve “sol yan panel” parçalarının et kalınlığı değiştirilerek tekrarlanan analizler sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 5.2 incelendiğinde dış mekân kabininin yan ve arka tarafını kapayan panellerin et kalınlıkları azatlığında “baza” parçası üzerinde anlamlı bir azalma gerçekleştiği görülür. Fakat kendi et kalınlıklarının azalmasına rağmen “sağ yan panel”, “arka panel” ve “sol yan panel” parçalarının eş değer gerilmelerinde anlamlı bir artış veya düşüş gözlenmemektedir. Sonuç olarak iyileştirme hedefi olan malzeme maliyetinin düşürülmesi sağlanabilmektedir.

Çizelge 5.3 ile verilen eş değer gerilme ve emniyet katsayısı değerleri, belirtilen harmonik titreşim koşullarında sadece “çatı” parçasının et kalınlığı değiştirilerek tekrarlanan analizler sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 5.3 “Çatı” parçasının et kalınlığı değişimine karşılık eş değer gerilmelerdeki değişim

Parça	No	Akma Gerilmesi (MPa)	"çatı" et kalınlığı değerleri								
			2 mm			1,5 mm			1 mm		
			Yer Değiştirme (mm)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Yer Değiştirme (mm)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Yer Değiştirme (mm)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı
Baza	1	207	3,064	163,790	1,264	3,058	140,610	1,472	3,048	132,600	1,561
Ön Sağ Köşe Profili	2	207	3,783	81,138	2,551	3,673	67,098	3,085	3,578	69,343	2,985
Ön Sol Köşe Profili	3	207	3,785	93,697	2,209	3,674	81,335	2,545	3,578	75,890	2,728
Arka Sağ Köşe Profili	4	207	3,606	53,743	3,852	3,520	46,601	4,442	3,442	41,250	5,018
Arka Sol Köşe Profili	5	207	3,607	23,276	8,893	3,521	20,421	10,137	3,440	47,603	4,348
Çatı	6	207	3,800	44,652	4,636	3,688	48,866	4,236	3,591	45,188	4,581
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	207	4,059	21,323	9,708	3,003	43,429	4,766	3,002	35,987	5,752
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	207	4,063	22,398	9,242	3,648	30,965	6,685	3,931	19,811	10,449
Sağ Yan Panel	9	280	3,778	7,767	36,052	3,680	6,527	42,898	3,616	5,324	52,594
Arka Panel	10	280	3,601	6,574	42,593	3,516	5,835	47,988	3,437	8,521	32,862
Sol Yan Panel	11	280	3,780	4,796	58,378	3,682	4,293	65,224	3,616	3,645	76,826
Kapı Paneli	12	280	3,683	24,058	11,639	3,591	20,503	13,657	3,509	18,577	15,072
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	207	3,668	21,751	9,517	3,577	17,449	11,863	3,497	14,542	14,235
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	207	3,478	30,021	6,895	3,415	20,904	9,902	3,362	18,605	11,126
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	207	3,298	61,069	3,390	3,261	45,188	4,581	3,232	41,032	5,045
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	207	3,733	47,220	4,384	3,630	36,474	5,675	3,542	30,457	6,796
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	207	3,479	28,505	7,262	3,417	29,422	7,036	3,365	26,112	7,927
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	207	3,300	104,550	1,980	3,263	98,397	2,104	3,234	89,789	2,305
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	207	3,667	20,916	9,897	3,573	17,116	12,094	3,489	15,033	13,770
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	207	3,306	36,330	5,698	3,268	31,995	6,470	3,238	28,984	7,142
Üst Menteşe Pimi	21	207	3,665	12,437	16,644	3,574	8,664	23,892	3,495	7,270	28,474
Orta Menteşe Pimi	22	207	3,475	12,760	16,223	3,413	11,740	17,632	3,360	10,531	19,656
Alt Menteşe Pimi	23	207	3,280	24,440	8,470	3,246	21,465	9,644	3,218	19,447	10,644
Kilit Altı Dikey Tiji	24	207	3,437	32,613	6,347	3,380	27,692	7,475	3,330	25,156	8,229
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	207	3,776	21,629	9,570	3,668	17,883	11,575	3,574	15,511	13,345
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	207	3,467	57,042	3,629	3,406	48,671	4,253	3,352	45,260	4,574

Çizelge 5.3 incelendiğinde dış mekân kabininin “çatı” parçasının et kalınlığı azatlığında “baza” parçası üzerinde anlamlı bir azalma gerçekleştiği görülür. Fakat kendi et kalınlığının

azalmasına rağmen “çatı” parçasının eş değer gerilmelerinde anlamlı bir artış veya düşüş gözlenmemektedir. Sonuç olarak iyileştirme hedefi olan malzeme maliyetinin düşürülmesi sağlanabilmektedir.

Çizelge 5.4 ile verilen eş değer gerilme ve emniyet katsayısı değerleri, belirtilen harmonik titreşim koşullarında sadece “sağ cihaz taşıyıcı” ve “sol cihaz taşıyıcı” parçalarının et kalınlığı değiştirilerek tekrarlanan analizler sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 5.4 “Sağ cihaz taşıyıcı” ve “sol cihaz taşıyıcı” parçalarının et kalınlığı değişimine karşılık eş değer gerilmelerdeki değişim

Parça	No	Akma Gerilmesi (MPa)	"sağ cihaz taşıyıcı" ve "sol cihaz taşıyıcı" et kalınlığı değerleri								
			2 mm			1,5 mm			1 mm		
			Yer Değiştirme (mm)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Yer Değiştirme (mm)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Yer Değiştirme (mm)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı
Baza	1	207	3,064	163,790	1,264	3,063	160,620	1,289	3,062	157,330	1,316
Ön Sağ Köşe Profili	2	207	3,783	81,138	2,551	3,768	75,296	2,749	3,751	73,888	2,802
Ön Sol Köşe Profili	3	207	3,785	93,697	2,209	3,769	90,906	2,277	3,753	88,856	2,330
Arka Sağ Köşe Profili	4	207	3,606	53,743	3,852	3,594	52,337	3,955	3,582	51,296	4,035
Arka Sol Köşe Profili	5	207	3,607	23,276	8,893	3,595	22,998	9,001	3,583	22,636	9,145
Çatı	6	207	3,800	44,652	4,636	3,784	43,566	4,751	3,767	42,105	4,916
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	207	4,059	21,323	9,708	4,111	24,082	8,596	4,138	21,565	9,599
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	207	4,063	22,398	9,242	4,113	23,734	8,722	4,154	22,811	9,075
Sağ Yan Panel	9	280	3,778	7,767	36,052	3,762	7,062	39,650	3,746	6,972	40,161
Arka Panel	10	280	3,601	6,574	42,593	3,590	6,441	43,472	3,577	6,342	44,152
Sol Yan Panel	11	280	3,780	4,796	58,378	3,764	4,665	60,018	3,748	4,579	61,149
Kapı Paneli	12	280	3,683	24,058	11,639	3,671	22,872	12,242	3,658	22,440	12,478
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	207	3,668	21,751	9,517	3,656	21,040	9,838	3,642	20,259	10,218
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	207	3,478	30,021	6,895	3,470	23,911	8,657	3,461	23,382	8,853
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	207	3,298	61,069	3,390	3,293	50,102	4,132	3,288	49,177	4,209
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	207	3,733	47,220	4,384	3,718	44,164	4,687	3,703	42,478	4,873
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	207	3,479	28,505	7,262	3,470	33,983	6,091	3,461	33,181	6,239
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	207	3,300	104,550	1,980	3,295	109,320	1,894	3,290	107,340	1,928
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	207	3,667	20,916	9,897	3,654	20,455	10,120	3,641	19,789	10,460
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	207	3,306	36,330	5,698	3,301	35,627	5,810	3,295	34,943	5,924
Üst Menteşe Pimi	21	207	3,665	12,437	16,644	3,652	10,368	19,965	3,640	9,978	20,746
Orta Menteşe Pimi	22	207	3,475	12,760	16,223	3,466	13,331	15,528	3,458	13,055	15,856
Alt Menteşe Pimi	23	207	3,280	24,440	8,470	3,276	24,052	8,606	3,270	23,619	8,764
Kilit Altı Dikey Tiji	24	207	3,437	32,613	6,347	3,429	30,831	6,714	3,421	30,225	6,849
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	207	3,776	21,629	9,570	3,760	20,506	10,095	3,744	19,855	10,426
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	207	3,467	57,042	3,629	3,459	54,913	3,770	3,450	53,587	3,863

Çizelge 5.4 incelendiğinde dış mekân kabınınin “sağ cihaz taşıyıcı” ve “sol cihaz taşıyıcı” parçalarının et kalınlığı azaltıldığında “baza” parçası üzerinde anlamlı bir azalış gerçekleştiği görülür. Fakat kendi et kalınlığının azalmasına rağmen “sağ cihaz taşıyıcı” ve “sol cihaz taşıyıcı” parçalarının eş değer gerilmelerinde anlamlı bir artış veya düşüş gözlenmemektedir. Sonuç olarak iyileştirme hedefi olan malzeme maliyetinin düşürülmesi sağlanabilmektedir.

İyileştirme kapsamında et kalınlığı değiştirilen parçaların bütün sisteme etkileri, parçaların “baza”, “çatı”, “yan ve arka paneller” ve “cihaz taşıyıcılar” olmak üzere 4 sınıfa ayrıldığı şekilde incelenmiştir. Bu incelemeler sonunda her bir parça grubundaki değişimlerin bütün

sistemdeki eş değer gerilmelere olan etkisi belirlenmiştir. Bu tecrübeler dış mekân elektronik cihaz kabini için iyileştirilmesine kılavuzluk edecektir.

5.2 Dış Mekân Kabininin İyileştirilmesi

Dış mekân kabininin iyileştirme prensiplerinin belirlenmesi için yapılan analizler sonucunda, iyileştirme kapsamındaki parçaların et kalınlığındaki değişimlerin sistem üzerindeki eş değer gerilmelere olan etkisi belirlenmişti. Parçaların ayrıldığı 4 sınıfın her biri için ortak olan özellik, et kalınlığındaki değişimlerin “baza” parçası üzerindeki eş değer gerilmeyi azaltmasıdır.

İyileştirme çalışmasında hedeflerden biri olan “baza” parçasının eş değer gerilmelerinin düşürülmesi, diğer parçaların et kalınlıklarının azaltılması ile sağlanabilmektedir. Bu nedenle, “baza” parçasının eş değer gerilmelerini azaltmak için diğer yöntem olan ve malzeme maliyetini yükselten “baza” parçasının et kalınlığını artırma yoluna gidilmeyecektir. Baza parçasındaki eş değer gerilme düşüşü, diğer parçaların et kalınlığı azaltılarak ve dolayısıyla bir diğer iyileştirme hedefi olan malzeme maliyeti düşürülerek sağlanmaya çalışılacaktır.

Daha önce et kalınlıklarındaki değişimin dış mekân kabininin bütününe etkisi 4 parça sınıfı bazında ayrıca incelenmiştir. Dış mekân kabininin iyileştirilmesinde, bu incelemelerle elde edilen tecrübeler doğrultusunda, et kalınlığındaki değişimler birlikte incelenecektir.

Malzeme maliyeti açısından et kalınlığının düşürülmesi en büyük azalmayı sağlayacak “yan ve arka panel” parçaları öncelikle iyileştirilecektir. Ardından “çatı” parçasının et kalınlığı düşürülecektir. Son olarak “cihaz taşıyıcı” parçalarının et kalınlığı düşürülerek eş değer gerilmeler incelenecektir.

Parça sınıflarına ait parçaların et kalınlıkları ve malzeme maliyetleri sırasıyla düşürülürken, parça eş değer gerilmelerinin “2” katsayısı ile belirlenen emniyet sınırları içerisinde kalması; ayrıca başlangıçta bu sınırlar içerisinde bulunmayan “baza” parçasının eş değer gerilmesinin emniyet sınırları içerisine girmesi beklenmektedir.

Çizelge 5.5 iyileştirme çalışması dahilinde 3 adımda gerçekleştirilen analizlerin sonucunu raporlamaktadır.

İyileştirme sonucu elde edilen yeni et kalınlıkları ile tasarlanacak dış mekân kabini, eş değer gerilmelerin her bir parça için en büyük değerinde gerçekleştiği şartlarda, yani x yönünde ve 9 Hz frekans değerinde olmak üzere 3 mm harmonik yer değiştirme koşullarında yapılmıştır.

Aynı değerlerde y ve z yönünde kontrol amaçlı yapılan harmonik titreşim analizinin sonuçları Çizelge 5.6 ile verilmiştir.

Çizelge 5.5 İyileştirme adımları ile et kalınlıklarının değişimine karşılık parçaların eş değer gerilmelerindeki değişim

Parça	Başlangıç		1. Adım		2. Adım		3. Adım	
	Et Kalınlığı (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Et Kalınlığı (mm)
Baza	2	2	2	2	2	2	2	2
Çatı	2	2	2	2	1	1	1	1
Sağ Cihaz Taşıyıcı	2	2	2	2	2	2	1	1
Sol Cihaz Taşıyıcı	2	2	2	2	2	2	1	1
Sağ Yan Panel	3	1	1	1	1	1	1	1
Arka Panel	3	1	1	1	1	1	1	1
Sol Yan Panel	3	1	1	1	1	1	1	1

Parça	No	Akma Gerilmesi (MPa)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı
Baza	1	207	163,790	1,264	124,610	1,661	95,298	2,172	92,513	2,238
Ön Sağ Köşe Profili	2	207	81,138	2,551	61,543	3,364	53,525	3,867	51,676	4,006
Ön Sol Köşe Profili	3	207	93,697	2,209	74,616	2,774	57,951	3,572	55,952	3,700
Arka Sağ Köşe Profili	4	207	53,743	3,852	42,777	4,839	30,062	6,886	28,980	7,143
Arka Sol Köşe Profili	5	207	23,276	8,893	17,918	11,553	36,296	5,703	34,990	5,916
Çatı	6	207	44,652	4,636	35,127	5,893	31,767	6,516	29,947	6,912
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	207	21,323	9,708	21,068	9,825	34,520	5,997	23,421	8,838
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	207	22,398	9,242	20,506	10,095	19,074	10,852	22,430	9,229
Sağ Yan Panel	9	280	7,767	36,052	15,553	18,003	18,343	15,265	17,647	15,867
Arka Panel	10	280	6,574	42,593	10,692	26,188	8,805	31,801	8,583	32,624
Sol Yan Panel	11	280	4,796	58,378	5,475	51,141	5,499	50,921	5,367	52,173
Kapı Paneli	12	280	24,058	11,639	19,136	14,632	14,890	18,805	14,507	19,301
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	207	21,751	9,517	16,951	12,212	10,024	20,650	9,290	22,283
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	207	30,021	6,895	19,116	10,829	13,845	14,951	13,389	15,460
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	207	61,069	3,390	41,716	4,962	32,533	6,363	31,603	6,550
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	207	47,220	4,384	36,211	5,716	21,531	9,614	19,936	10,383
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	207	28,505	7,262	27,066	7,648	19,247	10,755	18,575	11,144
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	207	104,550	1,980	90,757	2,281	71,369	2,900	69,677	2,971
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	207	20,916	9,897	16,763	12,349	11,440	18,094	10,902	18,987
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	207	36,330	5,698	29,581	6,998	22,970	9,012	22,374	9,252
Üst Menteşe Pimi	21	207	12,437	16,644	8,600	24,069	5,240	39,505	4,876	42,457
Orta Menteşe Pimi	22	207	12,760	16,223	10,533	19,653	7,804	26,524	7,599	27,241
Alt Menteşe Pimi	23	207	24,440	8,470	19,560	10,583	15,174	13,642	14,860	13,930
Kilit Altı Dikey Tiji	24	207	32,613	6,347	25,519	8,112	19,833	10,437	19,317	10,716
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	207	21,629	9,570	16,767	12,346	11,390	18,174	10,778	19,206
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	207	57,042	3,629	45,379	4,562	34,726	5,961	33,423	6,193

Çizelge 5.6'den anlaşıldığı gibi x yönünde harmonik titreşime göre iyileştirmeye (et kalınlıkları değiştirilerek) elde edilen yeni dış mekân kabini parçaları, eş değer gerilmeler açısından y ve z yönlerindeki tahrik durumlarında da emniyetli sınırlar içerisindedir.

İyileştirmeye elde edilen yeni dış mekân kabininin kontrol edilmesi gereken bir diğer zorlanma koşulu ise deprem tepki spektrumu ile belirli sismik koşullardır. Çizelge 5.7, elde edilen yeni dış mekân kabininin sismik koşullara göre tekrar edilen analiz sonuçlarını

göstermektedir.

Çizelge 5.6 İyileştirmeyele elde edilen dış mekân kabini için y ve z yönlü tahrikle harmonik titreşim analizi sonuçları

Parça	No	Akma Gerilmesi (MPa)	y yönü tahrik				z yönü tahrik			
			Başlangıç		Optimize Model		Başlangıç		Optimize Model	
			Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı
Baza	1	207	157,840	1,311	98,518	2,101	60,315	3,432	47,494	4,358
Ön Sağ Köşe Profili	2	207	26,339	7,859	16,847	12,287	5,953	34,770	5,327	38,862
Ön Sol Köşe Profili	3	207	30,163	6,863	31,099	6,656	11,782	17,569	10,902	18,987
Arka Sağ Köşe Profili	4	207	30,824	6,716	15,959	12,971	4,002	51,720	4,101	50,480
Arka Sol Köşe Profili	5	207	25,381	8,156	17,963	11,524	3,412	60,668	4,514	45,855
Çatı	6	207	29,761	6,955	64,641	3,202	14,250	14,526	18,170	11,392
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	207	13,266	15,604	12,766	16,215	14,807	13,980	19,923	10,390
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	207	12,331	16,787	11,649	17,770	17,947	11,534	14,738	14,045
Sağ Yan Panel	9	280	10,775	25,986	31,345	8,933	1,936	144,606	3,177	88,142
Arka Panel	10	280	5,019	55,785	3,677	76,155	2,266	123,571	1,996	140,295
Sol Yan Panel	11	280	7,635	36,671	15,650	17,891	1,780	157,303	2,281	122,748
Kapı Paneli	12	280	17,122	16,353	18,696	14,976	0,898	311,683	0,836	334,876
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	207	8,376	24,715	8,507	24,333	3,010	68,764	2,863	72,309
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	207	7,929	26,108	12,904	16,042	3,491	59,290	3,157	65,573
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	207	7,682	26,945	7,435	27,841	3,976	52,062	3,397	60,938
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	207	7,340	28,202	8,628	23,992	2,943	70,341	4,806	43,072
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	207	8,700	23,794	9,008	22,979	3,517	58,862	4,497	46,033
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	207	6,530	31,698	8,438	24,531	4,080	50,742	4,420	46,833
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	207	15,466	13,384	17,828	11,611	2,607	79,417	2,352	88,018
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	207	14,876	13,915	15,352	13,484	3,502	59,109	2,835	73,011
Üst Menteşe Pimi	21	207	3,985	51,949	3,720	55,644	1,881	110,071	1,955	105,888
Orta Menteşe Pimi	22	207	3,373	61,377	5,134	40,323	1,719	120,426	1,862	111,177
Alt Menteşe Pimi	23	207	2,902	71,337	3,179	65,109	2,017	102,628	2,214	93,504
Kilit Altı Dikey Tiji	24	207	13,085	15,820	12,849	16,110	2,793	74,124	2,581	80,205
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	207	14,757	14,027	17,474	11,846	2,264	91,439	1,892	109,396
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	207	12,354	16,756	11,118	18,618	8,713	23,758	7,978	25,946

Şekil 4.27 ile x yönü harmonik tahrik sonucu dış mekân elektronik cihaz kabini oluşturulan parçalar üzerinde gerçekleşen en büyük eş değer gerilmelerin parçalar bazında sıralaması görülmektedir. İyileştirme çalışmaları kapsamında et kalınlıkları değiştirilerek elde edilen yeni yapının Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6 ile verilen harmonik analiz sonuçlarının en büyük eş değer gerilmeleri gösteren kısımları incelendiğinde, yeni oluşan sıralamanın Şekil 4.27 ile verilen sıralamadan daha farklı olduğu görülür. Buradan hareketle, et kalınlıkları değiştirilerek elde edilen yeni yapının gerilme dağılımı karakteristiklerinin başlangıç modele göre çok farklı olduğu sonucuna ulaşılır. Nitekim en büyük eş değer gerilme değerleri sıralamasındaki bu değişimin nasıl geliştiği, Çizelge 5.5 ile verilen iyileştirme adımlarıyla birlikte sıralamaların değişimi incelenerek daha açık bir şekilde anlaşılabilir.

Çizelge 5.7 İyileştirmeye elde edilen dış mekân kabının deprem tepki spektrumu analizi sonuçları

Parça	No	Akma Gerilmesi (MPa)	Deprem spektrumu tahrik yönleri							
			x yönü		y yönü		z yönü		3 yönlü (x, y, z)	
			Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı
Baza	1	207	33,690	6,144	33,380	6,201	5,032	41,141	41,827	4,949
Ön Sağ Köşe Profili	2	207	17,830	11,610	6,938	29,837	1,899	108,993	19,001	10,894
Ön Sol Köşe Profili	3	207	24,397	8,485	10,534	19,651	1,475	140,310	25,708	8,052
Arka Sağ Köşe Profili	4	207	9,923	20,861	5,485	37,741	1,633	126,768	11,271	18,366
Arka Sol Köşe Profili	5	207	12,154	17,031	7,334	28,224	1,934	107,021	14,225	14,552
Çatı	6	207	13,663	15,150	34,978	5,918	12,383	16,716	36,142	5,727
Sağ Cihaz Taşıyıcı	7	207	19,461	10,637	6,735	30,735	7,506	27,576	20,648	10,025
Sol Cihaz Taşıyıcı	8	207	21,390	9,677	5,376	38,502	10,395	19,913	22,009	9,405
Sağ Yan Panel	9	280	7,967	35,146	10,143	27,605	1,570	178,310	12,969	21,590
Arka Panel	10	280	2,676	104,626	1,714	163,332	1,168	239,685	3,012	92,974
Sol Yan Panel	11	280	2,788	100,445	8,210	34,105	0,953	293,846	8,704	32,171
Kapı Paneli	12	280	7,897	35,458	29,246	9,574	3,373	83,005	30,469	9,190
Üst Menteşe Kapı Parçası	13	207	3,417	60,581	5,372	38,535	0,475	436,129	6,300	32,860
Orta Menteşe Kapı Parçası	14	207	5,353	38,670	10,249	20,197	1,212	170,792	11,839	17,485
Alt Menteşe Kapı Parçası	15	207	9,621	21,515	5,402	38,320	0,811	255,124	9,738	21,257
Üst Menteşe Gövde Parçası	16	207	8,233	25,144	5,667	36,528	0,543	381,215	8,563	24,174
Orta Menteşe Gövde Parçası	17	207	7,800	26,540	5,991	34,552	0,760	272,290	9,232	22,423
Alt Menteşe Gövde Parçası	18	207	23,973	8,635	6,439	32,150	1,218	169,993	24,184	8,559
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	19	207	3,478	59,512	10,753	19,250	0,992	208,648	11,261	18,382
Kilit Altı Tij Kılavuzu	20	207	10,316	20,066	6,737	30,724	0,962	215,101	12,359	16,749
Üst Menteşe Pimi	21	207	2,434	85,045	2,703	76,593	0,241	860,385	3,672	56,369
Orta Menteşe Pimi	22	207	3,703	55,908	3,503	59,089	0,402	514,708	5,198	39,820
Alt Menteşe Pimi	23	207	4,904	42,215	3,085	67,097	0,524	395,355	5,841	35,442
Kilit Altı Dikey Tiji	24	207	9,010	22,974	5,064	40,879	0,934	221,675	10,289	20,119
Kilit Üstü Dikey Tiji	25	207	4,542	45,579	11,798	17,545	1,306	158,548	12,611	16,414
Kilit Yanı Yatay Tiji	27	207	14,891	13,901	6,763	30,607	0,667	310,312	15,387	13,453

Çizelge 5.7 incelendiğinde iyileştirilen yeni dış mekân kabının sismik koşullar altında da eş değer gerilmeler açısından emniyetli olduğunu ortaya koymaktadır.

5.3 İyileştirme Sonuçları ve Değerlendirmeler

İyileştirme analizleriyle hesaplanan değerlerden ve her bir adım için değiştirilen et kalınlıklarından anlaşıldığı gibi, “baza” parçasının eş değer gerilmesi kendi et kalınlığı arttırılmadan emniyetli sınırlar içerisine alınmıştır. Nitekim daha önce tecrübe edilen analiz sonuçları doğrultusunda, diğer parçaların et kalınlıklarındaki azalmanın “baza” parçasının eş değer gerilmesini düşüreceği beklenmekteydi. Çizelge 5.5’den anlaşılacağı gibi, “baza” parçası hariç diğer parçaların et kalınlıkları minimum seviyeye çekilerek malzeme maliyeti azaltılmıştır.

“Çatı”, “sağ yan panel”, “arka panel” ve “sol yan panel” gibi hacimce büyük ve yerden yüksek parçaların et kalınlığındaki azalmalar, titreşim sırasında “baza” üzerindeki bağlantı

noktaları civarında gerçekleşen eş değer gerilmeleri de azaltmıştır (Şekil 4.26 ile gösterilen sistemde olduğu gibi).

Sonuç olarak Çizelge 5.5'in 3. ve son adımında belirtilen et kalınlığı değerleriyle, bu çalışma kapsamında değerlendirilen uluslararası standartların belirttiği mekanik koşullara uygun ve malzeme maliyeti azaltılmış bir dış mekân elektronik cihaz kabini tasarımı elde edilmiştir.

Çizelge 5.8 Malzeme fiyatları ile ilgili parametreler (25.05.2010)

Parametre	Birim	Değer
Alaşımli alüminyum fiyatı ¹⁾	\$/ton	1855
Paslanmaz çelik fiyatı ²⁾	£/ton	2805
\$/TL kuru ³⁾		1.592
£-TL kuru ³⁾		1.946
1) www.lme.com		
2) www.meps.co.uk		
3) www.tcmb.gov.tr		

Çizelge 5.8 ile verilen parametreler kullanılarak, iyileştirilmiş dış mekân kabini ile başlangıçta tasarlanan kabin arasında levha malzeme maliyeti karşılaştırması Çizelge 5.9 ile verilmiştir.

Çizelge 5.9 İyileştirilmeyle sağlanan levha malzeme maliyeti düşümü

Parça	Malzeme	Birim Fiyat (TL/kg)	Et Kalınlığı	Yoğunluk (kg/m ³)	Kütle (kg)	Malzeme Maliyeti (TL)	Et Kalınlığı	Yoğunluk (kg/m ³)	Kütle (kg)	Malzeme Maliyeti (TL)		
Baza	P. Çelik	5,45	2	7750	12,271	66,88	2	7750	12,271	66,88		
Kapı Paneli	A. Alüminyum	3,15	3	2684	6,633	20,89	3	2684	6,633	20,89		
Ön Sağ Köşe Profili	P. Çelik	5,45	2	7750	3,248	17,70	2	7750	3,248	17,70		
Ön Sol Köşe Profili	P. Çelik	5,45	2	7750	3,255	17,74	2	7750	3,255	17,74		
Arka Sağ Köşe Profili	P. Çelik	5,45	2	7750	3,248	17,70	2	7750	3,248	17,70		
Arka Sol Köşe Profili	P. Çelik	5,45	2	7750	3,248	17,70	2	7750	3,248	17,70		
Çatı	P. Çelik	5,45	2	7750	10,342	56,36	1	7750	5,171	28,18		
Sağ Cihaz Taşıyıcı	P. Çelik	5,45	2	7750	2,250	12,26	1	7750	1,125	6,13		
Sol Cihaz Taşıyıcı	P. Çelik	5,45	2	7750	2,250	12,26	1	7750	1,125	6,13		
Sağ Yan Panel	A. Alüminyum	3,15	3	2684	7,110	22,40	1	2684	2,370	7,47		
Arka Panel	A. Alüminyum	3,15	3	2684	7,110	22,40	1	2684	2,370	7,47		
Sol Yan Panel	A. Alüminyum	3,15	3	2684	7,110	22,40	1	2684	2,370	7,47		
Kilit Üstü Tij Kılavuzu	P. Çelik	5,45	2	7750	0,036	0,20	2	7750	0,036	0,20		
Kilit Altı Tij Kılavuzu	P. Çelik	5,45	2	7750	0,036	0,20	2	7750	0,036	0,20		
					TOPLAM	68,147	307,08			TOPLAM	46,506	221,84

Çizelge 5.9'da hesaplandığı gibi levha malzeme maliyeti toplamı 307,08 TL'den %27,8'lik düşümle 221,84 TL olarak iyileşmiştir. Maliyetin bu verimli düşümü, kapladıkları alanlar görece büyük olan kapama panellerinin et kalınlığının azaltılabilmesi ile mümkün olmuştur.

5.4 Genel Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Dış mekân elektronik cihaz kabinlerine yönelik yapılan bu çalışmada mekanik zorlama koşullarının, örnek teşkil edecek şekilde tasarlanan bir kabine etkilerini araştırmak için günümüzün popüler mühendislik aracı olan sonlu elemanlar yöntemi kullanıldı. Sayısal niteliği sürekli değişen zorlanma koşullarına karşın sonlu elemanlar yönteminin, tutarlı ve yol gösterici sonuçlarıyla, başarılı ve maliyet – kalite dengesine sahip mühendislik tasarımlarına nasıl katkıda bulunabileceği gözlenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle, doğal frekans analizlerinden (modal analysis) burkulma analizlerine (buckling analysis), statik yük analizlerinden (static analysis) harmonik titreşim analizlerine (harmonic response analysis) kadar çok geniş bir yelpazede araştırma yapılabilir.

Daha önce ulaşılan sonuçların tümü, dış mekân veya i mekânlarda herhangi bir amaçla kullanılan diğer tüm kabinler için geçerli niteliktedir. evre kaynaklı harmonik veya deprem kaynaklı rastgele olsun, bir kabinin maruz kaldığı titreşimler yere bağlantı noktaları civarında en büyük gerilmeleri meydana getirmektedir. Bu nedenle tasarım yapan bir mühendisin söz konusu bağlantı noktaları civarında parçalar üzerinde meydana gelecek eş değer gerilmeleri azaltacak – malzeme et kalınlığını arttırmak veya malzeme cinsini değiştirmek gibi – konstrüktif önlemler almalıdır. Ayrıca, yine bu gerilmeleri düşük seviyede tutabilmek için, bağlantı noktalarından görece uzak konstrüksiyon parçalarının mümkün olduğunca hafif kalması hedeflenmelidir. Başka bir deyişle yapının ağırlık merkezinin mümkün olduğunca bağlantı noktalarına yakın olması sağlanmalıdır.

Araştırmaya konu dış mekân elektronik cihaz kabinine uygulanan mekanik koşullar altında elde edilen sonuçlardan anlaşıldığı gibi, harmonik zorlanma koşullarının frekansındaki değişimler meydana getirdiği eş değer gerilmelerdeki değişimlerle yakından ilişkilidir. Dış mekân veya iç mekân kabini olsun, titreşime maruz ortamlarda kullanılan elektronik cihaz kabinlerinin karşılacağı harmonik zorlanma koşullarının frekansı sağlıklı bir şekilde tahmin edilmelidir. Özellikle gemi, uçak veya kara taşıtlarında kullanılan elektronik cihaz kabinleri sürekli titreşime maruz kalırlar. Bu ortamlarda meydana gelen frekanslar tahmin edilerek, elektronik cihaz kabini tasarımlarında titreşim şartları dikkate alınmalıdır.

Bu araştırmada olduğu gibi sonlu elemanlar yöntemi, araç olarak kullanıldığı tasarımlarda prototip üretim sürelerini ve maliyetlerini düşürüp ürün geliştirme çalışmalarına etkin bir şekilde kılavuzluk edebilir. Sonlu elemanlar yönteminin verdiği sonuçların doğruluğunu arttıran yaklaşımlar geliştirildikçe sonlu elemanlar yönteminin mühendislik analizlerinde kullanılması daha da yaygınlaşacaktır.

5.5 Öneriler

Bu çalışmada dış mekân kabinlerinin maruz kalabileceği mekanik zorlanma koşullarından bazıları incelenmiştir. Günümüzde kullanılan elektronik cihaz güç kapasitelerinin artması ile birlikte dış mekân kabinlerinin termal yönetimi de büyük önem kazanmıştır. Bu çalışmada yapılmış olan mekanik analizlere ek olarak termal analizleri gerçekleştirecek ve iyileştirilecek bir dış mekân kabin tasarımı yapılabilir.

Dış mekân kabinleri içerisinde kullanılan cihazlar, kütleleri nedeniyle mekanik zorlanma koşullarında dış mekân elektronik cihaz kabini konstrüksiyonuna değişik şekillerde etkiyebilir. Bu cihazların kütleleri, ebatları ve cihaz taşıyıcılar üzerindeki konumlarının yüksekliği mekanik zorlanma koşullarında farklı etkiler yaratacaktır. Kütlesi ve ebatları büyük, konumu yüksek olan cihazlar mekanik zorlanma koşullarında yaratacağı ataletle kabin üzerindeki eş değer gerilmeleri arttırıcı yönde etki gösterecektir. Kütlesi ve ebatları küçük olan cihazlar ise vidalı bağlantıları ile kabin içerisinde konstrüktif elemanlar gibi davranacak ve sistemin rijitliğini arttıracaktır. Buradan hareketle, dış mekân kabinlerinin tasarımında kullanılacak cihazların yüklü durumu göz önüne alınarak yapılacak mekanik analizlerin, ürün tasarımları açısından daha anlamlı olduğu sonucuna ulaşabiliriz. Bu çalışmada yüksüz bir kabin analizi yapılmış ve incelenecek yüklü sistemler için bir yol haritası çizilmiştir.

KAYNAKLAR

Agonafer, D., Hendrix, M., Mariam, F.A.I., Mulay, V., Raju, U. ve Sivanandan, D., “Thermal Design Considerations of Air-Cooled High Powered Telecommunication Cabinets”, 25th Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, 15-19 Mar.2009, San Jose, 222-227.

Adams, V. ve Askenazi, A., (1999), Building Better Products with Finite Element Analysis, Onword Press, Santa Fe.

Bathe, K.J., (1996), Finite Element Procedures in Engineering Analysis, Prentice Hall Inc., New Jersey.

Chandrupatla, T.R. ve Belegundu, A.D., (1991), Introduction to Finite Elements in Engineering, Prentice Hall, New Jersey.

Colwell, G.T., Hegab, H.E. ve Zimmerman E.B., (2002), “Thermal management of outdoor electronic cabinets using soil heat exchangers”, Journal of Electronic Packaging, 124:7-11.

Coyne, J. C., (1982), “Approximate Thermal Model for Outdoor Electronics Cabinets”, The Bell System technical journal, 61:227-246.

ETSI, (2003a), ETSI EN 300 019-1-0 Classification of Environmental Conditions, European Telecommunications Standards Institute, Cedex.

ETSI, (2003b), ETSI EN 300 019-1-4 Classification of Environmental Conditions – Stationary Use at Non-weather Protected Locations, European Telecommunications Standards Institute, Cedex.

ETSI, (2004), ETSI EN 300 119-4 Engineering Requirements for Subracks in Miscellaneous Racks and Cabinets, European Telecommunications Standards Institute, Cedex.

Ezekoye, O.A., Vidacovich, K.J. ve Zhang, Z., (1998), “Global and Local Analysis of Sealed Outdoor Electronics Cabinets”, American Society of Mechanical Engineers (ASME) Heat Transfer Division publication HTD, 357-4:181-192.

Fagan, M.J., (1992), Finite Element Analysis, Longman Scientific and Technical, Essex.

IEC, (1987a), IEC 60721-2-1 Environmental Conditions Appearing in Nature – Temperature and Humidity, International Electrotechnical Commission Central Office, Geneva.

IEC, (1987b), IEC 60721-2-7 Environmental Conditions Appearing in Nature – Fauna and Flora, International Electrotechnical Commission Central Office, Geneva.

IEC, (1988), IEC 60721-2-2 Environmental Conditions Appearing in Nature – Precipitation and Wind, International Electrotechnical Commission Central Office, Geneva.

IEC, (1990), IEC 60721-2-6 Environmental Conditions Appearing in Nature – Earthquake Vibration and Shock, International Electrotechnical Commission Central Office, Geneva.

IEC, (1991), IEC 60721-2-5 Environmental Conditions Appearing in Nature – Dust, Sand, Salt Mist, International Electrotechnical Commission Central Office, Geneva.

IEC, (1996), IEC 60721-3-4 Classification of Groups of Environmental Parameters and Their Severities Section 4: Stationary Use at Non-Weatherprotected Locations, International Electrotechnical Commission Central Office, Geneva.

Ishizuka, M. ve Kitamura, Y., (2003), "Studies On Natural Convection - Induced Flow and Thermal Behaviour Inside Electronic Equipment Cabinet Model", Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part A – Journal of Power and Energy, 217:323-328.

Liu, Y. ve Zhang, L.D., (2007), "The modal analysis of the electronic equipment cabinet structure", Proceedings of the 26th Chinese Control Conference, 26-31 Jul.2007, Zhangjiajie, 5:464-467.

Moaveni, S., (1999), Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS, Prentice Hall Inc., New Jersey.

Segerlind, L.J., (1984), Applied Finite Element Analysis, John Wiley and Sons Inc., New York.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	31.08.1985	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1999-2003	Ümraniye Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi
Lisans	2003-2007	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2008-2010	Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Makine Teorisi ve Kontrol Programı
Çalıştığı Kurumlar		
	2007-Devam Ediyor	Gürsaş Elektronik Cihaz Kutuları LTD.ŞTİ.