

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ASMA GERME SİSTEMLERİN
UYGULANDIĞI ENDÜSTRİYEL YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Musa ÜZER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

EKİM 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ASMA GERME SİSTEMLERİN
UYGULANDIĞI ENDÜSTRİYEL YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Musa ÜZER
(501111062)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kasım Armağan KORKMAZ

EKİM-2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111062 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Musa ÜZER**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“ASMA GERME SİSTEMLERİN UYGULANDIĞI ENDÜSTRİYEL YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Kasım Armağan KORKMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Gülay ALTAY**
Boğaziçi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Barlas Özden ÇAĞLAYAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **09 Temmuz 2015**

Eşime ve Aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında engin bilgi ve tecrübesiyle her konuda yardımını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Kasım Armağan KORKMAZ'a ve öğrenim hayatım boyunca üzerimde emeği bulunan tüm hocalarıma teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Ayrıca, her zaman yanımda olan aileme ve bana verdiği destekten dolayı eşime sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mayıs 2015

Musa ÜZER
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç.....	2
1.2 Kapsam.....	3
1.3 Yöntem.....	3
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	5
3. ASMA GERME SİSTEMLER.....	9
3.1 Tanım.....	9
3.2 Tarihi.....	10
3.3 Temel Kavramlar.....	17
3.4 Sistem Mekanizması.....	18
3.5 Sınıflandırma.....	19
3.6 Form Bulma Yöntemleri.....	29
3.7 Statik Analiz ve Dizayn.....	30
4. ÖRNEK ÇALIŞMA.....	35
4.1 Yapısal Modelleme.....	35
4.2 Çalışma Modelleri ve Özellikleri.....	39
4.3 Malzeme ve Kesit Özellikleri.....	40
4.4 Yapıya Etkiyen Yükler.....	48
4.5 Yapıya Etkiyen Deprem Yükleri.....	49
4.6 Hesap Esasları ve Analiz Yöntemleri.....	51
4.7 Artımsal Statik İtme Analizi.....	51
4.8 Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz.....	55
5. ANALİZ SONUÇLARI.....	57
5.1 Statik İtme Analiz Sonuçları.....	57
5.2 Zaman Tanım Alanı Analiz Sonuçları.....	68
5.3 Analiz Sonuçlarının Kıyaslanması.....	79
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR.....	106
ÖZGEÇMİŞ.....	110

KISALTMALAR

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEMA	: Federal Acil Yönetim Teşkilatı-ABD
PEER	: Pacific Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi
TS	: Türk Standardları

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Analizlerde kullanılan modeller	36
Çizelge 4.2 : Analizlerde kullanılan deprem verileri	50

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Basit bir asma germe hücre kuvvet akışı.	9
Şekil 3.2 : Fuller'in, elinde geliştirdiği asma germe küre	10
Şekil 3.3 : Snelson'un yaptığı heykel "Needle Tower"	11
Şekil 3.4 : Snelson'un Northwood çalışması	12
Şekil 3.5 : Geiger'in tasarladığı kubbe	13
Şekil 3.6 : Fuller ve Geiger'in halatlı kubbe sistemleri	14
Şekil 3.7 : Atlanta Georgia Dome	14
Şekil 3.8 : Atlanta Georgia Dome Kesitler.	15
Şekil 3.9 : Kurilpa Köprüsü.	16
Şekil 3.10 : Basit asma germe sistem üç çubuk	20
Şekil 3.11 : Asma germe sistem dört çubuk.	20
Şekil 3.12 : Tek tabakalı bir ağ model altıgen.	21
Şekil 3.13 : Basit Asma Germe Modeller.	22
Şekil 3.14 : Tek Tabakalı bir Ağ Model sekizgen.....	23
Şekil 3.15 : İki Tabakalı bir Ağ Model	24
Şekil 3.16 : İki Tabakalı bir Kubbe Ağ Modeli	24
Şekil 3.17 : Çatı Model, Robert Le Ricolais.....	25
Şekil 3.18 : Çapraz Asma Germe Model	26
Şekil 3.19 : V Şekilli Ağ Model.....	28
Şekil 3.20 : V Şekilli Ağ Model Üç Çubuklu	29
Şekil 3.21 : Korkmaz ve Nuhoglu Örnek Analiz Modeli	31
Şekil 3.22 : Quirant ve arkadaşlarının Örnek Analiz Modeli	32
Şekil 3.23 : Asma Germe Tasarım Yöntemi.....	33
Şekil 4.1 : Modellenen Endüstriyel Yapı Kesiti	35
Şekil 4.2 : Modellenen Endüstriyel Yapı.....	36
Şekil 4.3 : Model 1 Yanal Olarak Serbest Sistem.....	37
Şekil 4.4 : Model 2 Çelik Çaprazlı Sistem.....	37
Şekil 4.5 : Model 3 Dolgu Duvarlı Sistem	38
Şekil 4.6 : Model 4 Halatlı Sistem.	38
Şekil 4.7 : Model 4 Halatlı Sistem Plan ve Kesit.....	39
Şekil 4.8 : S235JR Malzeme Özellikleri.....	41
Şekil 4.9 : Moment aktarmama Özelliği.	42
Şekil 4.10 : Dolgu Duvarlı Çerçeve Modeli.	43
Şekil 4.11 : Yapıda Dolgu Duvar Gösterimi.....	43
Şekil 4.12 : SAP2000'de Dolgu Duvar Gösterimi.	44
Şekil 4.13 : Harman Tuğla Malzeme Özellikleri.	46
Şekil 4.14 : Halat Malzeme Özellikleri.	47
Şekil 4.15 : SAP2000'de Halat Özellikleri.	48
Şekil 4.16 : SAP2000'de Analiz Seçenekleri	52
Şekil 4.17 : SAP2000'de Statik İtme analiz seçenekleri.	53
Şekil 4.18 : İtme Şekli ve Çatı Yer Değiştirmesi-Taban Kesme Kuvveti.	53

Şekil 4.19 : Doğrusal olmayan analizde kullanılan statik yaklaşım	54
Şekil 4.20 : Zaman tanım alanında dinamik analiz	55
Şekil 4.21 : Zaman tanım alanında analiz yük tanımı	56
Şekil 5.1 : Model 1 Statik İtme Analizi.....	58
Şekil 5.2 : Model 2 Statik İtme Analizi.....	59
Şekil 5.3 : Model 3 Statik İtme Analizi.....	60
Şekil 5.4 : Model 4 Statik İtme Analizi.....	61
Şekil 5.5 : Model 4.1 Statik İtme Analizi.....	62
Şekil 5.6 : Model 4.2 Statik İtme Analizi.....	63
Şekil 5.7 : Model 4.3 Statik İtme Analizi.....	64
Şekil 5.8 : Model 4.4 Statik İtme Analizi.....	65
Şekil 5.9 : Model 4.5 Statik İtme Analizi.....	66
Şekil 5.10 : Model 4.6 Statik İtme Analizi.....	67
Şekil 5.11 : Model 1 Zaman Tanım Alanında Analizi	69
Şekil 5.12 : Model 2 Zaman Tanım Alanında Analizi	70
Şekil 5.13 : Model 3 Zaman Tanım Alanında Analizi	71
Şekil 5.14 : Model 4 Zaman Tanım Alanında Analizi	72
Şekil 5.15 : Model 4.1 Zaman Tanım Alanında Analizi	73
Şekil 5.16 : Model 4.2 Zaman Tanım Alanında Analizi	74
Şekil 5.17 : Model 4.3 Zaman Tanım Alanında Analizi	75
Şekil 5.18 : Model 4.4 Zaman Tanım Alanında Analizi	76
Şekil 5.19 : Model 4.5 Zaman Tanım Alanında Analizi	77
Şekil 5.20 : Model 4.6 Zaman Tanım Alanında Analizi	78
Şekil 5.21 : Model 1 ve Model 4 Statik İtme Analizi	80
Şekil 5.22 : Model 2 ve Model 4 Statik İtme Analizi	81
Şekil 5.23 : Model 3 ve Model 4 Statik İtme Analizi	82
Şekil 5.24 : Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 Statik İtme Analizi.....	83
Şekil 5.25 : Model 4.1 ve Model 4 Statik İtme Analizi	84
Şekil 5.26 : Model 4.2 ve Model 4 Statik İtme Analizi	85
Şekil 5.27 : Model 4.3 ve Model 4 Statik İtme Analizi	86
Şekil 5.28 : Model 4.4 ve Model 4 Statik İtme Analizi	87
Şekil 5.29 : Model 4.5 ve Model 4 Statik İtme Analizi	88
Şekil 5.30 : Model 4.6 ve Model 4 Statik İtme Analizi	89
Şekil 5.31 : Model 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 ve Model 4 Statik İtme Analizi.....	90
Şekil 5.32 : Model 1 ve Model 4 Zaman Tanım Alanında Analizi	91
Şekil 5.33 : Model 2 ve Model 4 Zaman Tanım Alanında Analizi	92
Şekil 5.34 : Model 3 ve Model 4 Zaman Tanım Alanında Analizi.....	93
Şekil 5.35 : Model 4 ve Model 4.1 Zaman Tanım Alanında Analizi.....	94
Şekil 5.36 : Model 4 ve Model 4.2 Zaman Tanım Alanında Analizi.....	95
Şekil 5.37 : Model 4 ve Model 4.3 Zaman Tanım Alanında Analizi.....	96
Şekil 5.38 : Model 4 ve Model 4.4 Zaman Tanım Alanında Analizi.....	97
Şekil 5.39 : Model 4 ve Model 4.5 Zaman Tanım Alanında Analizi.....	98
Şekil 5.40 : Model 4 ve Model 4.6 Zaman Tanım Alanında Analizi.....	99

ASMA GERME SİSTEMLERİN UYGULANDIĞI

ENDÜSTRİYEL YAPILARIN

DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ÖZET

Çelik yapılarda, kütlenin az olması nedeniyle, yanal kuvvetler sistemler üzerinde düşey kuvvetlerden daha etkili olabilmektedir. Yanal kuvvetler çelik yapılarda görelî kat ötelemeleri oluşturmaktadır. Çelik yapılar ile ilgili çeşitli yönetmeliklere göre, görelî kat ötelemeleri belirli bir limit değerin altında kalmalıdır. Yanal yer değiştirmelerin belli değerlerin altında kalması için çelik yapılar tasarlanırken, çelik çapraz elemanlar, dolgu duvarlar gibi yanal yer değiştirmeleri tutan elemanlar sistemlere eklenmektedir.

Çelik çapraz elemanlar, endüstriyel yapılarda oldukça yaygın olarak kullanılan sistemlerden biridir. Çelik çapraz elemanlar yapının inşasında yapısal uygulama kolaylıkları nedeniyle yoğunluklu olarak tercih edilmektedir. Çelik çapraz elemanlar genellikle kapı, pencere gibi boşlukların bulunduğu düzensizlik durumları için de tercih edilmektedir. Yapı sisteminde çelik çapraz elemanlar diğer kolon ve kiriş gibi elemanlarla aynı malzemeden olması dolayısıyla da yaygın olarak tercih edilmektedir. Çelik çaprazlar hem basınca hem de çekmeye çalışan yapı elemanlarıdır. Çelik çapraz elemanlar basınç etkisinde burkulmaya maruz kalmaktadır.

Dolgu duvarlar, sistemin dış etkenlerden korunması gerekliliği hallerde tercih edilmektedir. Dolgu duvarlarda, kolon aralıklarının tümü dolgu duvar ile örülmektedir. Dolgu duvarlar tam dolu akslardan oluştuğu için yanal rijitliği çelik çaprazlara göre daha yüksek olmaktadır. Dolgu duvarlar iç hacimlerin dış etkilerden korunması görevini de üstlenmektedir. Dolgu duvarlar sadece basınç etkisi altında çalışan yapı elemanlarıdır.

Asma Germe sistemler, halatların çekmeye çalıştırılarak kullanıldığı, kendi içinde dengede olan sistemlerdir. Asma germe sistemlerde yanal kuvvetler halatlar aracılığıyla tutulmaktadır. Halat sistemler sadece çekme etkisi altında çalışan elemanlardır. Asma Germe sistemler yaklaşık olarak elli yıllık geçmişi olan sistemlerdir. Bu sistemler henüz ülkemizde pek yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Bu tez çalışmasında, asma germe sistemlerin endüstriyel yapılarda kullanımını araştırmak üzere, çelik bir endüstriyel yapısı ele alınmış, ele alınan yapı SAP2000 sonlu elemanlar programı ile modellenmiştir. Ele alınan model farklı düzenlemelerle, çaprazsız, çelik çaprazlı, dolgu duvarlı ve halatlı olarak analizler gerçekleştirilmiş ve analizlerde elde edilen sonuçlar detaylı olarak değerlendirilmiştir.

Altı bölümden oluşan tez çalışmasının birinci bölümü, giriş bölümü olup, konunun açıklanmasına ayrılmış, çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, kaynak özetleri ve daha önce yapılan çalışmalar ile bilgiler yer almaktadır.

Üçüncü bölümde, asma germe sistemlerin tanımı, çalışma prensipleri, uygulama alanları, analiz yöntemleri ve bu konuda yapılan çalışmalar yer almaktadır.

Dördüncü bölümde, yapılan modellemeler ile ilgili analiz ve modelleme esasları yer almaktadır. Ayrıca, modellerde kullanılan malzemelerin özellikleri, kullanılan kesitler, yığma duvar modelleme hesapları, deprem verileri bu bölümde yer almaktadır.

Beşinci bölümde, analiz sonuçlarının grafiksel gösterimi yer almaktadır. Grafiklerde her bir modelin statik itme analizi ve zaman tanım alanında analiz sonuçları ile diğer modellerle yapılan modellerin kıyaslanması grafikleri verilmiştir.

Altıncı bölümde, analiz sonuçları irdelenmiş ve değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların yorumları bu bölümde yer almaktadır.

EARTHQUAKE BEHAVIOR INVESTIGATION OF INDUSTRIAL STRUCTURES WITH TENSEGRITY SYSTEMS

ABSTRACT

Cost of steel structures is a function of steel weight. Two main costs are important for steel structures. One of them is manufacturing costs and the other is installation costs. An important consideration in installation costs is the crane. Due to the large and heavy assemblies, the cost of the crane is high. Crane costs may have a major affect on the total cost. Different steel systems are proposed for different structural systems by engineers to reduce the cost of structures. For example, truss systems and space trusses are more economical comparing to frame systems for longer spanned structures.

Mass is a primary concern in calculating earthquake loads. The mass of the structure comprises the system self weight and a certain percentage of live loads. Live loads are standard for structures and it can't be reduced. Earthquake loads can be reduced when self weight of structures are minimized. Earthquake loads are directly proportional to the mass value. When mass value is expanded, that means earthquake loads are expanded for structure. Increased earthquake loads requires larger column and beam section profiles. Larger profiles causes heavier steel and that affects the cost of the structure directly.

In steel structures, lower mass for lateral forces is more effective comparing to vertical forces on the system. Lateral forces creates relative displacements between storeys. According to steel structure codes, relative displacements must stay within a specified limit. The steel codes restrict relative displacements. In keeping lateral displacement in limits, designers add steel diagonals or masonry walls to the structures.

“I” steel profiles’ load carrying capacity is negligible at the weak direction, so at the weak direction, profiles should be supported. Steel systems are not stable at the weak direction. The solution is to support the systems. Generally, steel diagonal and masonry walls are preferred in such solutions.

Steel diagonal frames are one of the most common systems for industrial structures. Steel diagonals are preferred since the same materials are used for consistency in the structures. Generally, steel diagonals are used for irregular structures and axes which includes windows, doors and holes.

Masonry wall systems are preferred to protect the structures from differences in internal and external temperatures and other effects. The area between the external axes columns are walled, so this results improved lateral stiffeners than steel diagonal systems.

Tensegrity systems are the cables which are under tension. Tensegrity is composed of the words tension and integrity. Tensegrity structures are balanced systems under compression and tension forces. Tensegrity systems should be geometrically uniform systems. Tensegrity structures should be a particular shape of form. There are several kinds of formfinding ways for tensegrity structures.

In this study, an industrial steel structure is modelled for investigation of earthquake implementation of tensegrity systems. The industrial steel structure is modelled by finite element method program. For analysis of systems, SAP2000 software program is used. SAP2000 software is common universally and is used to back up theoretical calculations.

For lateral stiffeners, the industrial steel structure is modelled in four different types. All models are designed with the same standards, using the same material, columns, beams and brace profiles. Loads are the same for each model and without the lateral frame, all cases are the same.

In the first model, Model 1 is without any lateral stiffeners. Model 2 is with steel diagonal. Model 3 uses masonry and Model 4 uses cable systems. Model 4 is changed for different cable cases. Model 4.1 and 4.2 have different cable diameters than Model 4. Model 4.3 and 4.4 have the same cable diameters as Model 4, but pretension forces are different. Model 4.5 and 4.6 have the same cable diameters as Model 4, but the number of diagonal cables are increased.

The aim of this study focuses on cable systems. Four different systems are analyzed and the results are compared and discussed. Cable systems are compared with the steel diagonal, masonry system and bare model. Model 4 is compared with Models 1, 2 and 3. Model 4 is compared with Models 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 and 4.6. The results of comparisons are illustrated with graphs.

There are six chapters in this thesis. The first chapter includes the introduction, explanation of thesis, thesis aim and scope. In this chapter, thesis is summarized.

The second chapter includes literature review summaries and information about topic. In this chapter previous studies are considered. Calculation steps, load combinations and new analyses for tensegrity systems are discussed at this chapter.

In the third chapter, aim focuses on the tensegrity systems. Tensegrity structures, principles, applications, analysis methods and previous studies are given. Tensegrity backgrounds and history are explained.

The fourth chapter is about the case study and model analysis. It provides analysis information, structure of models' properties, material properties, profile sections, masonry wall calculation and earthquake statistics are given in this chapter.

All models analyzed with two different cases. The first analysis is pushover analysis and second is time history analysis. For pushover analysis, 1000 N load assigned beam-column connection joint at all axes, system displacement and base shear force is controlled step by step.

For time history analysis, twenty different earthquakes are selected from the PEER database. PGA value is the most important criteria for selecting earthquakes. Generally, large scale PGA earthquakes are preferred. Seismic response modification factor R is 1. Models are analysed using an elastic analysis case.

The fifth chapter provides results of analysis. Two types of analysis results charts, using pushover analysis and time history, are shown in this chapter. For pushover analysis charts, vertical line shows base shear force value. Horizontal line shows displacement of point, which is the top of the structure.

Model charts, base shear force – displacement values are shown. Charts include base shear force – displacement comparison between models. Model 4 is compared with Model 1, 2 and 3. Model 4 and Model 1 are shown in the same chart. Model 4 and Model 2 are shown in the same chart. Model 4 and Model 3 are shown in the same chart. Model 4 is compared with Model 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 and 4.6. Model 4 and Model 4.1 are shown in the same chart. Model 4 and Model 4.2 are shown in the same chart. Model 4 and Model 4.3 are shown in the same chart. Model 4 and Model 4.4 are shown in the same chart. Model 4 and Model 4.5 are shown in the same chart. Model 4 and Model 4.6 are shown in the same chart. Model 4, Model 4.1, Model 4.2, Model 4.3, Model 4.4, Model 4.5 and Model 4.6 are shown in the same chart.

Time history analysis results, charts show base shear force – displacement for each earthquake data. Each of twenty earthquake names are shown as a list. Model 4 is compared with Model 1, 2 and 3. Model 4 and Model 1 are shown in the same chart. Model 4 and Model 2 are shown in the same chart. Model 4 and Model 3 are shown in the same chart. Model 4 is compared with Model 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 and 4.6. Model 4 and Model 4.1 are shown in the same chart. Model 4 and Model 4.2 are shown in the same chart. Model 4 and Model 4.3 are shown in the same chart. Model 4 and Model 4.4 are shown in the same chart. Model 4 and Model 4.5 are shown in the same chart. Model 4 and Model 4.6 are shown in the same chart.

In the final chapter, analysis results are discussed and investigated. Analysis comments and suggestions are given. Results of charts are discussed. Pushover analysis charts for each model and comparison chart models are discussed and explained. Time history analysis charts of each model and comparison charts models are discussed and explained. In conclusion, behavior of diagonal cables are explained. Effects of cable diameter, pretension and multiple cable are compared. Cable systems analysis is explained.

1. GİRİŞ

Çelik elemanlardan yapılan endüstriyel yapılarda yapı maliyetleri çeliğin birim ağırlığı dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Çelik yapılarda yapının ana maliyetini imalat ve montaj maliyetleri oluşturmaktadır. Montaj maliyetinin ana kısmını oluşturan vinç maliyeti çelik parçaların ağır olması nedeniyle yüksek olabilmektedir. Çelik yapı maliyetlerinin düşürülmesi amacıyla mühendisler tarafından farklı yapı sistemleri için farklı çelik sistemler önerilmektedir. Örneğin büyük açıklıklı sistemlerde, kafes sistemler veya uzay çatı sistemler, çerçeve sistemlere göre daha ekonomik olmaktadır.

Yapı sistemlerinin deprem kuvvetlerinin hesabında, kütle ana parametrelerden birini oluşturmaktadır. Kütle hesabında sistemin kendi ağırlığı ve hareketli yükün belirli bir katsayıyla çarpılıp toplanmasıyla elde edilmektedir. Yapıya etki eden hareketli yük sabit olduğundan ancak yapının kendi özgül ağırlığı değiştirilebilmektedir. Yapıya gelen deprem kuvvetleri yapının kütlesi ile doğru orantılıdır. Kütlenin artması, daha büyük deprem kuvvetlerinin oluşmasına neden olabilmektedir. Kütlenin mümkün olduğunca az olacak şekilde sistemlerin seçilmesi deprem kuvvetlerinin daha küçük olmasına, dolayısıyla da yapı maliyetinin daha ekonomik olmasını sağlayacaktır.

Çelik endüstriyel yapılarda yaygın olarak kullanılan I profiller, zayıf ekseninde moment taşıma kapasitesi ihmal edilebilecek kadar küçük olduğundan statik hesaplamalarda zayıf yönde mafsallı kabul edilir. Bu nedenle, çelik endüstriyel yapılar yanal yönde statik açıdan stabil değildir. Stabilitate problemini çözmek ve yanal yüklerin taşınması için yanal yükleri tutacak bir takım elemanların mevcut sisteme ilave edilmesi gerekmektedir. Bu sistemlerin en yaygın olarak kullanılanları çelik çapraz sistemler ve dolgulu duvar sistemlerdir. Çelik elemanlar çekme ve basınca çalışan elemanlar, dolgu duvarlar ise sadece basınca çalışan yapı elemanlarıdır. Çelik çaprazlı sistemler, dolgulu duvarlara göre daha çok tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, yanal yüklerin tutulması için sadece çekmeye çalışan halat elemanlar modellenmiş ve analizi yapılmıştır. Halat elemanlar, çelik çapraz elemanlar ve yığma duvara daha küçük bir kütle oluşturacağından deprem kuvvetlerinde daha küçük taban kesme kuvveti oluşturacağı hedeflenmiştir. Halat sistemlerin hafif olmasıyla montaj maliyetlerinde daha ekonomik olacağı hedeflenmiştir. Bu kapsamda halatlı sistemlerin analiz sonuçları dikkate alınarak, davranışları irdelenmiştir.

1.1 Amaç

Çelik yapılarda yanal yer değiştirmeleri tutmak ve stabilite problemini ortadan kaldırmak amacıyla bir çok yöntem tercih edilmektedir. Genellikle çelik çaprazlar ve dolgu duvarlar en yaygın olarak tercih edilmektedir. Yanal yüklerin taşınmasını sağlayan ve stabilite problemini ortadan kaldıran bu sistemler yapının maliyetinde belirli bir pay oluşturur.

Bu sistemlerin kendi öz ağırlığından dolayı deprem hesabında kütle olarak deprem kuvvetine etki ederler. Bu tezin amacı, çelik çapraz ve dolgu duvarlı sistemlerde halatlı sistemlerin kullanılması durumunun incelenmesidir. Ayrıca, önerilen halatlı sistemlerin kullanılması durumunun analiz ve sonuçlarının incelenmesi hedeflenmektedir. Modellenen endüstriyel sistemin çelik çaprazlı, dolgu duvarlı ve halatlı sistemlerle analizleri ve sonuçları karşılaştırılacaktır.

Halatlar, kütle açısından incelendiğinde çelik çaprazlar ve dolgu duvarlardan daha az olduğundan deprem kuvvetlerinin daha küçük olmasını sağlayacağı düşünülmektedir. Halatlar maliyet açısından çelik çaprazlara ve dolgu duvarlara göre daha ekonomik olmaktadır. Halatların montaj maliyeti hafif olduğundan çelik ve dolgu duvarın montajına göre daha ekonomiktir. Halatlı sistem kullanılarak daha hafif ve ekonomik sistemlerin elde edilmesi amaçlanmaktadır.

1.2 Kapsam

Tez kapsamında, asma germe sistemlerin tanımlanması, statik çalışma prensipleri, sınıflandırma kriterleri, analiz yöntemleri ve analiz yöntemlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, asma germe sistemler açıklanmaya çalışılmış ve temel prensipleri anlatılmıştır. Çelik çaprazlar, dolgu duvarlar ve halatlı sistemlerin çalışma prensipleri, temel ilkeleri ve davranış mekanizmaları açıklanmıştır. Çelik çaprazlar, dolgu duvarlar ve halatlı sistemlerin birlikte kullanıldığı durumların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bunlarla birlikte yapılan analizlerde kullanılan parametreler açıklanmış ve detaylı olarak incelenmiştir.

1.3 Yöntem

Çalışmada, derinlemesine bir literatür taraması yapılarak asma germe sistemlerin tarihi, ortaya çıkışı, temel ilkeleri, ihtiyaç nedenleri ve mekanizması incelenmiştir. Çelik çaprazlı sistem, dolgu duvarlı sistem ve halatlı sistemlerinin analiz edilmesi ve analiz sonuçlarının irdelenmesi amacıyla, örnek bir endüstriyel yapı sistemi oluşturulmuştur. Örnek modelde yanal elamanlar dışındaki kolon, kiriş, aşıklar elemanları profil ve malzeme olarak tüm modellerde aynı şekilde modellenmiştir.

Tüm modellerde yapılan yüklemeler aynı alınmıştır. Sistemler aynı koşullarda ve şartlarda analiz edilmiştir. Yapının yanal davranışının incelenmesi amacıyla statik itme analizi ve zaman tanım alanında dinamik analizi yapılmıştır. Analizlerde toplamda 20 adet farklı deprem verisi kullanılmıştır. Analizlerde üç boyutlu analiz yapabilen ve kullanımı yaygın olan SAP2000 statik analiz programıyla çalışılmıştır. Tüm modeller SAP2000 programıyla analiz edilmiş ve sonuçları irdelenmiştir. Grafikler SAP2000 analizlerinden elde edilen sonuçlarla çizdirilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Asma germe sistemler üzerinde yapılan akademik tabanlı araştırmaların sayısı, betonarme yapılar, çelik yapılar gibi çok fazla değildir. Bunun nedenlerinin başında asma germe sistemlerin yeni olması ve geçmişinin yaklaşık elli yıla dayanması gelmektedir. Çeşitli çalışmalar, farklı akademisyenler tarafından yapılmış olmasına rağmen yönetmeliklerde çoğunlukla yer almamaktadır.

Büyük açıklıkların geçilebilmesi, sistemlerin kendi içinde dengede olması nedeniyle gelecekte bu sistemlerin daha yaygınlaşacağı düşünülmektedir. İncelenen çalışmalarda genellikle asma germe sistemlerin statik hesapları için farklı hesaplama yöntemleri ve analiz yöntemleri önerilmektedir.

Korkmaz ve Nuhoğlu (2010), asma germe sistemlerin bilgisayar destekli geometrik doğrusal olmayan analizi için pratik bir yol önermişlerdir. Asma germe sistemlerin analizi için bir çok yöntem bulunmaktadır. Yöntemlerin çoğunun analizi uzun süre almakta ve karışık olmaktadır. Yazarlar asma germe sistemlerin analizi için ardışık adım yöntemini kullanmıştır. Asma germe sisteme yapılan yüklemenin, iki adım arasındaki farkın kabul edilebilir bir değerin altına ulaşmaya kadar adımların devam etmesini önermişlerdir. Öngerme ve yükleme değerleri belli bir yükten başlayarak adım adım artılarak hesaplar yapılmıştır. Önerilen analiz yönteminde sistemin bir önceki adımda şekil değiştirmiş hali dikkate alınarak analizlere devam edilmiştir. Yerdeğiştirmeler belli bir değere ulaşmaya kadar yüklemeler ve öngerme artırılmıştır. Yerdeğiştirmelerin hedeflenen değere ulaştığındaki yük ve öngerme değerleri sistemin yük kapasitesini oluşturmaktadır. Bu yöntemde noktalardaki yer değiştirmeler kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Bilinmeyen sayısı her noktada üçtür. Çalışmada ele alınan örneklerde öngerme, yükleme ve yerdeğiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bu yöntemin asma germe sistemler için uygun ve ideal bir analiz yöntemi olduğu yazarlar tarafından belirtilmiştir.

Kaya ve Arun (2005), asma germe sistemlerle ilgili bir araştırma yapmıştır. Araştırma da asma germe sistemlerin tanımı, tarihi, sınıflandırılması, çalışma prensipleri ve örnek sistemler yer almaktadır. Araştırma asma germe sistemlerle ilgili genişçe bilgi veren önemli Türkçe kaynaklardan biridir. Araştırmada Fuller ve Snelson'ın çalışmalarından bahsedilmiş ve asma germe sistemlerin ilk olarak ortaya çıkışına değinilmiştir.

Fuller ve Snelson'ın yaptığı çalışmalar, araştırmada yer almıştır. Asma germe sistemlerin sınıflandırma yöntemleri ve asma germe hücre tipleri açıklanmıştır. Temel, küresel, prizmatik, çok yüzölçümlü ve Z tipi hücrelerin detayları açıklanmıştır. Asma germe sistemlerin denge formunun sağlaması gereken koşullar ve form bulma yöntemleri açıklanmıştır. Asma germe sistemlerin iç gerilme dengesi ve form bulma çalışmalarına etkisi incelenilmiştir. Ayrıca mevcut asma germe sistemlerin özellikleri araştırmada yer almaktadır.

Jàuregui (2004), asma germe sistemlerle ilgili bir çalışma yapmıştır. Çalışma asma germe sistemler ve uygulama alanları üzerine odaklanmıştır. Çalışmada asma germe sistemlerin tanımı, 50 yıllık geçmişi irdelenmiş ve tarihi süreçlere değinilmiştir. Asma germe sistemlerin altyapısı ve ortaya çıkması ile ilgili bilgiler araştırmada yer almaktadır. Asma germe sistemlerin diğer bilim dallarında var olan sistem benzerliği ile ilgili örnekler verilmiştir. Asma germe sistemlerin biçimleri ve sınıflandırmaları çalışmada yer almaktadır. Asma germe sistemlerin uygulamaları ve yapı biçimleri hakkında bilgiler verilmiştir. Kubbe, kule, çatı, tente, uzay ve diğer sistemlerle ilgili tanımlar ve bilgilere yer verilmiştir. Sistemlerin birbirilerine göre avantajları ve dezavantajları irdelenmiştir. Araştırmada Snelson'un çalışmaları ve aldığı patent bilgileri yer almaktadır. Çalışmada asma germe sistemlerin çalışma prensipleri ve yük aktarımından bahsedilmektedir.

Peña, Llorens ve Sastre (2010), asma germe sistemlerin tekstil membran uygulamaları üzerine bir araştırma yayınlanmıştır. Yazarlar, membran uygulamalarının temel kavramlarına ve yeni geometrik formlar üzerine odaklanmıştır. Yazıda özellikle küre tipi membran formları ele alınmıştır. Geometrik form bulma ile ilgili membran formu bulma programı Wintess programında örnek analiz yapılmıştır. Örnekte kubbe tarzı bir spor yapının üstünün kapatılması ele alınmıştır.

Yazarlar, asma germe sistemlerin hazır kalıp formlar şeklinde olmayan ve geometrisi değişen sistemlerin formlarının her defasında değişik olacağını belirtmiştir. Sistemin denge formu, form bulma yöntemleriyle bulunmaktadır. Kendi içinde dengede olan sistem kar ve rüzgar gibi dış etkilere maruz kaldığında, sistem göçmesini önleyen basınç elemanları ile takviye edilmelidir. Bu sistemler Z yönünde serbest olduğundan katlanabilir veya sabit sistemler olarak kullanılabilir. Yazarlar asma germe sistemlerin kinematik olarak zayıf sistemler olduğunu ifade etmiştir.

Quirant, Kazi-Aoual ve Motro (2001), asma germe sistemlerin analizi ve Eurocode'a göre tasarlanmasıyla ilgili bir araştırma yapmıştır. Morto asma germe sistemleri statik olarak, "sistem öngerme altında stabil, sürekli çekme elemanları içeren süreksiz basınç elemanları üzerinde kuruludur" şeklinde tanımlamıştır. Araştırmada, 81 m² yüzey alanın sahip bir örnek yapı analiz edilmiştir. Örnek analizde ölü yük G, hareketli yük Q ve öngerme yükü S yükleri altında analiz yapmıştır. Yükleme kombinasyonları olarak Eurocode kombinasyonları kullanılmıştır. Araştırmada yazarlar tasarım aşamalarını şematik olarak ifade etmiştir.

Juan ve Tur (2007), asma germe sistemlerin statik analizi ile ilgili bir araştırma yapmıştır. Araştırmada asma germe sistemlerle ilgili önceki tanımlamalar, notasyonlar ve konseptlere değinilmiştir. Çalışmada asma germe sistemlerin rijitliği ve stabilitesi irdelenmiştir. Sistemlerin rijitliği ve stabilitesi yerdeğiştirme, kuvvet ve enerji yaklaşımıyla ele alınmıştır.

Fu (2004), kubbe asma germe sistemlerin davranışı ve tasarımı ile ilgili bir araştırma yapmıştır. Araştırmada, ilk asma germe kubbe sistemi olan Georgia Dome'nin doğrusal olmayan analizleri yazar tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmacı, yazıda bir çok farklı kubbe tipi ve farklı geometrilerde çalışmalar yapmıştır. Georgia Dome ve diğer kubbe sistemlerin yapı davranışları arasında bir kıyaslama yapılmıştır. Yazara göre asma germe kubbe sistemlerin yapı davranışı diğer kubbe sistemlerin yapı davranışından farklıdır. Elips tipindeki kubbe sistemlerin en zayıf noktası merkez kısımlarıdır.

Krishna (2001), asma germe kubbe sistemler ve köprülerle ilgili bir çalışma yapmıştır. Çalışma asma germe sistemlerle ilgili çeşitli bilgiler içermektedir. Yazar asma germe sistemlerin avantajları ve diğer sistemlerle kıyaslanması hakkında bilgiler vermiştir. Malzeme olarak halat, membran ve diğer malzemeler kıyaslanmıştır. Yazar asma germe sistemlerin tasarımı ve hesaplamalarındaki yeni teknolojiler hakkında bilgi vermiştir. Rüzgarın asma germe sistemler üzerindeki etkileri ve davranışları hakkında bilgiler verilmiştir. Halat teknolojisindeki yenilikler ve halat çeşitleri hakkında yazar tarafından açıklanmıştır.

Boeck (2013), asma germe köprülerle ilgili bir çalışma yapmıştır. Çalışmada asma germe sistemler hakkında genel bilgiler ve çalışma prensipleri ile ilgili çeşitli bilgiler verilmiştir. Asma germe sistemlerin tarihi ve mevcut olan sistemler hakkında bilgiler sunulmuştur. Asma germe sistemlerin sınıflandırılması ve çeşitleri hakkında bilgiler içermektedir. Çalışma asma germe köprülerin yük taşıma prensipleri ele alınmıştır. Çalışmada örnek bir köprü analizi yapılmıştır. Köprü çeşitli şekillerde analiz edilmiştir.

Stern (1999), asma germe sistemlerin statik analiz yöntemleriyle ilgili bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada farklı sayıda çubuklu asma germe hücrelerin statik analizleri ilgili bilgiler verilmiştir. Çalışmada asma germe sistemlerin kuvvet akışı sistemler üzerinde gösterilerek çalışma prensipleri ve hesaplamalar açıklanmaya çalışılmıştır. Asma germe sistemlerin kendi öz ağırlığı ve dış yükler altındaki durumlar için de çeşitli hesaplamalar yapılmıştır.

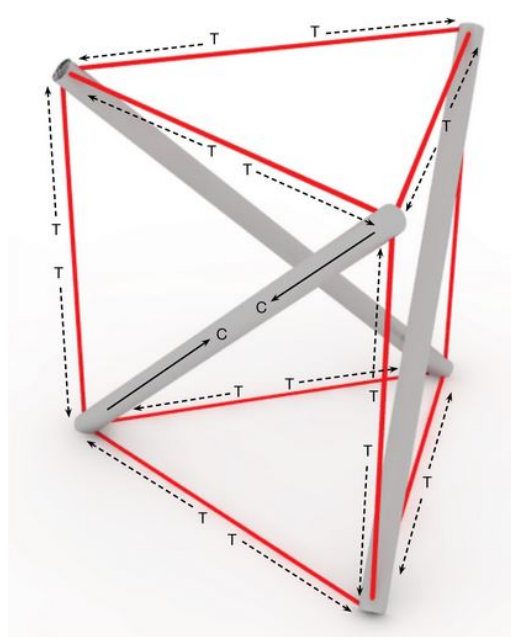
3. ASMA GERME SİSTEMLER

3.1 Tanım

Asma Germe sistemler, bilimadamları tarafından farklı şekillerde tanımlanmıştır. Asma Germe sistemlerin İngilizce kelime kökeni Tensegrity sözcüğüdür. Tensegrity sözcüğü ‘tension’ (çekme) ve ‘integrity’ (bütünlük) sözcüklerinin birleşiminden meydana gelmiştir. ‘Tension’ çekme gerilmesini, ‘integrity’ bütünlüğü ifade etmektedir. Asma germe sistemler, çekmeye çalışan elemanlar ile basınca çalışan elemanların oluşturduğu bir gerilmeler bütünlüğü sistemidir.

Araştırmalara göre, asma germe sistemler, çekme gerilmelerinin sürekliliği ve basınç gerilmelerinin süreksizliğiyle oluşan ve üç boyutta dengede olan sistemlerdir. Asma germe sistemlerin denge prensibi, tüm evrende var olan denge sisteminden esinlenmiştir. Örnek olarak, atomda bulunan (+) yüklü protonları, (-) yüklü elektronlar dengelemektedir. Yeryüzünde bu tip, kendi içinde dengede olan bir çok sisteme sıkça rastlamak mümkündür.

Asma germe sistemler, basınç ve çekme elemanları ile kendi içinde dengede olan yapı sistemleridir. Çekme kuvvetleri halatlar, basınç kuvvetleri çelik çubuklar tarafından taşınmaktadır. Asma germe sistemler üç boyutlu sistemlerdir. Sistemin üç boyutta dengede olması gerekmektedir.



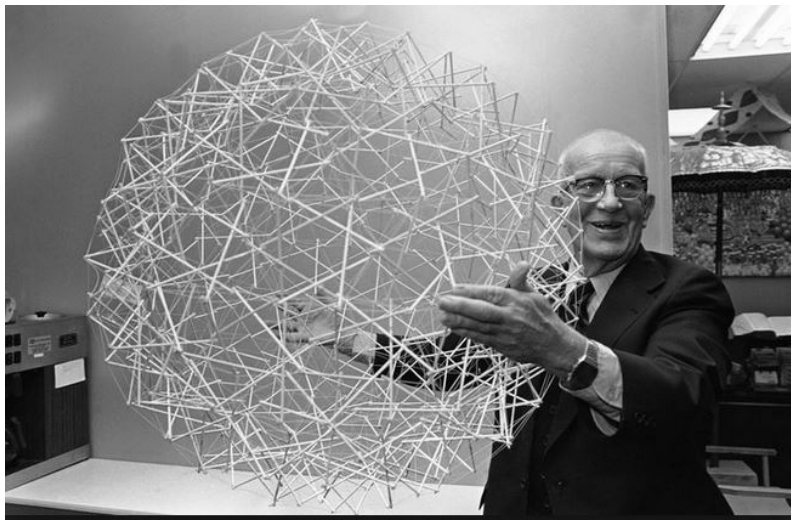
Şekil 3.1 : Basit bir asma germe hücre kuvvet dağılımı (Url-1, 2015)

Asma germe sistemlerde, halatlar ve elik çubukların birbiri içinde denge olması için, sistemin çok düzgün ve dengeli bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Çubuklar ve kabloların kendi içinde dengeli olması için belli aırlarla birleşmeleri gerekmektedir. Asma germe sistemlerde, halatların oluşturduğu sürekli çekme gerilmesinin etkisi altında, birbirleri ile keşişmeyen ve sistem içinde süreksizliği olan çubuklar, sistemde bir i gerilme dengesi oluşturur. Asma germe sistemlerde basınç-çekme kuvvet dağılımının düzgün olması durumunda, düğüm noktaları da statik olarak denge de olacaktır. şekil 3.1’de basit bir asma germe hücrede kuvvet akışı ve sistem içindeki kuvvet akışı görülmektedir.

Asma germe sistemler çeşitli şekillerde modellenmektedir. Asma germe sistemler, sınıflandırma ve form bulma yöntemleri ile birlikte geliştirilmiştir. Kendi içinde dengede olan en basit asma germe sisteme “asma germe hücre” denir. Asma germe Sistemleri, asma kablo kiriş sistemleri olarak tanımlanmaktadır. Kablo kiriş sistemleri tek tabaka, iki tabaka ve uzay kafes şeklinde şeklinde sınıflandırılmaktadır.

3.2 Tarihi

“Asma Germe” ismi ilk olarak 1960’larda Buckminster Fuller tarafından kullanılmıştır (Kaya ve Arun, 2005). şekil 3.2’te Fuller tarafından geliştirilmiş bir küre çalışması yer almaktadır. Asma Germe sistemler yeni sistemler olmakla birlikte, yaklaşık olarak 50 seneden beri geliştirilmeye yönelik çalışmalar yürütülmektedir.



şekil 3.2 : Fuller’in geliştirdiği asma germe küre (Url-2, 2015)

Asma germe sistemler daha hafif ve ilginç tasarım sistemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Asma germe sistemler çok yaygın olmadığı için çalışma mekanizması mühendisler ve mimarlar tarafından çok bilinmemektedir. Asma germe sistemler üzerinde hala akademik çalışmalar ve tartışmalar yürütülmektedir.

Richard Buckminster Fuller (ABD-1962), David Georges Emmerich (Fransa-1964) ve Kenneth D. Snelson (ABD-1948) asma germe sistemlerin kurucuları olarak kabul edilmektedir. Snelson, Fuller'in öğrencisi olup asma germe sistemlere en fazla katkı sağlayan bilim adamıdır. Şekil 3.3'te Snelson tarafından yapılmış kule şeklindeki heykel çalışması yer almaktadır.



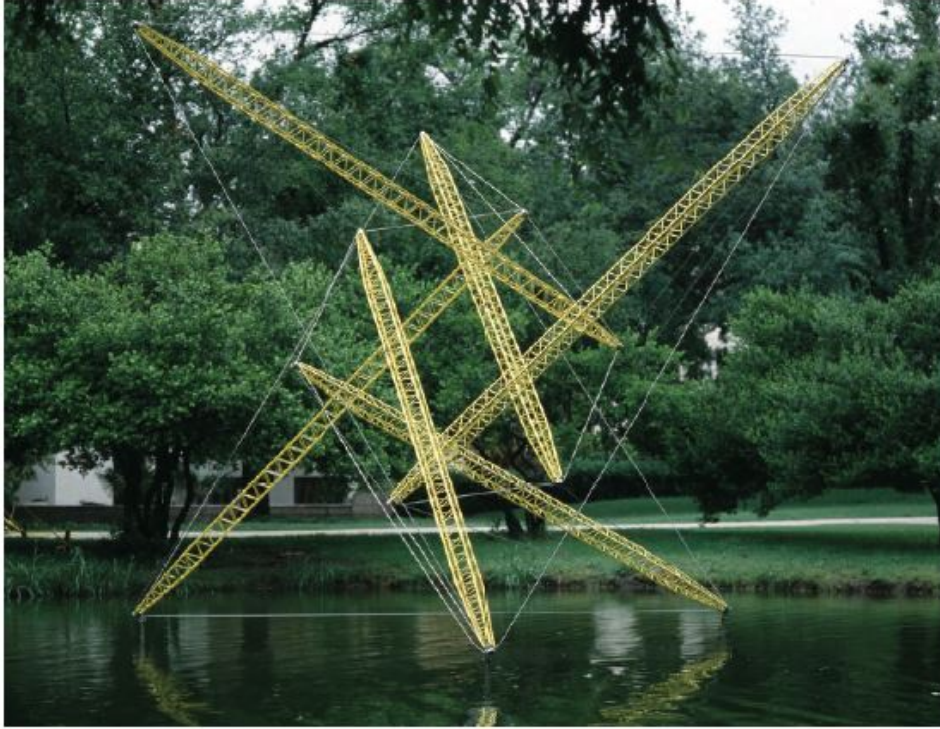
Şekil 3.3 : Snelson'un yaptığı heykel "Needle Tower" (Snelson, 2015)

Snelson ve iki bilimadamı asma germe sistemlerin ilk kurucuları olarak kabul edilmesine rağmen, Emmerich'in raporlarında ilk kez asma germe ismi Loganson (Rusya-1920) tarafından "Gleichgewichtkonstruktion" olarak geçtiği ifade edilmektedir.

Asma germe prensibine yakın bilinen ilk çalışma Rus sanatçı Loganson'un 1920 yılında yaptığı "Heykel Strüktür" adlı eseridir. Bu çalışma ile ilgili patent çalışmaları yapılmadığı için kayıtlara geçmemiştir (Kaya ve Arun, 2005).

Fuller "Gerilmeler Bütünlüğü" konusu üzerinde uzun çalışmalar yapmıştır. Fuller 1927 yılında, bir direğe asılmış çift kablo çember ile dengede duran bir yapı tasarlamıştır. Bu tasarımı, asma germe sistemlerin temel prensiplerini ortaya çıkaran ilk çalışmasıdır. Kendisi 1943 yılında yapısal bütünlük ilkesini yansıtan bir çalışma yapmıştır. Fuller, ilk tescilli projesini 1959'da geliştirmiş ve 1962 yılında patentini almıştır. Fuller asma germe sistemleri için "**Gerilim okyanusu içindeki basınç adaları**" tanımlamasını yapmıştır (Kaya ve Arun, 2005).

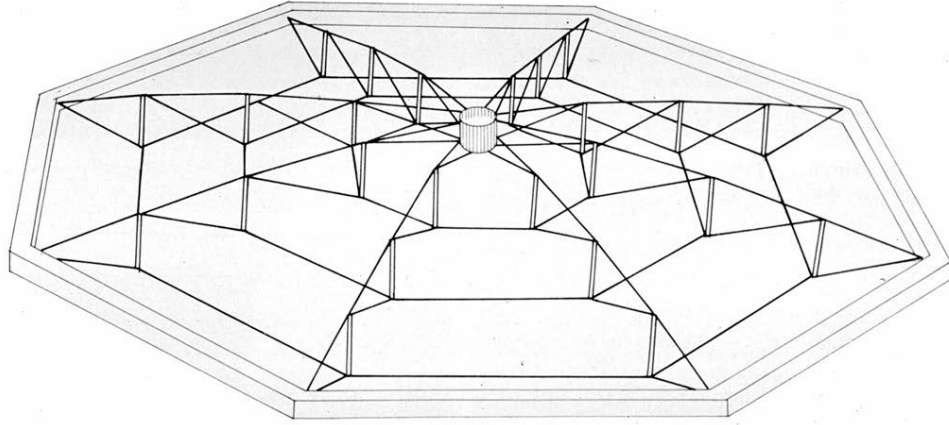
1960 yılında önemli bir bilim adamı olan Emmerich, asma germe prensibine benzeyen çalışmalar yapmıştır. Fakat yaptığı model bugünkü asma germe prensibine uymamaktadır. 1962 yılında çubuklar ve kabloların bir bütünlük oluşturarak kendi kendine dengede duran bir sistem elde etmiştir. Emmerich asma germe prensibi ile ilgili çalışmasının ilk patentini 1963 yılında almıştır. Emmerich patent aldığı modelle otomatik germe, başka bir ifadeyle sistemin kendi kendini germe durumunu ortaya koymuştur. Sistemin bu davranışına Fransızca olarak "Autotendants" tanımını yapmıştır (Kaya ve Arun, 2005).



Şekil 3.4 : Snelson'un Northwood çalışması, 1969 (Snelson, 2015)

Fuller'in çalışmalarını yakından takip eden öğrencisi Snelson, asma germe prensipleriyle ilgili 1948 senesinde üç küçük model heykel yaparak Fuller'e danışmıştır. Bu çalışmalar sistemlerin denge şartlarını araştırmaya yöneliktir. Snelson, Fuller ile birlikte sistemi geliştirerek 1965 yılında asma germe sistemlerin temel prensiplerini açıklayan ilk patenti almıştır. Snelson'un Fuller'e sunduğu çalışmalar asma germe sistemlerin temel prensipleri açısından büyük önem taşımaktadır.

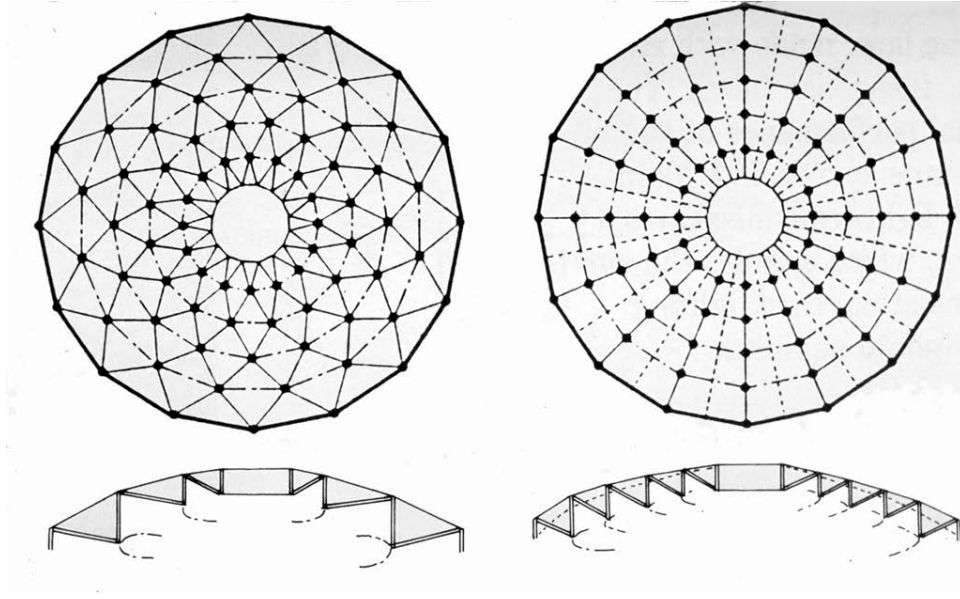
Snelson'un patentinin başlığı "Sürekli çekme gerilimi ile süreksiz basınç gerilmesi altındaki yapılar"dır. Asma Germe sistemlerin temel prensiblerini açıklayan bu ifade ile Snelson Asma Germe sistemlerini keşfeden kişi olarak tarihe geçmiştir. Şekil 3.4'te Snelson tarafından yapılmış heykel çalışması yer almaktadır.



Şekil 3.5: Geiger'in tasarladığı kubbe (Url-2, 2015)

Asma Germe sistemlerin yapı olarak kullanımının ilk deneme projesi Fuller tarafından gerçekleştirilmiştir. "*Aspension Dome*" adını verdiği bu proje, çekme kabloların ve basınç çubukların oluşturduğu basınç halkalarının birleşiminden meydana gelen kubbeden oluşmuştur.

Asma germe prensiplerini içeren ilk proje, mühendis Geiger tarafından uygulanmıştır. 1988 yılında Seul olimpiyatları için tasarladığı Şekil 3.5'teki stadyum çatısını oluşturan asma germe kubbe 1989'da tamamlanarak hizmete girmiştir.

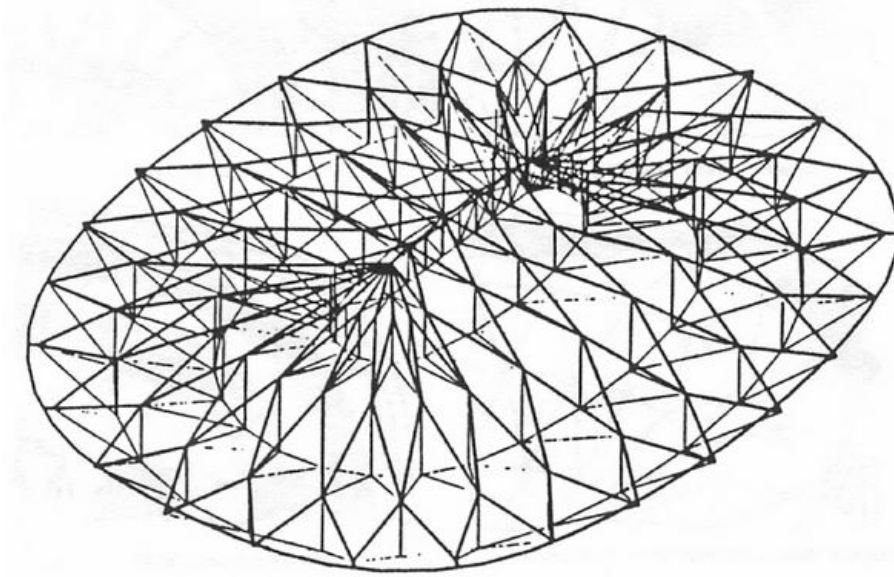


Fuller

Geiger

Şekil 3.6 : Fuller ve Geiger'in halatlı kubbe sistemleri (Url-2, 2015)

Asma germe prensiplerini içeren çatı kubbe sistemler Fuller ve Geiger tarafından farklı şekillerde tasarlanmıştır. Kendine özgü olan bu kubbe çatı modelleri Şekil 3.6'da yer almaktadır

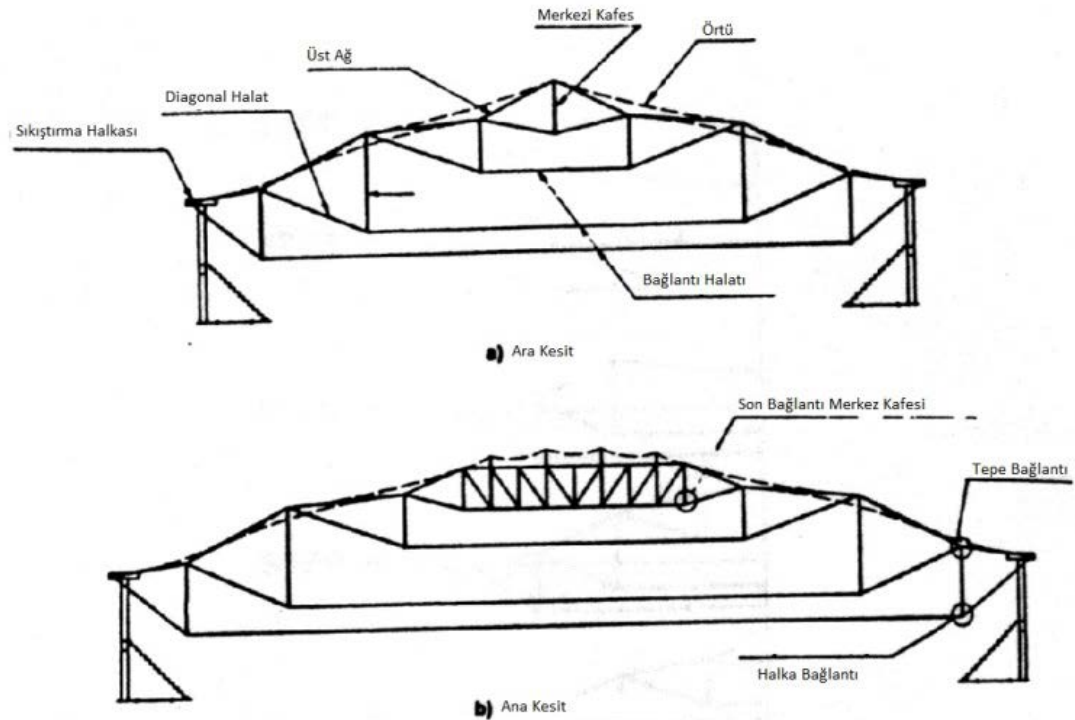


Şekil 3.7 : Atlanta Georgia Dome (Url-2, 2015)

Asma germe sistemlerin ilk projelerinden biride Atlanta Georgia Dome stadyumunun çatı sistemidir. ABD'nin Georgia Eyaleti'nde yer alan stadyumun çatısı, 1992 yılında hizmete girmiştir. Asma germe kubbe şeklinde tasarlanan çatının açıklığı 235m x 186m'dir.

Çatı sistemin mimari tasarımı Heery International; Thompson, Ventulett ve Stainback ve Associates firmaları tarafından tasarlanmıştır. Çatının statik hesaplamaları Weidlinger Associates firması tarafından yapılmıştır. Maliyeti 175 milyon Amerikan Doları olan stadyum, 80.000 seyirci kapasitesine sahiptir. Şekil 3.7'de Atlanta Georgia Dome stadyumun izometrik görünüşü ve Şekil 3.8'de stadyuma ait kesitler ve detaylar görülmektedir.

1976 yılından sonra Pugh tarafından California (Berkeley) üniversitesinde yazılan "An introduction to Tensegrity" (Asma Germe Sistemlere Giriş) adlı kitapta, yazar farklı modelleri göstermiş ve açıklamıştır. Yazar bu kitapta üç modelden bahsetmektedir. Bunlar elmas biçimindeki modeller, zig-zaglı modeller ve daireesel modellerdir.



Şekil 3.8 : Atlanta Georgia Dome Kesitler (Url-2, 2015)

Günümüzde yapılan en güncel asma germe sistemlerden biride Avustralya’da yapılan Kurilpa köprüsüdür. Köprü Brisbana kentinde, Brisbane nehri üzerinde yer almaktadır. Yaya ve bisiklet geçişine izin verilen köprü Cox Rayner Mimarlık ve Arup Mühendislik tarafından tasarlanmış ve Baulderstone şirketi tarafından uygulanması yapılmıştır. Köprünün toplam uzunluğu 470 m, genişliği 6.5 m olup en büyük açıklık 120 m’dir. Şekil 3.9 da Kurilpa köprüsünün bir resmi yer almaktadır.



Şekil 3.9 : Kurilpa Köprüsü 2009, Avustralya (Url-3, 2015)

3.3 Temel Kavramlar

Asma germe sistemleri, birbirlerine bağılı bir çok kablo ve çubuğun birleşimi sonucu ortaya çıkan, ağ biçiminde elemanlar oluşturur. Buna bağılı yapı denir. İlk bağılı yapı form bulma sonucu ortaya çıkmıştır. Sistemi oluşturmak için üçgen prizma kullanılmıştır. Prizmanın kenarlarını basınç çubukları, alt ve üst tabanı çekme kabloları oluşturmaktadır. Oluşan bu yapı statik olarak stabil değildir. Çubuklar ve kablolarda kuvvet iletimi olmadığı için asma germe prensiplerine uymamaktadır. Çubuklar üçgen prizmanın yan yüzeyleri üzerinde belli açı yaparak çapraz konumlandırılırsa çubuk ve kablolarda kuvvet iletimi oluşmaktadır. Fakat bu sistem stabil olmayıp, dengede durmamaktadır (Kaya ve Arun, 2005).

Asma germe prensibine uyan yapı, prizmanın ağırlık merkezinden geçen aks çevresinde saat yönünde veya ters yönde, prizmanın herhangi bir üçgen yüzeyinin sabit tutularak minimum 30° çevrilmesi ile oluşturulur. Bu yapıya “ Basit asma germe hücre” adı verilir. Birbirini kesmeyen basınç çubukları, çekme kablolarının oluşturduğu iç gerilme sayesinde rijit olup dengededir. Bu denge hücrelerin tutarlı bir geometri oluşturmaya bağılıdır.

Asma germe sistem içindeki elemanların sürekliliği ve süreksizliği ilkelerini, bağılı yapı kavramını, daha rahat algılamak için düşey izdüşümde çubuklar kesişmeyecek şekilde modellendiği “Düzlem Grafik Teoremi” yöntemi ile açıklamak mümkündür.

Uzaysal kablo ağı görünümündeki asma germe sistemler, x, y, z düzlemlerinde üç boyutlu olarak ifade edilir. Asma germe sistemlerin geometrik denge ve stabil durumlarını kontrol etmek için üç boyutlu ortamda “Form Bulma” yöntemlerinden yararlanılır. Eğer sistemler geometrik ve kuvvet iletimi bakımından dengede olmazsa, tutarsız formlar oluşabilir. Bu tür formlara “tanımsız” yada “sonsuz” formlar denir. Tutarsız formlarda sistem dengede kalmamaktadır (Kaya ve Arun, 2005).

Asma germe sistemler form bulma çalışmaları ve sınıflandırma ölçütlerine göre incelendiğinde, çubuk ve kabloların sistemdeki birleşim şekilleri sistemin geometrisini belirler. Çubuk sayısı arttıkça, asma germe sistemlerin oluşturduğu çok yüzlü geometri, düğüm noktalarının oluşturduğu üç boyutlu yüzey, küresel forma dönüşür (Kaya ve Arun, 2005).

3.4 Asma Germe Sistemlerin Mekanizması

Yapı sistemleri, sistemlere etkiyen dış yükler altında yatay ve düşey yönde yerdeğiştirir. Yapı sistemleri rijitlikleriyle bu yerdeğiştirmeye karşı direnç gösterir. Çok küçük yer değiştirmeler ihmal edilebilir. Asma Germe yapı sistemlerde küçük yerdeğiştirmeler sistem içinde büyük şekil değiştirmelere yol açtığı için ihmal edilemez. Şekil değiştirmeler ihmal edildiği durumda, sistemde statik ve mekanik belirsizlik ortaya çıkmaktadır. Statik belirsizliği önlemek için sisteme ön germe kuvvetlerinin uygulanması gerekmektedir.

Asma Germe sistemlerin bileşenleri arasında kuvvet iletimi söz konusudur. Kuvvet iletimi sonucunda, yapı elemanlarının oluşturduğu mekanizmanın çözümü için “Kinematik” analizin yapılması gerekir. Kinematik analiz, sisteme etki eden dış kuvvetleri düşünmeksizin, bileşenlerin yer değiştirme geometrilerinin incelenmesidir (Kaya ve Arun, 2005).

Doğru tasarlanmamış asma germe sistemler kinematik açıdan belirsizlik ifade etmektedirler. Kinematik analiz yapmak için sistemdeki tüm elemanların boyutları ve tüm düğüm noktalarının yer değişimi çok küçük olsa bile, biliniyor olması gerekmektedir. Asma germe sistemlerde bileşenlerin boyutları, form bulma yöntemleri ile sonradan elde edilen değerler olduğu ve sistem içinde farklılıklar gösterebileceği için kinematik analizi ve çözümünü geleneksel yöntemlerle yapmak çok zordur. Günümüzde bilgisayarlar yardımıyla bu tür analizler yapılmaktadır.

Kinematik açıdan incelenen bir mekanizmanın, tüm elemanlarının konumunu ya da herhangi bir noktasının yerini belirlemek için gerekli bağımsız değişken olan “mekanizmanın serbestlik derecesi”nin değeri (F) biliniyorsa, mekanizma kinematik olarak belirlidir.

Bu mekanizmalar,

- Serbestlik Derecesi $F=1$ olan mekanizmalar
- Serbestlik derecesi birden büyük olan, ancak kontrol edilen parametre sayısının mekanik serbestlik derecesine eşit olduğu mekanizmalar olarak tanımlanabilir (Kaya ve Arun, 2005).

Belirlenmiş olan parametre sayısının serbestlik derecesinden az olduğu durumlarda mekanizma kinematik olarak belirsizdir. Bu durumda mekanizmada bulunan elemanların hareketi sadece kinematik olarak değil, etki eden dış kuvvetler ve sistemin dinamiği ile belirlenir. Kinematik diyagramda mekanizmanın hareketi açıkça izlenebilmelidir. Geometrik yapısı tanımsız sistemler kinematik olarak belirsizdir (Kaya ve Arun, 2005).

Asma germe sistemler uzaysal olduğu için bazı noktalardaki elemanların konumu belirlense bile, diğer noktalardaki elemanların konumlarının geometrik bağlantılar ile saptanması zordur. Bu tip sistemlerin çözümü için detaylı çalışmalar yapılması gerekir.

Kinematik zincirler, serbestlik derecelerine göre $F \geq 1$ ise hareketli, $F < 1$ ise kilitlenmiş fakat statik olarak belirsiz, $F = 0$ ise kilitlenmiş zincir statik olarak belirli bir yapıyı temsil eder. Eğer $F = -1$ gibi değerlerde ise kinematik zincir olarak belirsizdir (Akçalı, 2002). Rijit asma germe sistemlerin, çubuklar ve kablolar arasında oluşan iç gerilme kuvvetleri ile dengede olmaları gerekir. Sistem mekanizmasının statik belirli olma zorunluluğu vardır ($F = 0$).

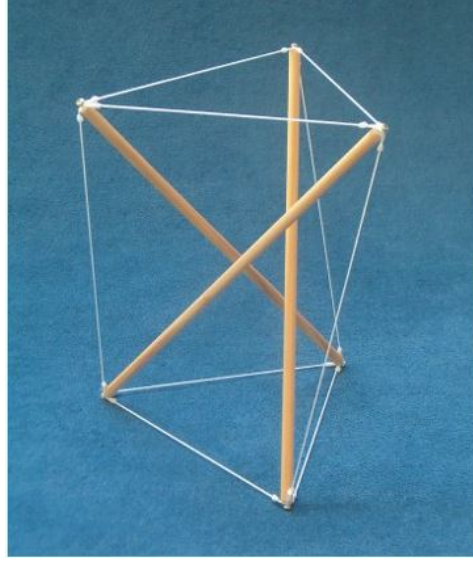
Tüm sistemin dengesi, iç gerilmeler olan basınç ve çekme kesin değerlerinin eşitliğine bağlıdır. Sistem, iç gerilmeler sayesinde dengededir. Asma germe sistemlerin denge eşitliği:

$$[A] \cdot \{t\} = \{0\} \quad (3.1)$$

Burada $[A]$, sistemin geometrik parametrelerine bağlı denge matrisi, $\{t\}$ ise iç gerilme vektörünü ifade etmektedir. Dış kuvvetlerin etkisi düşünülmezse, sistem içindeki vektörel kuvvetlerin bileşkesi sıfır değerini alıyorsa sistem dengededir (Kaya ve Arun, 2005).

3.5 Asma Germe Sistemlerin Sınıflandırması

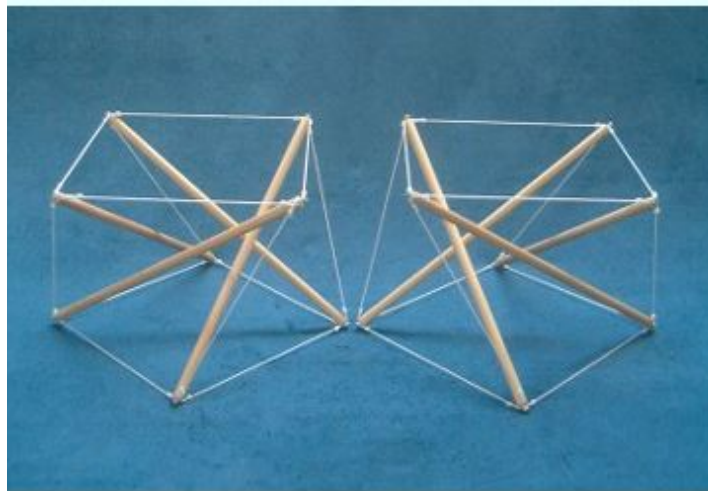
Asma germe sistemlerin sınıflandırılması için basit asma germe hücreler ve bu hücrelerin birleşimlerinin incelenmesi gerekir. Şekil 3.10'da basit bir hücre örneği görülmektedir. Asma germe sistemleri sınıflandırmak ve çeşitli formlar üretmek için sistemin temel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bunlardan en önemlisi sistemdeki iç gerilme ile oluşan dengedir. Asma germe sınıflandırma ölçütlerine uygun sistemlerde çubuklar birbirleri ile kesişmemelidir (Kaya ve Arun, 2005).



Şekil 3.10 : Basit asma germe sistem üç çubuk (Url-4, 2015)

Bir diğer önemli sınıflandırma ölçütü, sistemdeki kablo, çubuk ve düğün noktası sayısıdır. Bu değerler asma germe hücreleri karakterize eder ve aynı zamanda form bulma çalışmalarında önemli rol oynar. Şekil 3.11’de asma germe sistemin dört çubuklu modeli görülmektedir.

Sınıflandırma ölçütlerinde, asma germe sistemlerin “bağlı yapı” kavramının korunması gerekir. Herhangi bir elemanın eksilmesi, yerinin değişmesi veya uzunluk değerlerinin değişmesi sistemin bozulmasına neden olur. Bağlı yapıda tüm elemanların başlangıç ve bitiş noktalarının parametrik değerlerinin bilinmesi gerekir.

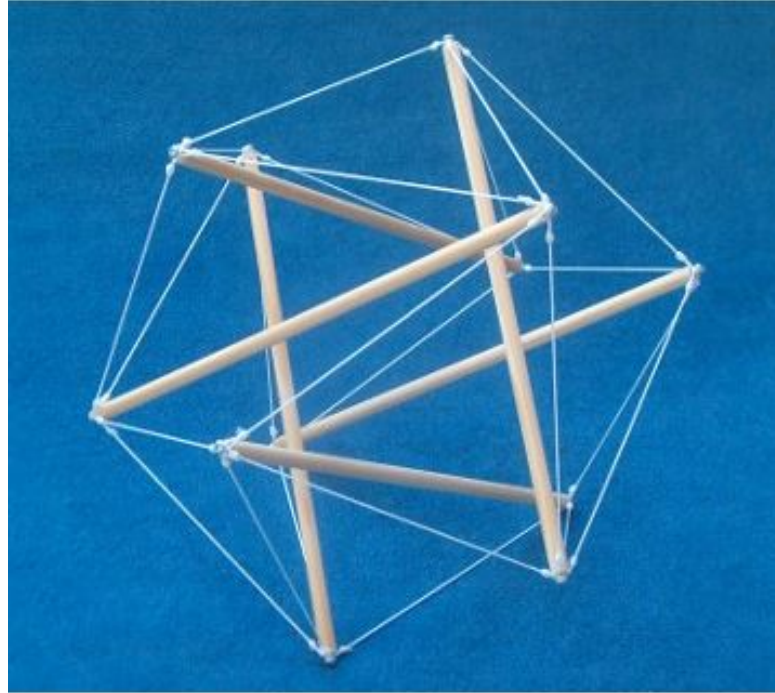


Şekil 3.11 : Asma germe sistem dört çubuk (Url-4, 2015)

Geometrik teoremi yöntemi, asma germe sistemlerin sınıflandırılmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle, sistem içindeki elemanların birleşimleri doğrultusunda oluşan kuvvet iletimi gözlemlenir. Çekme ve basınç elemanları tespit edilir. Düğüm noktalarındaki kuvvet bileşkeleri belirlenir. Dengede duran sistemin geometrisi tanımlanır.

Asma germe sistemlerin geometrik tanımları iki önemli etmene bağlıdır:

- Sistem içindeki elemanların tümü aynı boyuttaysa, geometri çubuk ve kablo oranına bağlıdır. Bu sistemlere “düzgün” ya da “mono-parametrik” sistemler denir.
- Sistem içinde elemanlar birbirlerinden farklı boyutlardaysa, bu sistemlere “multi-parametrik” sistemler denir. Sistemin geometrisi tanımsız olabilir ve çubuk-kablo oranına bağlıdır (Kaya ve Arun, 2005).



Şekil 3.12 : Tek tabakalı bir ağ model altıgen (Url-4, 2015)

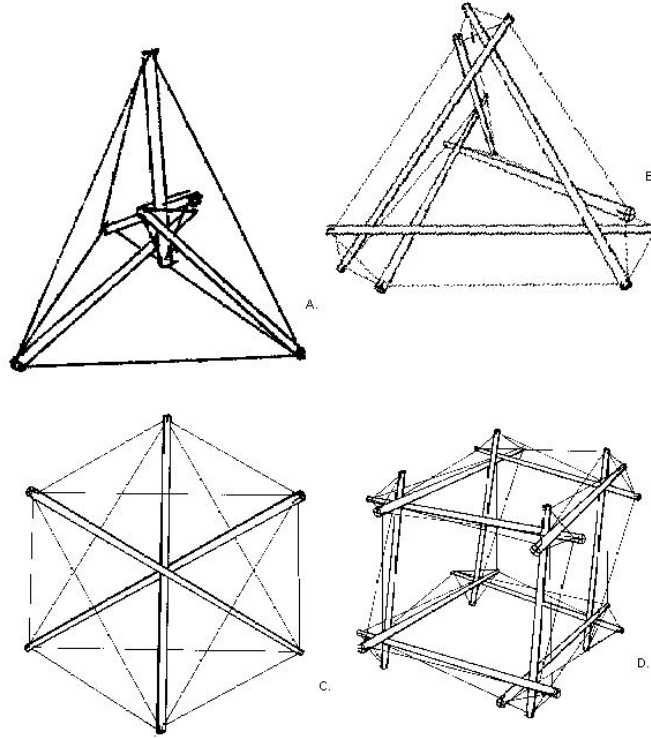
Asma germe sistemlerle, sonsuz geometrik formlar oluşturabildiği için, sınıflandırma çalışmalarında geometrisi tanımlı formlar kullanılması gerekir.

“Temel hücre” kavramı, maddenin atom yapısına çok benzer. Küresel formu ve bölünemez yapısı ile tek tabakalı bir sistem oluşturur (Kaya ve Arun, 2005). Şekil 3.12’de tek tabakalı bir ağ modeli görülmektedir.

Küresel asma germe hücrelerin sınıflandırılması, sistemi oluşturan kablolarla bağlıdır. Kablolar genellikle hücrenin dış çeperinde bulunur ve küresel geometri oluşturur. Basınç çubukları kablo kümesinin içinde yer alır. Bu hücrelere “Küresel Hücreler” denir. Küresel asma germe hücreler elemanların birleşim konfigürasyonlarına göre üç bölümde incelenir:

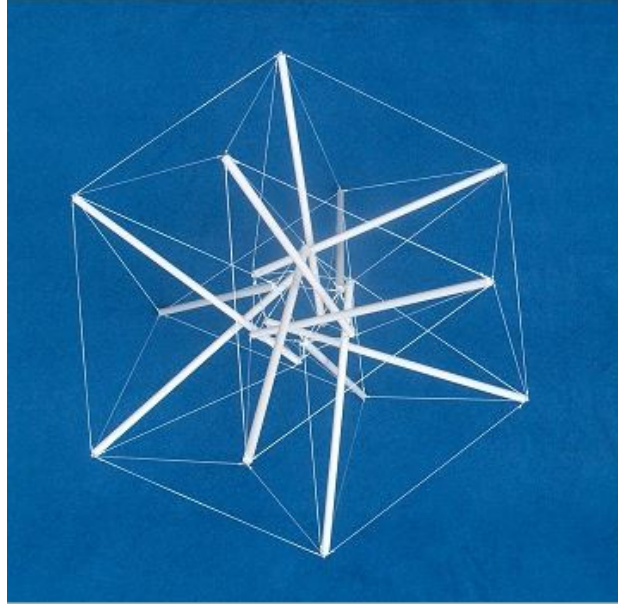
- Eşkenar dörtgen birleşimler-prizmatik hücreler
- Döngüsel birleşimler-çok yüzlü hücreler
- Z tipi birleşimler-çok yüzlü hücreler

Prizmatik hücreler, kenarlarını kabloların oluşturduğu prizmaların yanall yüzeylerine diyagonal yerleştirilen basınç çubukları ile oluşturulan sistemin merkez aksı çevresinde saat yönü veya saat yönü tersi çevrilmesi ile elde edilir. Sistemde çubuklarla kabloların birleşiminin açılımı eşkenar dörtgen veya baklava biçiminde izdüşüm oluşturur. Bu sistem “asma germe hücreler”in en basit ve temel yapısıdır (Kaya ve Arun, 2005). Şekil 3.13’te Fuller tarafından geliştirilmiş bazı asma germe hücre modelleri görülmektedir.



Şekil 3.13 : Basit Asma Germe Modeller (Fuller, 2015)

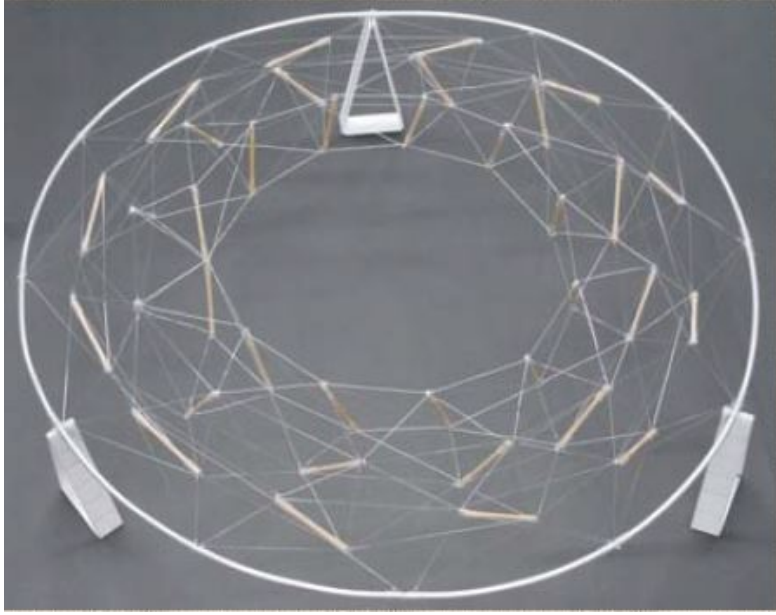
Çevirme açısı (α), form bulma yöntemleri sonucu ortaya çıkmıştır. Sistemdeki otomatik germeyi sağlayan en küçük çevirme açısı 30° dir. Bu sisteme temel denge, düzgün hücre, çevrilmiş gibi farklı isimlerde isimlendirilmiştir. Çubuk sayılarına göre “simplex” (basit) hücreler çeşitlilik gösterir. Eşkenar dörtgen birleşim, prizmatik asma germe sistemlerin temelini oluşturur (Kaya ve Arun, 2005). Şekil 3.14’te tek tabakalı bir ağ modeli görülmektedir.



Şekil 3.14 : Tek Tabakalı bir Ağ Modeli sekizgen (Url-4, 2015)

Prizmatik asma germe hücreleri çubuk sayıları karakterize eder. Sistemin “çubuk kablo” açılımı yapıldığında çubukların birbirlerine paralel olduğu görülür. Prizmatik hücreler “m” yüzlü birçok “çok yüzlü”den meydana gelebilir. Sistemde bir germe kuvveti oluşana kadar ya çubukların boyu uzatılır ya da kabloların boyu kısaltılır. Bu da sistemde bir ön germe kuvveti oluşturur (Kaya ve Arun, 2005).

Döngüsel hücreler, “rombik” birleşimler ile oluşmuş asma germe hücrelerin, bu yapısını kaybederek denge döngüsü içinde, çubuk uçlarının bir noktada birleşmesi ile meydana gelen sistemlerdir. Basınç elemanlarının sistem içindeki yapısı değişerek, kabloların oluşturduğu sürekliliğin farklı bir döngüsel birleşim meydana getirir. Düğüm noktalarında çubukların birleşimi, asma germe sistemlerin temel özelliği ile çelişmekte gibi görünse de, birleşen çubuklar tek bir basınç elemanı olarak çalışır (Kaya ve Arun, 2005).



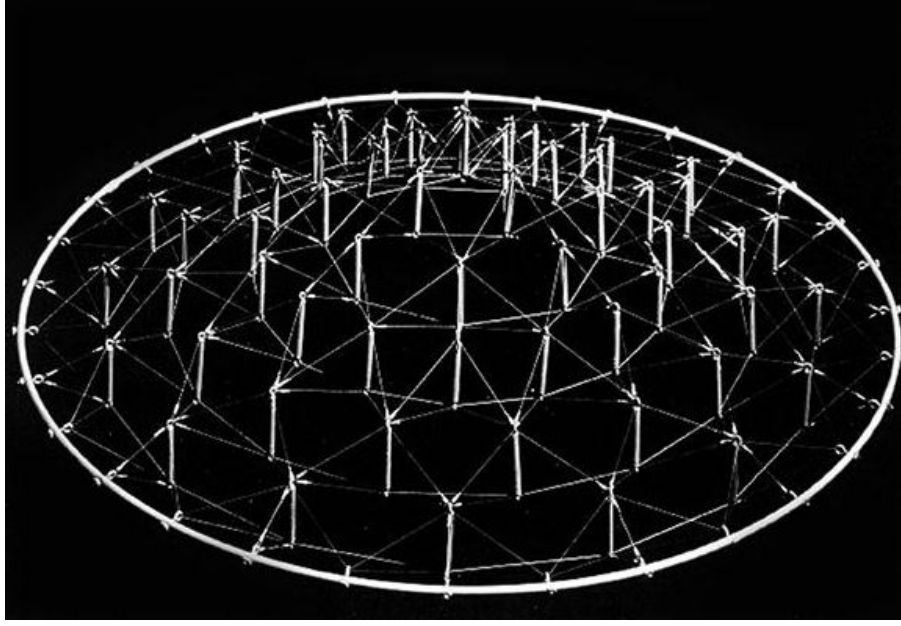
Şekil 3.15 : İki Tabakalı bir Ağ Model (Güney, 2014)

Kablo sayısı yarıya düşer, fakat sistem içindeki iç gerilme dengesi korunur. En basit döngüsel hücre, üç tabakalı, tabakaların her biri dört basınç çubuğu içeren sistemden oluşur. Form bulma çalışmaları sonucu ortaya çıkan bu geometri “Kübik sekiz yüzlü” dür. Çubuklar, önceki asma germe hücrelerdeki gibi tek değildir, sistem içinde dört adet üçgen şeklindedirler ve bu üçgen bir basınç elemanı olarak davranır (Kaya ve Arun, 2005). Şekil 3.15’te ve Şekil 3.16’da iki tabakalı ağ modelleri görülmektedir.



Şekil 3.16 : İki Tabakalı bir Kubbe Ağ Modeli (Url-4, 2015)

Çok yüzlü geometrilerin üçgen veya dörtgen yüzeylerinin sistematik bölünerek sayısının artırılması ile “jeodezik” formlar elde edilir. Fuller, bu yöntemi kullanarak döngüsel birleşimle oluşturulmuş jeodezik asma germe kubbeler tasarlamıştır. Asma germe kubbe tasarımını geliştirmek için düzgün sekiz yüzlü gibi, basit çok yüzlü geometrileri kullanmıştır (Kaya ve Arun, 2005). Şekil 3.17’de basit hücrelerin birleştirilmesiyle oluşturulmuş bir çatı modeli görülmektedir.



Şekil 3.17 : Çatı Model, Robert Le Ricolais (Url-5, 2015)

Çok yüzlü geometrilerin yüzeyleri belli bir katsayı ile bölünmeye devam edilirse daha hassas küresel formlar elde edilir. Bu bölme katsayısına “Bölme frekansı” denir, ve “ v ” ile ifade edilir. Sekiz yüzlü geometrinin her kenarını iki eşit parçaya bölerek elde edilen otuz iki üçgen yüzeyden meydana gelen geometriye “iki frekanslı sekiz yüzlü” denir. Bölme frekansı arttırılarak farklı jeodezik formlar elde edilebilir (Kaya ve Arun, 2005).

Jeodezik asma germe kubbelerde üçgen yüzeyleri meydana getiren asma germe hücreler, döngüsel birleşimle meydana gelmiş asma germe sistemlerdir. Kablo ve çubuk dağılımı bir modüler ızgara oluşturur. Her düğüm noktasında dört bağlantı elemanı birleşir (Kaya ve Arun, 2005).



Şekil 3.18 : Çapraz Asma Germe Model (Snelson, 2015)

Zig-zag birleşimde döngüyü korumak için, birbirlerinden ayrı duran çubuklar arasına Z şeklini çizen kablo birleşimi uygulanır. Zig-zag birleşimle oluşturulmuş asma germe sistemlerin en önemli özelliği, düğüm noktalarında en fazla üç çekme kablosu bulunmamasıdır (Kaya ve Arun, 2005). Şekil 3.18’de Snelson tarafından geliştirilen bir Zig-Zag model yer almaktadır.

Z birleşimli çok yüzlü asma germe sistemlerin oluşumunda modüler örgü düzeni elde edilir. Her bir örgü birimi üç ana birleşim noktasından meydana gelir. Birleşimler altıgen izdüşüm içinde yer alır. Bu modüler örgü, düzgün çok yüzlü geometrilerin yüz sayısı çoğaltılarak elde edilen jeodezik asma germe sistemleri meydana getirir. Birleşim özelliği nedeni ile jeodezik geometrinin bölünme frekans katsayısı üçün katlarıdır (Kaya ve Arun, 2005).

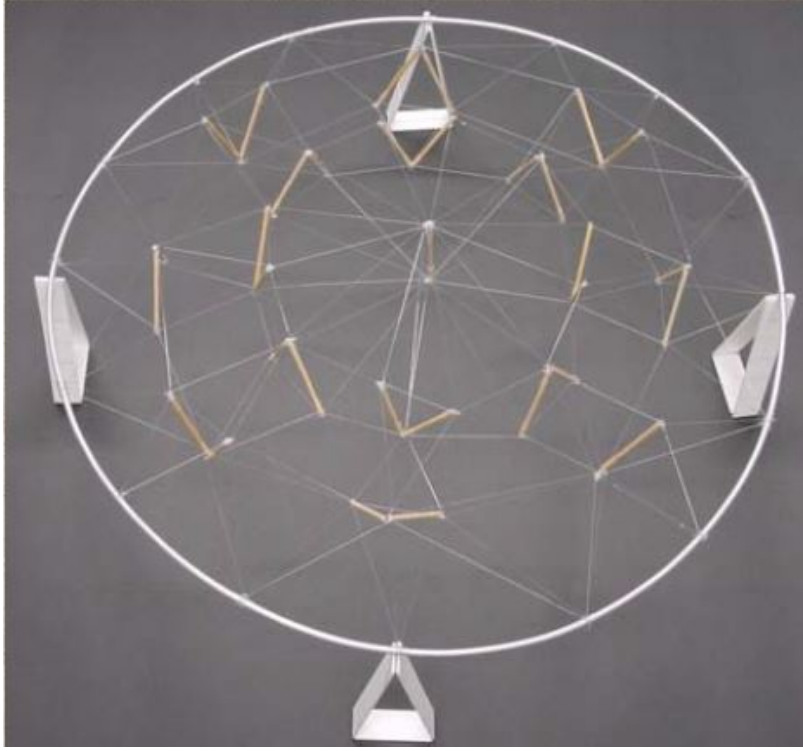
Kompleks asma germe sistemler, basit hücrelerin tanımlanmış prensipler doğrultusunda birleştirilmesi ile ortaya çıkar. Hücrelerin birleşimlerinde sistemdeki temel denge konumu korunmalıdır. Basit hücreler ile oluşturulmuş kompleks asma germe birleşimler, sistemdeki kablo ve çubuklar aynı uzunluktaysa “düzgün”, farklı uzunluktaysa “dağınık” birleşimlerdir. Her iki koşulda oluşan sistem, tek tabakalı basit hücrelerin bir araya gelmesi ile oluşturulan “Çift Tabakalı Asma Germe Sistemler”dir (Kaya ve Arun, 2005).

Hücrelerin birleştirilmesi ile ilgili ilk teoriyi Fuller öne sürmüştür. Fuller’in öğrencisi Snelson’un yardımı ile 1949 yılında da bir asma germe kolon modeli yapmıştır. Fuller bu çalışmasında pozitif ve negatif asma germe hücre adını verdiği iki stabil model yapmış, kare prizma sınırları içerisinde ters-simetrik duran “V” şeklindeki basınç çubuklarını kablolarla bağlayarak sistemin dengede durmasını sağlamıştır. Pozitif ve negatif hücreleri üst üste birbirlerine bağlayarak tek doğrultulu asma germe kolon elde etmiş, bu tek doğrultulu elemanlarla farklı yapı tasarımları yapmıştır. Snelson, Fuller’in çalışmasından sonra tek doğrultulu asma germe yapılara örnek olarak “İğne Kulesi” adlı ünlü çalışmasını tasarlamıştır.

Bilimadamı Emmerich’in iki öğrencisi, eğrisel doğrultulu asma germe yapı geliştirmiştir. Geliştirilen bu yapılar “halka”, “yay”, “kemer” şeklinde olup, basit hücrelerin birleşiminden oluşturulmuştur. Hücrelerin birleşiminde “düğüm-düğüm”, “düğüm-kablo”, “kablo-kablo” bağı gibi bir çok yöntem kullanılır. Düğüm-düğüm bağı birleşimlerinde, çubuklar birleştiği için tam asma germe prensibi kaybolur. Bunu önlemek için birbirine bağlanacak iki hücrenin, ortak yakın düğüm noktalarına fazladan kablolar eklenerek düğüm-kablo bağı yapılır. Temel asma germe hücrelerin yatay düzlemde birleştirilmesi ile “Düzlem Çift Tabakalı Asma Germe Sistemler” meydana gelir. Temel birleşimler, asma germe prizmalar veya piramitler ile yapılır (Kaya ve Arun, 2005).

İki çeşit birleşim yöntemi vardır.

- Birleşen hücreler sadece düğüm noktalarını paylaşır. Hücreler uç noktalarda birleşir. İzdüşümleri birbiriyle kesişmezler.
- Hücrelerin izdüşümleri birbiriyle kesişirler. Birleşen hücreler, birbirlerinin kablolarını paylaşır.

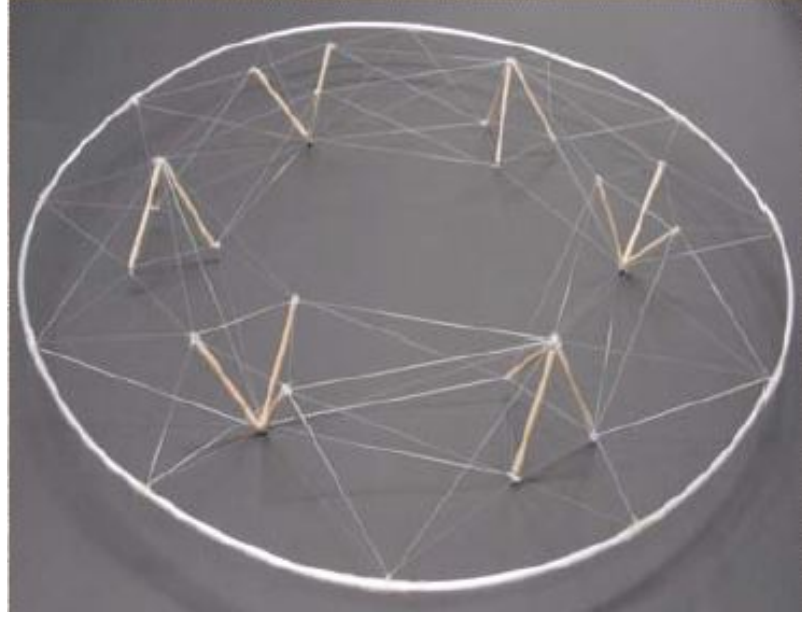


Şekil 3.19 : V Şekilli Ağ Model (Güney, 2014)

Çift tabakalı asma germe sistemlerin geometrisi, temel denge şartına ve hücrelerin kapalı modüler ızgara oluşturmalarına bağlıdır. Modüler çift tabakalı asma germe ızgaralar, birleşim yöntemlerine ve sistemi oluşturan çokgenlere göre çeşitlilik gösterir. Düğüm-düğüm bağı birleşimi ile, asma germe temel prensiplerini bozmayan sistemler elde etmek mümkündür. Fuller ve Snelson'un asma germe kolon çalışmalarındaki gibi basınç elemanlarının farklı birleşimi, sistemde süreksizliği olan tek bir elemanmış gibi davranarak, fazladan eklenmiş kabloların oluşturduğu süreklilik ile denge oluşturan bir sistem meydana getirir. Şekil 3.19'da V şekilli ağ model görülmektedir.

Asma germe prensiplerini kullanarak, hiçbir ilave kablo veya bağlantı elemanı gerekmeksizin, tek eğrilikli ve çift eğrilikli çift tabakalı asma germe sistemler elde edilir. Bunu gerçekleştirmek için temel hücrelerin düğüm noktalarının konumları üzerinde değişiklik yapılmalıdır. Seçilen düğüm noktaları yer değiştirilerek elde edilen sağlam yeni asma germe hücre, düğüm-düğüm bağı yapılarak tek eğrilikli, çift tabakalı asma germe yapı meydana getirir. Aynı çift tabakalı asma germe modül ızgarası kullanılarak, matematiksel hesaplamaları yapıldıktan sonra çift eğrilikli sistemler de elde edilir.

Oluşacak yapının şekli, düğüm noktaları arasındaki mesafe, kablo ve çubukların uzunlukları ile doğru orantılıdır. Matematiksel hesaplar yapılarak istenilen doğrultuda çift eğrilikli çift tabakalı asma yapılar oluşturabilir. Şekil 3.20’de V şekilli üç çubuklu ağ model görülmektedir.



Şekil 3.20 : V Şekilli Ağ Model Üç Çubuklu (Güney, 2014)

3.6 Asma Germe Form Bulma Yöntemleri

Asma germe sistemlerde form bulma yöntemlerini geliştirmek için birçok teorik model yapılmıştır. Kullanılan yöntemler sistemlerin mekanizmasını anlamak sistemin denge koşullarını araştırmak ve analiz etmek için tasarlanmıştır. Asma germe sistemlerin mekanizmasının analizi, sistem yüklenmeden önceki ve yüklendikten sonraki denge ve deformasyonlarının durumuna bağlıdır. Asma germe sistemler, statik ve dinamik analiz açısından belirli olmalıdır. Statik ve dinamik açıdan belirli olmayan sistemlerde, geometri ve kuvvet parametreleri belirsiz olup sistemin denge durumu kararsızdır (Kaya ve Arun, 2005).

Asma germe sistemlerin oluşumu, tesadüfi değerlere dayanmaz. Sistemdeki elemanların boyutları, geometrilerinin oluşumu ve kinematik değerler kesin hesaplar sonucu ortaya çıkar. Bu önemli parametrelerin elde edilmesi için asma germe sistemlerde form bulma ve temel denge durumu gibi etkilerin çözülmesi gerekir (Kaya ve Arun, 2005).

Form bulma yöntemleri, öncelikle sistem geometrisinin tanımlanmasına bağlıdır. Tasarlanacak sistemin geometrisi belirlendikten sonra, sisteme etkiyen kuvvetler ve kuvvet iletimi gibi etkilerin analiz edilmesi gerekmektedir.

Forn bulma yöntemleri için iki önemli yöntem geliştirilmiştir.

- Form Kontrolü (Deneme-Yanılma) yöntemi
- Kuvvet Kontrolü Yöntemi

Form bulma yöntemi ile ilgili ilk çalışma K.Snelson tarafından yapılmıştır. Hiçbir ölçüte dayanmadan, tamamen deneme-yanılma yöntemi ile oluşturduğu üç model, çok etkili bir şekilde sonuçlara ulaşmasını sağlamıştır. K.Snelson'un çalışmalarının amacı, sistemin denge konumunu, dengeyi oluşturan germe ve öngerme kuvvetlerini bulmaya yöneliktir. Emmerich'in çalışmaları ise daha çok geometrik ölçütlere dayanmaktadır. Çok büyük modeller yaparak önemli prensiplere ulaşmıştır. Yaptığı ilk modeller, temel denge prensiblerini ve sistemin iç gerilme dengesini tam olarak yansıtmamaktadır. Daha sonraki araştırmalarında "Otomatik germe" ismini verdiği, asma germe sistemlerin temel prensibini açıklayan başarılı modeller yapmıştır. Emmerich, çok yüzlü geometrileri kullanarak form bulma yöntemleri geliştirmiştir. Bu sistemlere "Tensypolyhedra" adı verilmiştir (Kaya ve Arun, 2005).

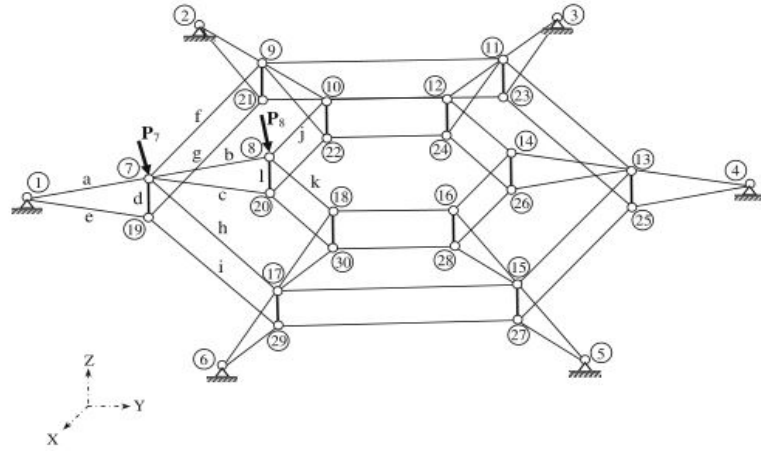
Asma germe sistemlerin tasarımı, sisteme etkiyen yükler doğrultusunda oluşan form ve germe kuvvetlerinin kavranmasına bağlıdır. Basit asma germe sistemler için analitik yöntemler kullanmak yeterli olurken, daha karmaşık asma germe sistemleri için nümerik yöntemler kullanmak yeterlidir. Genel kullanılan sistemler, düzgün asma germe sistemlerdir. Bu sistemlerin formu çubuk/kablo uzunlukları oranına bağlıdır. Asma germe sistemler, yapısındaki vektörel kuvvetlerin bileşkesi sıfır değerini aldığı için dengededir. Denge olan sistemler statik açıdan belirlidir.

3.7 Statik Analiz ve Tasarım

Asma germe sistemlerin analiz ve tasarımı betonarme, çelik ve ahşap yapılar gibi diğer yapı sistemlere nazaran daha zor ve çok zaman almaktadır. Asma germe sistemlerde öngermeli halat olmasından dolayı kusurlu yapı olarak kabul edilmektedir. Denge formları büyük deplasmanlar yaptığında sistem denge formunu kaybedebilmektedir. Asma germe sistemlerde deplasmanlar büyük önem arz

etmekte olup kontrol altında tutulması gerekmektedir. Asma germe sistemler doğrusal davranış göstermediklerinden bu sistemler doğrusal olmayan analiz yöntemiyle analiz edilmelidirler. Asma germe sistemlerin analizi ve tasarımı konusunda çeşitli akademik araştırmalar yapılmış ve bazı araştırmalar hala devam etmektedir.

Korkmaz ve Nuhoğlu (2010), yaptıkları çalışmada asma germe sistemlerin analizi için yaklaşık ve pratik bir yol önermiştir. Halatlı sistemlerin analizinde artımsal yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde sisteme yapılan yüklemeler doğrusal olmayan analiz yöntemiyle çözülmüştür. İki analiz adımı arasındaki fark 1×10^{-5} değerine ulaştığından sistemin analiz adımları sonuçlanmaktadır. Yapılan analizlerde sisteme yapılan yükleme ile beraber sisteme öngerme kuvveti uygulanmaktadır. Sistem adım adım öngerme kuvveti artırılarak ve yükleme altında deplasmanların belli bir sınıram altında tutarak kuvvetler altında sistemin tasarımını önermişlerdir. Şekil 3.21’de Korkmaz ve Nuhoğlu’nun analiz modeli yer almaktadır.



Şekil 3.21 : Korkmaz ve Nuhoğlu Örnek Analiz Modeli (Korkmaz, 2015)

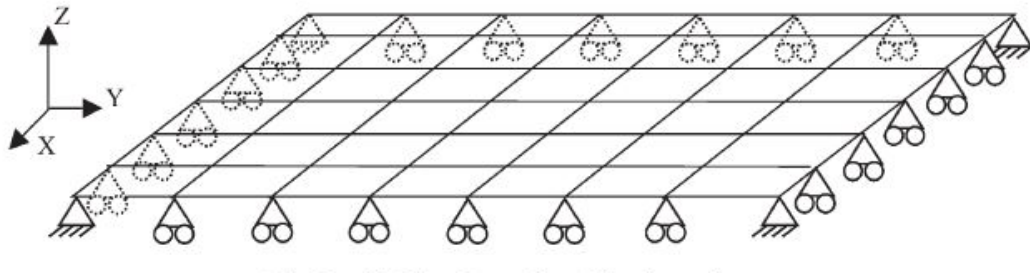
Quirant ve arkadaşları (2001), asma germe sistemlerin analizi ve Eurocode göre dizayn edilmesiyle ilgili yaptıkları çalışmada bir tasarım yöntemi geliştirmişlerdir. Analizlerde Eurocode yük parametreleri kullanılmıştır. Şekil 3.22’de Quirant ve arkadaşlarının analiz modeli yer almaktadır.

Quirant ve arkadaşları tarafından yapılan örnek analizde ölü yük G, hareketli yük Q ve öngerme yükü S yükleri dikkate alınarak analiz yapılmıştır. Yük kombinasyonları olarak,

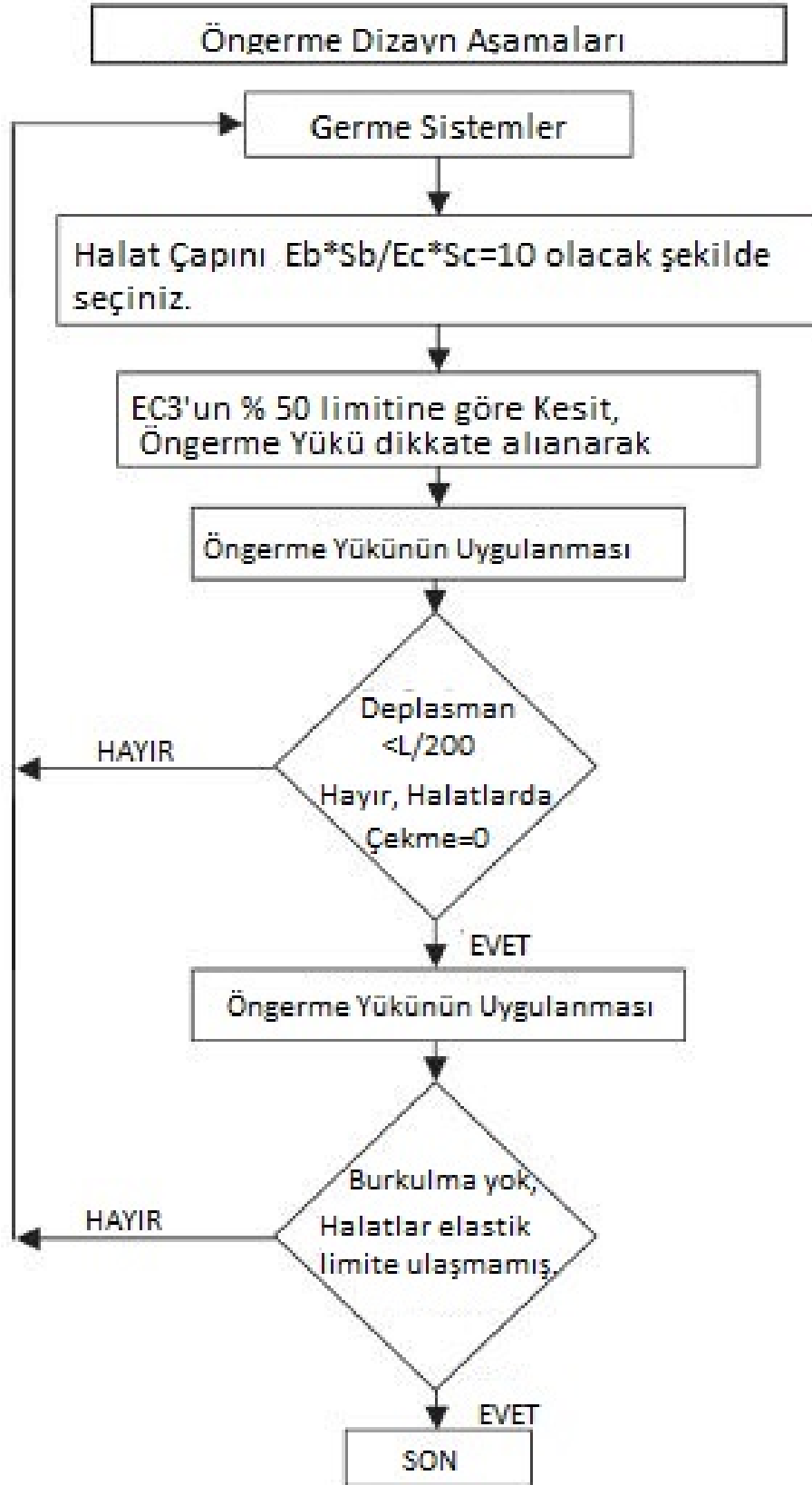
$$1.35 G + 1.5 Q + 0.8 S,$$

$$1.35 G + 1.5 Q + 1.2 S \text{ kullanılmıştır.}$$

Açıklıkta sehim değeri 1/200 den küçük olması kriteri dikkate alınmıştır. Sistem 180 N/m² yük altında tasarlanmıştır. Hesaplamalarda taşıma gücü esas alınmıştır. Tasarım yöntemi asma germe hesaplamalarda pratik bir yol göstermektedir. Şekil 3.23'te Quirant ve arkadaşlarının önerdiği tasarım yöntemi yer almaktadır.



Şekil 3.22 : Quirant ve arkadaşlarının Örnek Analiz Modeli (Quirant, 2015)



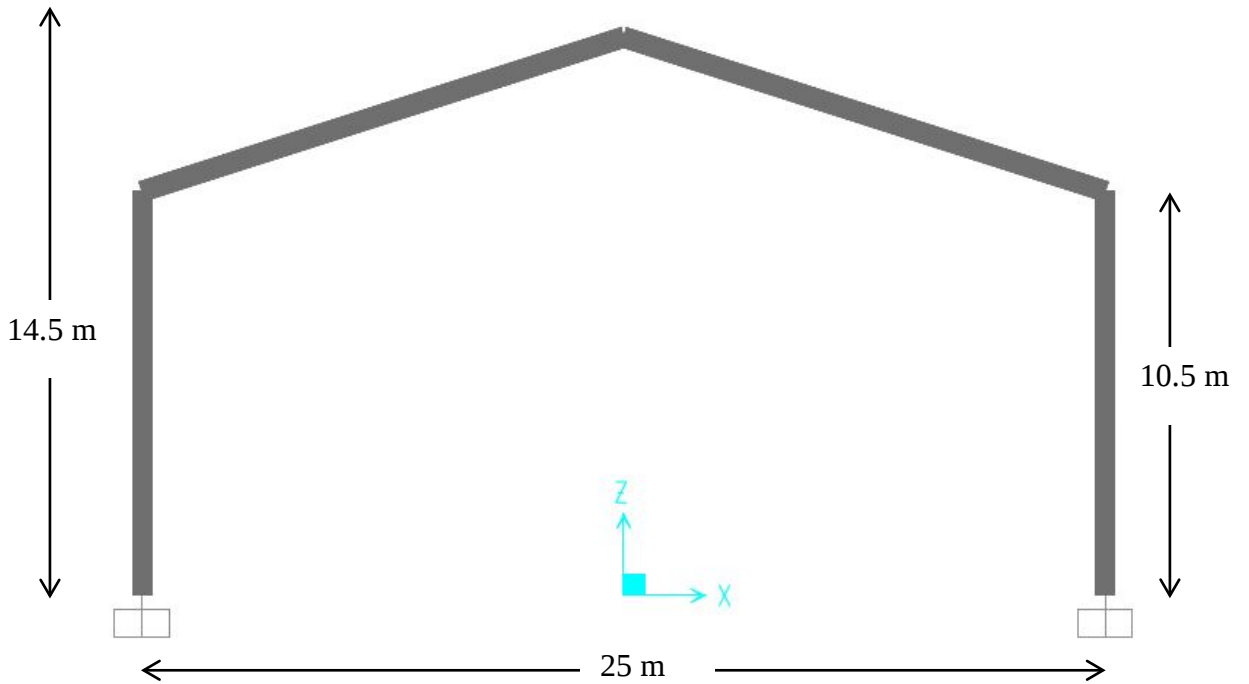
Şekil 3.23 : Asma Germe Tasarım Yöntemi, (Quirant, 2015)

4. ÖRNEK ÇALIŞMA

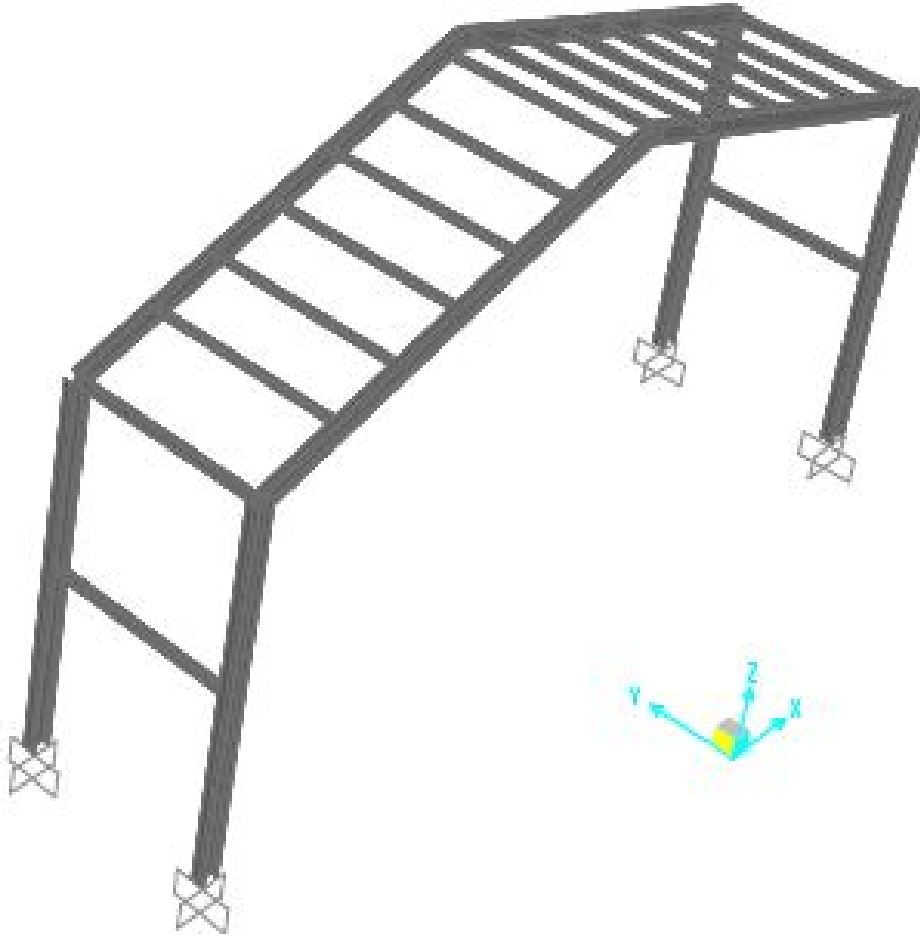
Bu bölümde, asma sistemlerin analiz ve davranışının irdelenmesi amacıyla örnek bir çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında endüstriyel bir yapı çeşitli şekillerde modellenmiştir.

4.1 Yapısal Modelleme

Asma Germe sistemlerin uygulanmasının analizi amacıyla endüstriyel bir yapı modeli oluşturulmuştur. Modellenen endüstriyel yapının kesitine ait bilgiler Şekil 4.1’de görülmektedir. Modellenen sistemler farklı şekillerde analiz edilmiştir. Seçilen ölçülerdeki Model 1 yanal desteksiz, Model 2 çelik çaprazlı, Model 3 dolgu duvarlı ve Model 4 halatlı olarak analiz edilmiştir. Model 4.1 ve 4.2 halatlı sistemin, halat çapının değiştirilmiş hali olarak analiz edilmiştir. Model 4.3 ve Model 4.4 halatlı sistemin öngerme uygunlanmış hali olarak analiz edilmiştir. Model 4.5 ve Model 4.6 halatlı sistemin halat aks sayısı artırılarak analiz edilmiş halidir. Model 4 dört takım halat olan sistemde, Model 4.5’te beş takım halat, Model 4.6’da altı takım halat olarak analiz edilmiştir.



Şekil 4.1 : Modellenen Endüstriyel Yapı Kesiti

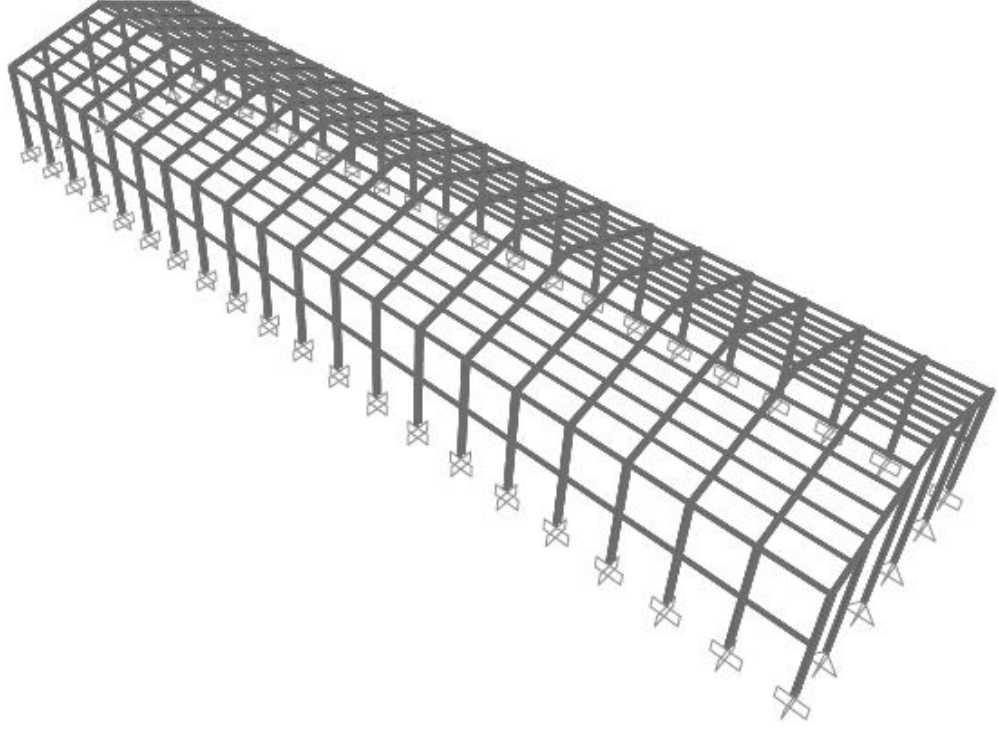


Şekil 4.2 : Modellenen Endüstriyel Yapı

İki aks ara 5.0 m olan sistemde, 21 aks ve 20 aralık bulunmaktadır. Şekil 4.2’de iki aks arası bir kesit görülmektedir. Modeller 10 farklı şekilde analiz edilmiştir. Modellere ait özellikler Çizelge 4.1’de yer almaktadır.

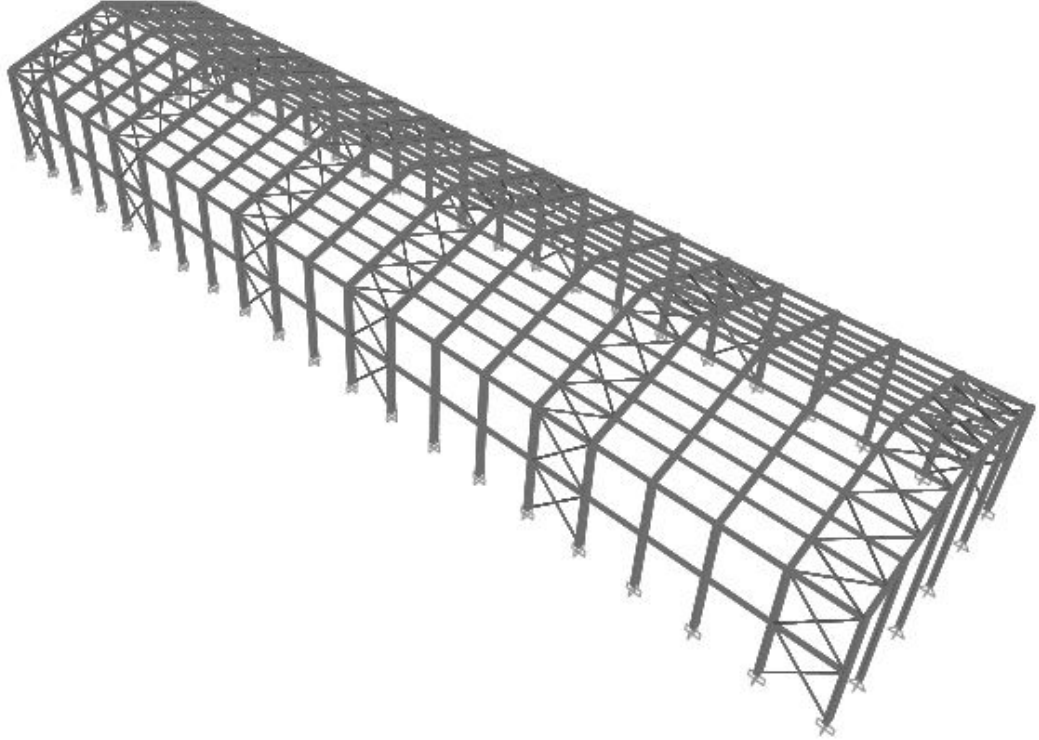
Çizelge 4.1 : Analizlerde kullanılan Çelik Çerçeve Tipi

Model	Yanal Tutucu	Halat Özellikleri
Model 1	Yanal Desteksiz	-
Model 2	Çelik Çapraz	-
Model 3	Dolgu Duvar	-
Model 4	Halat d=4 mm	4 Aks Halat, Esas Model
Model 4.1	Halat d=5 mm	4 Aks Halat, Halat çapı artırılmış
Model 4.2	Halat d=6 mm	4 Aks Halat, Halat çapı artırılmış
Model 4.3	Halat d=4 mm	4 Aks Halat, Öngerme Uygulanmış
Model 4.4	Halat d=4 mm	4 Aks Halat, Öngerme Uygulanmış
Model 4.5	Halat d=4 mm	5 Aks Halat
Model 4.6	Halat d=4 mm	6 Aks Halat

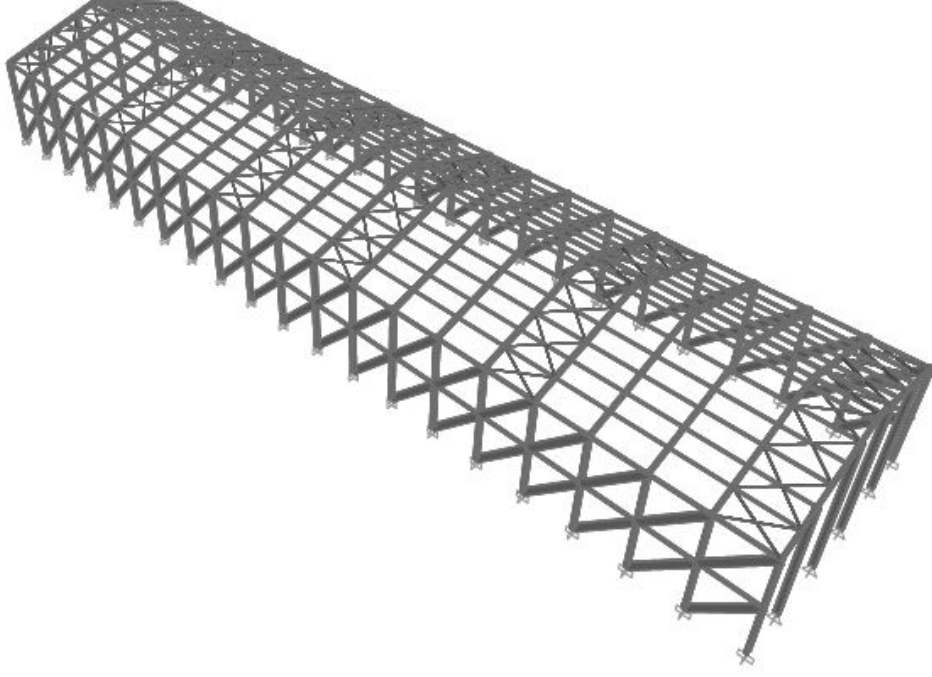


Şekil 4.3 : Model 1 Yanal Olarak Serbest Sistem

Model 1, yanal olarak desteksiz sisteme ait izometrik görünüş Şekil 4.3'te görülmektedir. Şekil 4.4'te ise Model 2'ye ait izometrik görünüş yer almaktadır.

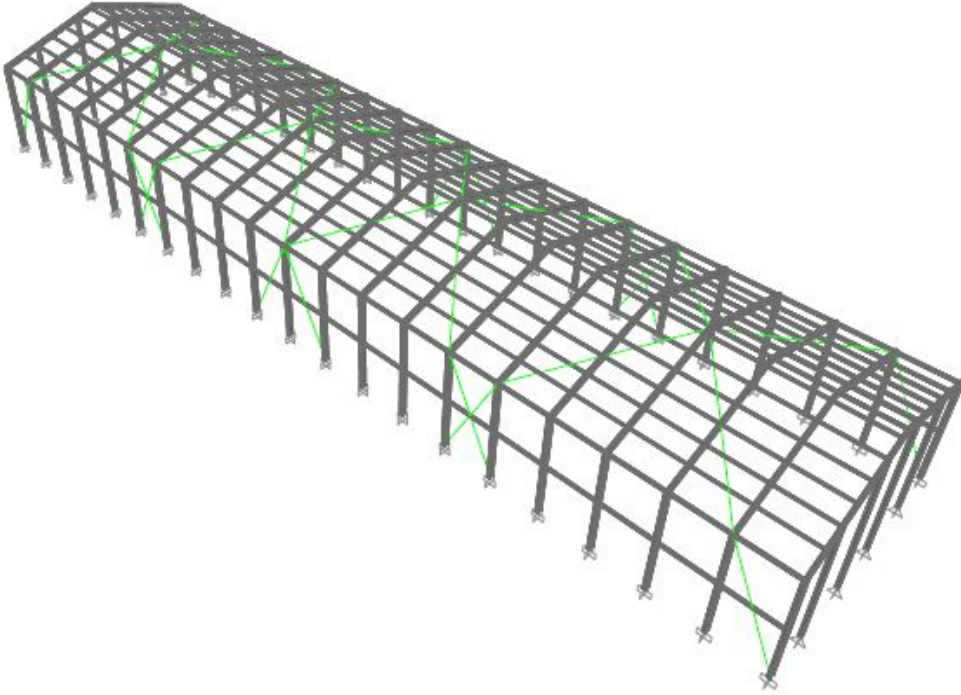


Şekil 4.4 : Model 2 Çelik Çaprazlı Sistem

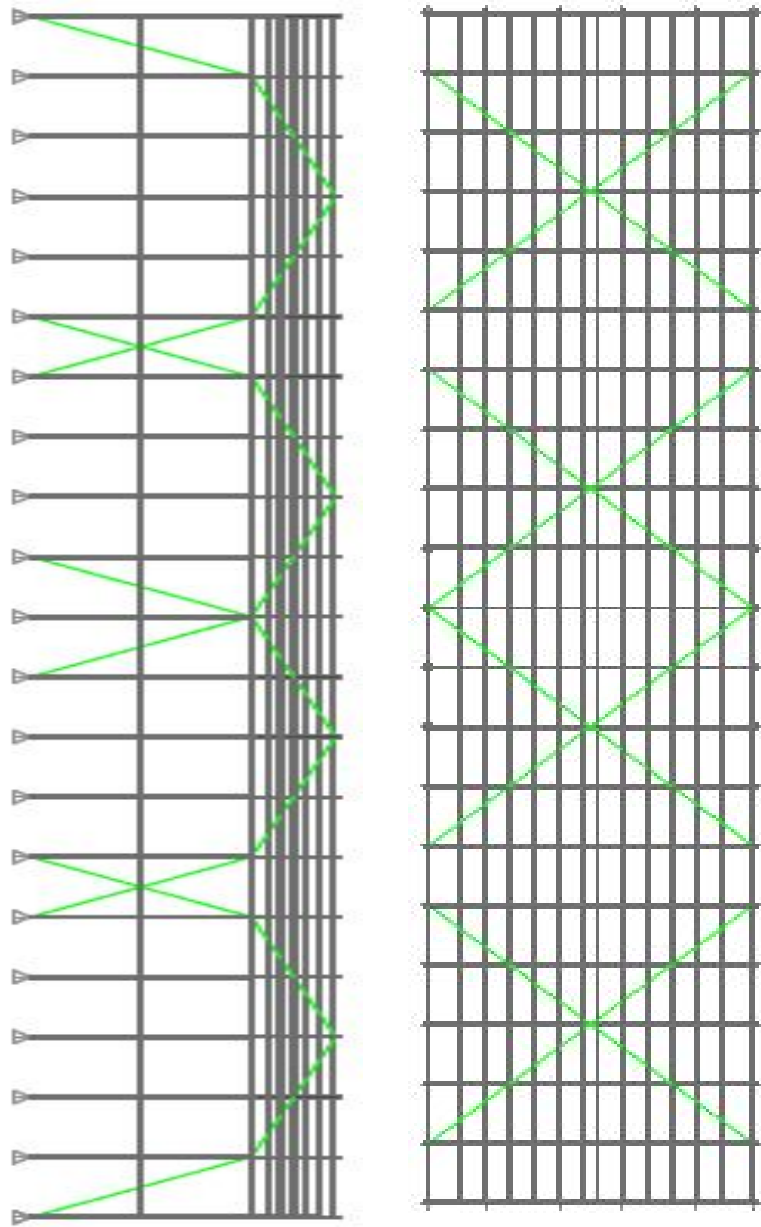


Şekil 4.5 : Model 3 Dolgu Duvarlı Sistem

Model 3, dolgu duvarlı sisteme ait izometrik görünüş Şekil 4.5'te görülmektedir. Şekil 4.6'da ise Model 4 ait izometrik görünüş yer almaktadır.



Şekil 4.6 : Model 4 Halatlı Sistem



Şekil 4.7 : Model 4 Halatlı Sistem Plan ve Kesit

Model 4 ait kesit ve plan Şekil 4.7’de görülmektedir. Halatlar simetrik ve çapraz şekilde yerleştirilmiştir

4.2 Çalışma Modelleri ve Özellikleri

Model olarak seçilen yapı 25.0 m genişliğinde, 100.0 m boyunda, 10.5 m yüksekliğindeki yapısal sistemlerden oluşmaktadır. Uzunlamasına 21 aks, eni ise tek açıklı sistemdir. Uzun yönde aks arası eşit ve 5.0 m’dir. Enine açıklık 25.0 m’dir. Çatı her iki tarafa 18° eğimli kırma çatıdan oluşmaktadır. Modellerde yanıl elemanlar haricindeki kesitler ve malzemeler aynıdır. Yapılan yüklemeler tüm modeller için aynıdır.

4.3 Malzeme ve Kesit Özellikleri

Modellerde Kolonlar HEA500, kirişler IPE500, Aşıklar IPE200 ve bağlantı kirişleri IPE240 seçilmiştir. Malzeme olarak Fe37 / S220 / S235JR kullanılmıştır. Malzemeye ait özellikler Şelik 4.8’de görülmektedir. Kolonlar alttan kuvvetli ve zayıf ekseninde ankastre olarak tanımlanmıştır. Kolonlar zayıf yönde mafsallı oldukları zaman, Model 1’de stabilite problemi ortaya çıktığından, kolonlar her iki yönde ankastre kabul edilmiştir. Kolonlar ve kirişler, moment aktaracak şekilde bağlanmıştır. Aşıklar ve bağlantı kirişlerinin kolonlara ve kirişlere bağlantılarında serbestlik özelliği sağlayabilmek için elemanların her iki ucunda moment aktarmama özelliği tanımlanmıştır. Şekil 4.9’da SAP2000 programına moment aktarmama özelliğinin tanımlanması görülmektedir.

Fe37 / ST 37 / S235JR Malzeme Mekanik Özellikleri,

Akma Dayanımı:	$F_y = 235 \text{ N/mm}^2$
Kopma Dayanımı:	$F_a = 360 \text{ N/mm}^2$
Çekme Emniyet Gerilmesi:	$F_t = 141 \text{ N/mm}^2$
Kesme Emniyet Gerilmesi:	$F_v = 94 \text{ N/mm}^2$
Eğilme Emniyet Gerilmesi:	$F_b = 155 \text{ N/mm}^2$
Elastisite Modülü:	$E = 210000 \text{ N/mm}^2$
Possion Oranı:	$\mu_s = 0,3$
Genleşme Katsayısı	$\alpha_t = 1.17\text{E-}05/^{\circ}\text{C}$
Birim Hacim Ağırlığı	$\gamma_s = 76.98 \text{ kN/m}^3$

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: S235JR ■

Material Type: Steel

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7.697E-05

Mass per Unit Volume: 7.849E-09

Units

N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 210000.

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 80769.23

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 235.

Minimum Tensile Stress, Fu: 360.

Effective Yield Stress, Fye: 258.5

Effective Tensile Stress, Fue: 396.

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 4.8 : S235JR Malzeme Özellikleri

Model 1’de herhangi bir yanal engelleme eleman tanımlanmamıştır. Model 1’deki sistem yanal olarak tamamen serbesttir.

Model 2’de çelik çapraz kesitleri olarak 88.9/3.0 mm boru profiller tanımlanmıştır. Çapraz elemanların her iki ucunda moment aktarmama özelliği tanımlanmıştır. Çelik çapraz elemanlar Şekil 4.4 gibi yerleştirilmiştir.

	Release		Frame Partial Fixity Springs	
	Start	End	Start	End
Axial Load	☐	☐		
Shear Force 2 (Major)	☐	☐		
Shear Force 3 (Minor)	☐	☐		
Torsion	☒	☐	0.	
Moment 22 (Minor)	☒	☒	0.	0.
Moment 33 (Major)	☒	☒	0.	0.

☐ No Releases

Units: N, mm, C

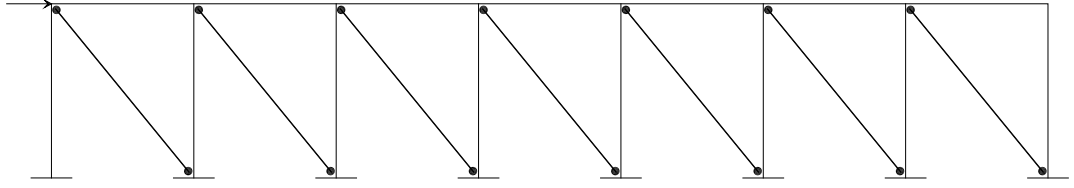
OK Cancel

Şekil 4.9 : Moment aktarmama Özelliği

Model 3 dolgu duvarlı sistemden oluşmaktadır. Dolgu duvarlar DBYBHY (2007) dikkate alınarak eşdeğer köşegen çubuk olarak modellenmiştir. Dolgu duvarlı çerçevelerin davranışı temel olarak; duvar malzemesinin mekanik özelliklerine, duvarın kalınlığına, kullanılan dolgu harcına, duvarların çerçeveye bağlanış şekline ve duvarlarda bulunan boşluklarla doğrudan bağlıdır.

Dolgu duvarlar yapının rijitliğini artırarak çerçeve elemanların üzerine gelen deprem kuvvetlerini azaltır. Bununla birlikte dolgu duvarın yerleşim biçimine bağlı olarak kısa kolon davranışı, yumuşak kat davranışı ve yapıda burulma gibi olumsuz etkileri de olabilmektedir .

DBYBHY 2007'nin "Bilgilendirme Eki 7F" bölümünde dolgu duvarın modelleme esaslarıyla ilgili yöntemler bulunmaktadır. DBYBHY 2007'de duvarların eşdeğer köşegen basınç çubuğu şeklinde modellenmesine izin verilmektedir. Basınç çubuğunun yönünün ise Şekil 4.10 da görüldüğü gibi yatay kuvvet yönünde olması istenmektedir.

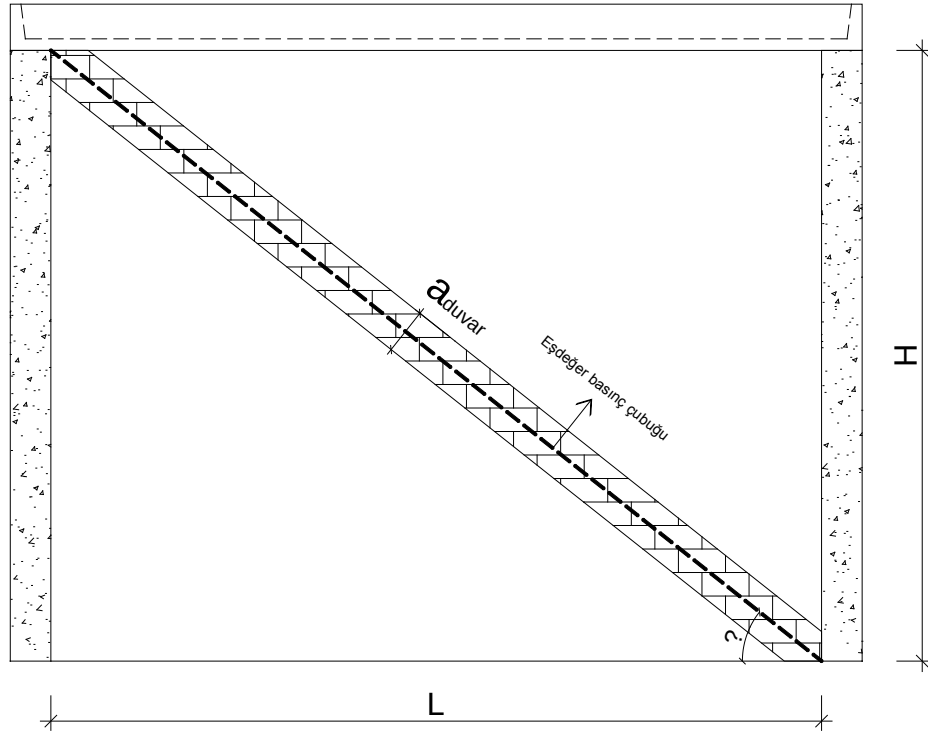


Şekil 4.10 : Dolgu Duvarlı Çerçeve Modeli

DBYBHY 2007'ye göre dolgu duvarlar modellenirken, eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığının mevcut dolgu duvarın kalınlığına eşit olması kabul edilmiştir. Çubuk genişliğini temsil eden aduvar ise Denklem 4.1'deki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$a_{du\ var} = 0.175(\lambda_{du\ var} h_k)^{-0.4} r_{du\ var} \quad (4.1)$$

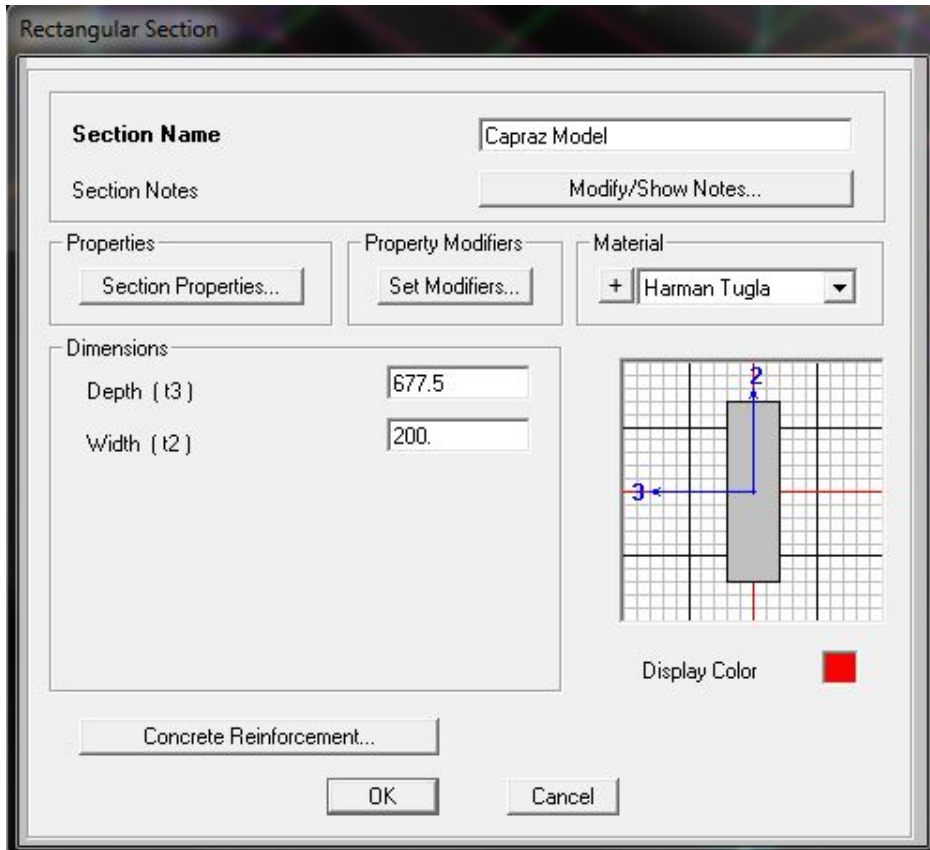
Bu formülde aduvar çubuk genişliği (mm), h_k kolon boyunu (mm), r_{duvar} , dolgu duvarı köşegen uzunluğunu (mm) göstermektedir. λ_{duvar} ise Denklem 4.2'den hesaplanmaktadır.



Şekil 4.11 : Yapıda Dolgu Duvar Gösterimi (Karahana, 2009)

$$\lambda_{du\ var} = \left[\frac{E_{du\ var} t_{du\ var} \sin 2\theta}{4E_c I_k h_{du\ var}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2’de Eduvar ve Es dolgu duvarın ve çerçeve çelik kolunun elastisite modülünü, tduvar ve hduvar duvar kalınlığını ve yüksekliğini (mm), I_k çelik kolunun atalet momentini (mm⁴) ve θ köşegenin yatay ile olan açısını göstermektedir. Şekil 4.11’de dolgu duvar parametreleri görülmektedir. Dolgu duvarın SAP2000 programında gösterimi Şekil 4.12’deki gibidir. Duvarın malzeme özelliklerini oluşturan Eduvar ve fduvar değerleride yine DBYBHY 2007 Bilgilendirme Eki 7F. Bölümünde verilmektedir.



Şekil 4.12 : SAP2000’de Dolgu Duvar Gösterimi

Dolgu duvar malzemesi olarak harman tuğlası seçilmiştir. Harman tuğlasına ait mekanik özellikler belirtilmiştir. Harman tuğlasının çapraz eleman olarak SAP2000 programına atanması Şekil 4.13’te görülmektedir.

Dolgu Duvar Malzeme Mekanik Özellikleri-Harman Tuğlası,

Duvar Elastisite Modülü:	$E_d = 1000 \text{ N/mm}^2$
Duvar Kalınlığı:	$t_{\text{duvar}} = 200.0 \text{ mm}$
Köşegen açısı:	$\theta = 47.34^\circ$
Kolon Elastisite Modülü:	$E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$
Kolon Atalet Momenti:	$I_k = 10370 \text{ mm}^4$
Düşey Yükseklik:	$H = 5100 \text{ mm}$
Yatay Mesafe:	$L = 5000 \text{ mm}$
Köşegen Duvar Uzunluğu	$r_d = 6930.54 \text{ mm}$
Duvar Basınç Dayanımı	$f_d = 2.00 \text{ N/mm}^2$
Duvar Kesme Dayanımı	$\tau_d = 0.25 \text{ N/mm}^2$
	$\lambda = 0.0082$
	$a = 670.75 \text{ mm}$

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Harman Tuğla ■

Material Type: Concrete

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 9.807E-06

Mass per Unit Volume: 1.000E-09

Units

N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 1000.

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 416.6667

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 2.0

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 4.13 : Harman Tuğla Malzeme Özellikleri

Model 4 halatlı sistemden oluşmaktadır. Halatlar sadece çekmeye çalışan eleman olarak modellenmiştir. Halatlar yük aktarımını yapacak şekilde modellenmiştir. Halatlar çekme yüklerini almaları için, düzgün ve simetrik olarak yerleştirilmiştir. Halatlar, yanal yüklerin diğer yönden gelen tersinir yüklerini tutmak amacıyla simetrik olarak yerleştirilmiştir. Yükleme esnasında yanal yükün +Y yönünde olması durumunda halatların bir kısmı çekmeye çalışacak, diğer halatlar yük almayacaktır. Yükleme esnasında yanal yükün -Y yönünde olması halinde +Y yükünde yük alan halatlar yük almayacak, diğer halatlar yük alacaktır.

Halata ait mekanik özellikler belirtilmiştir. Halat malzemesinin SAP2000 programında tanımlanması Şekil 4.14'te görülmektedir.

Halat Malzeme Mekanik Özellikleri,

Elastisite Modülü: $E = 200000 \text{ N/mm}^2$

Çekme Emniyet Gerilmesi: $F_t = 1470 \text{ N/mm}^2$

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Halat

Material Type: Tendon

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7.697E-05

Mass per Unit Volume: 7.849E-09

Units: N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 200000

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 76923.08

Other Properties for Tendon Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 1470.9975

Minimum Tensile Stress, Fu: 1470.9975

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 4.14 : Halat Malzeme Özellikleri

Cable Section Data

Cable Section Name Cab4
 Section Notes Modify/Show...

Cable Material
 Material Property + Halat

Cable Properties
☒ Specify Cable Diameter 4.
☐ Specify Cable Area 12.5664
 Torsional Constant 25.1327
 Moment of Inertia 12.5664
 Shear Area 11.3097
 Modify/Show Cable Property Modifiers...

Units
 N, mm, C
 Display Color ☒

OK Cancel

Şekil 4.15 : SAP2000’de Halat Özellikleri

Halat çapı olarak 4 mm olarak seçilmiştir. Statik itme analizinde yük adımlarının daha çok olması için halat çapı küçük seçilmiştir. SAP2000 programında halatların tanımlanması Şekil 4.15’teki gibidir.

4.4 Yapıya Etkiyen Yükler

Yapıya kendi öz ağırlığı, kaplama yükü, kar yükü, deprem yükü ve artımsal itme yükleri etkilmiştir. Yapının taşıyıcı sisteminin ağırlığı, SAP2000 programı tarafından otomatik olarak hesaplanmış ve sisteme yayılı yük olarak etkitirilmiştir. Taşıyıcı sistemin birim hacim ağırlığı 76.98 kN/m^3 alınmıştır. Yapının çatı kaplaması olarak sandviç panel modellenmiştir. Sandviç panel birim ağırlığı 98.1 N/m^2 alınmıştır. Sandviç panelin ağırlığı kirişlere yayılı yük olarak etkitirilmiştir.

Kar yükü TS 498 dikkate alınarak 784.5 N/m^2 alınmıştır. Kar yükü sandviç panel yüküne benzer şekilde kirişlere yayılı yük olarak etkitirilmiştir. Yapıya etkiyen yüklerin SAP2000 programındaki analiz biçimi Şekil 4.16'da belirtilmiştir.

Yükler;

Sandviç Kaplama Yükü;	98.1 N/m^2
İlk ve son akslar	$98.1 \times 2.5 \text{ m} = 245.5 \text{ N/m}$
Orta akslar	$98.1 \times 5.0 \text{ m} = 490.5 \text{ N/m}$

Kar Yükü;	784.5 N/m^2
İlk ve son akslar	$784.5 \times 2.5 \text{ m} = 1961.25 \text{ N/m}$
Orta akslar	$784.5 \times 5.0 \text{ m} = 3922.5 \text{ N/m}$

4.5 Yapıya Etkiyen Deprem Yükleri

Yapıya etkiyen deprem yükleri Zaman-Tanım aralığında dinamik analiz yöntemi ile uygulanmıştır. Analizlerde 20 adet deprem veri seçilmiştir (PEER). Deprem verilerine bilgiler Çizelge 4.2'de yer almaktadır. Farklı yerlerde meydana gelen farklı depremler tercih edilmiştir. Deprem hesaplamalarında taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=1$ alınarak elastik analiz yapılmıştır.

Çizelge 4.2 : Analizlerde kullanılan deprem verileri (PEER, 2015)

No	Deprem	Tarih	İsim	Mw	Yer Hızı (cm/s)	Yer İvmesi (g)	Odak Uzaklığı (km)	Fay Tipi
1	Cape Mendocino	25.04.1992	CPM000	7.01	90.38	1.35	9.6	Ters Atımlı
2	Chi Chi	20.09.1999	CHY080-E	7.62	87.21	0.82	6.76	Ters Eğik Atımlı
3	Coalinga-02	09.05.1983	A-ATC270	5.09	19.09	0.58	12	Ters Atımlı
4	Coyote Lake	06.08.1979	G06230	5.74	37.67	0.4	9.6	Yanal Atımlı
5	Dinar	01.10.1995	DIN090	6.4	33.17	0.3	5	Yanal Atımlı
6	Imperial Valley-06	15.10.1979	H-BCR140	6.53	53.86	0.69	9.96	Yanal Atımlı
7	Kobe	16.01.1995	KJM000	6.9	77.83	0.71	17.9	Yanal Atımlı
8	Kocaeli	17.08.1999	DZC180	7.51	55.32	0.33	15	Yanal Atımlı
9	Landers	28.06.1992	LCN260	7.28	111.05	0.72	7	Yanal Atımlı
10	Loma Prieta	18.10.1989	LGP000	6.93	77.15	0.78	17.48	Ters Eğik Atımlı
11	Mammoth Lakes-06	27.05.1980	L-LUL000	5.94	35.21	0.63	14	Yanal Atımlı
12	Morgan Hill	24.04.1984	CYC195	6.19	68.35	0.97	8.5	Yanal Atımlı
13	N.Palm Springs	08.07.1986	NPS210	6.06	49.65	0.59	11	Ters Eğik Atımlı
14	Nahanni	23.12.1985	S1010	6.76	43.19	1.06	8	Ters Atımlı
15	Northridge-01	17.01.1994	RRS228	6.69	72.33	0.76	17.5	Yanal Atımlı
16	Parkfield	28.06.1966	C05085	6.19	23.92	0.38	10	Yanal Atımlı
17	Superstition Hills-02	24.11.1987	B-SUP045	6.54	36.89	0.79	9	Yanal Atımlı
18	Tabas	16.09.1978	TAB-LN	7.35	98.2	0.81	5.75	Ters Atımlı
19	Whittier Narrows-01	01.10.1987	A-TAR000	5.99	20.2	0.6	14.6	Ters Eğik Atımlı
20	Yountville	03.09.2000	016A090.	5	36.16	0.51	10.12	Yanal Atımlı

4.6 Hesap Esasları ve Analiz Yöntemleri

Yapı yanal yükler etkisinde iki şekilde analiz edilmiştir. Birinci analiz yöntemi Artımsal Statik İtme Analizi, ikinci analiz yöntemi ise Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz yöntemidir.

4.7 Artımsal Statik İtme Analizi

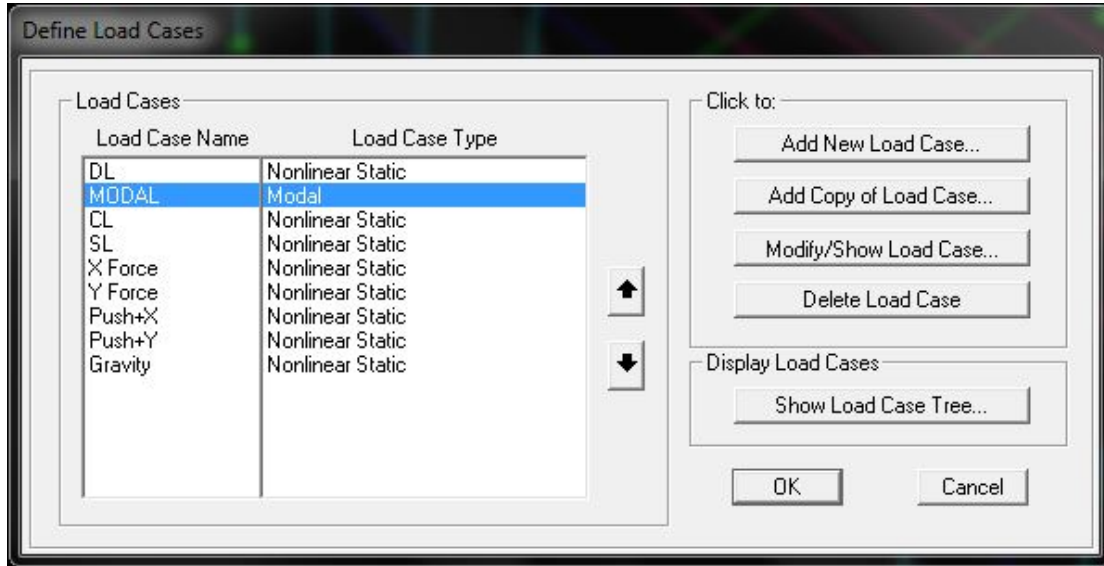
Mevcut yapıların doğrusal olmayan analizlerinde kullanılan doğrusal olmayan artımsal statik itme analizi, yapının yatay deprem yükleri altında dayanımını ifade eden kuvvet-yer değiştirme eğrisinin elde edilmesine dayanmaktadır. Doğrusal olmayan analizde elemanların elastik ötesi davranışını hesaba katmak için yapının matematiksel modeli değiştirilir. Değiştirilen yapı modeli, yatay yükler altında başka elemanlarda akmalar meydana gelene kadar tekrar yüklenir. Bu işlem yapının stabilitesi bozulana kadar veya daha önce belirtilen bir sınır değere ulaşana kadar devam eder. Analiz sonunda elde edilen eğri, yapının elastik sınırı aştıktan sonra nasıl davranacağını değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Karahan, 2009).

Artımsal statik itme analizi belli bir yük dağılımı altında bir yapıyı, yapısal sistemin stabilitesi bozulana dek yanal yatay yük uygulamak olarak tanımlanır. Önceden tanımlanmış bu yük dağılımı binanın yatay deprem kuvvetleri altındaki davranışını yansıtacak şekilde olmalıdır. Literatürde farklı itme önerileri sunulmuştur:

- a) Yatay yükün tamamı en üst kat seviyesinden etkililir.
- b) Her kata deprem yönetmeliklerinde yer alan eşdeğer statik yük yönteminden çatıya ilave yük koyulmadan hesaplanan eşdeğer deprem yükleri, yatay yük olarak kat seviyelerine etkililir.
- c) İlk mod şekli ile kat kütlelerinin çarpımının oranları olan yatay yükler kat seviyelerine uygulanır. Böyle bir itme şekli, yapının birinci moduna ait tepkisini elde etmemize yarar. Birinci mod şeklinin baskın olduğu binalarda (genellikle doğal titreşim periyodu 1 saniyeden küçük binalar) kullanılabilir.
- d) Yapıda ilk eleman aksaması görülene dek bir önceki seçenекle aynıdır. Ancak daha sonra, yük dağılımı değişen şekil değiştirme ve davranışa uyacak şekilde düzenlenmelidir. Bu değişken itme şekli, daha çok yumuşak katlı yapılarda kullanılması önerilir .

e) Önceki iki seçenekte verilen itme şekilleri uygulanır. Ancak yüksek frekanslı modların katkılarını da dikkate almak gerekir. Yüksek yapılarda veya düzensizliklerin bulunduğu yapılarda kullanılması tavsiye edilir. (Karahan, 2009).

Bu şekillerin yanı sıra FEMA 356’da da çeşitli itme şekilleri sunulmuştur. 1. mod atalet kuvveti, uniform ve SRSS yük dağılımları da günümüzde oldukça kabul görmektedir. Analizlerde itme şekli belirlendikten sonra, bina çatı yer değiştirme veya istenilen bir düğümün yer değiştirme kontrol edilerek, yavaş yavaş itilir. Bu adımlar boyunca yer değiştirme ve taban kesme kuvveti kaydedilir. Binanın itildiği her bir adımda önceden belirlenmiş mafsallık bölgelerinin taşıma kapasitelerine (akma noktalarına) ulaşmış ulaşmadığı kontrol edilir. Akma noktasına ulaşmış bölgelerde (plastik mafsallık) yapısal eleman ikiye bölünerek mafsallık tanımlanmış bölge düğüm haline getirilir ve bu düğüme plastik mafsallık elemanını dönme rijitliğini yansıtan bir dönme redörü konularak analize devam edilir. Analiz yapı stabilitesini kaybedinceye kadar devam eder (Karahan, 2009).



Şekil 4.16 : SAP2000’de Analiz Seçenekleri

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Notes:

Load Case Type:

Initial Conditions:

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

☐ Linear

☒ Nonlinear

☐ Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case:

Geometric Nonlinearity Parameters:

☐ None

☒ P-Delta

☐ P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Y Force	1.
Load Pattern	Y Force	1.

Other Parameters:

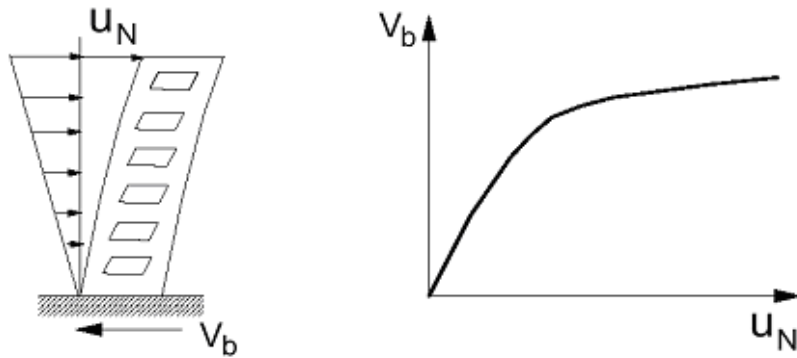
Load Application:

Results Saved:

Nonlinear Parameters:

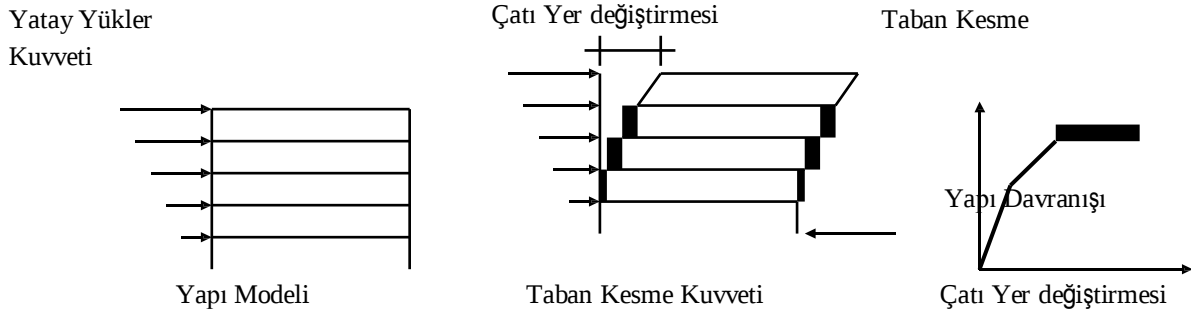
Şekil 4.17 : SAP2000’de Statik İtme analiz seçenekleri

Böylelikle yapının taban kesmesi – çatı yer değiştirmesi eğrisi Şekil 4.18’deki gibi elde edilmiş olur.



Şekil 4.18 : İtme Şekli ve Çatı Yer Değiştirmesi–Taban Kesme Kuvveti

Yapının tepe noktası yer değıştirmesi ve taban kesme kuvveti arasındaki ilişki grafik Şekil 4.19'deki gibi çizilir.



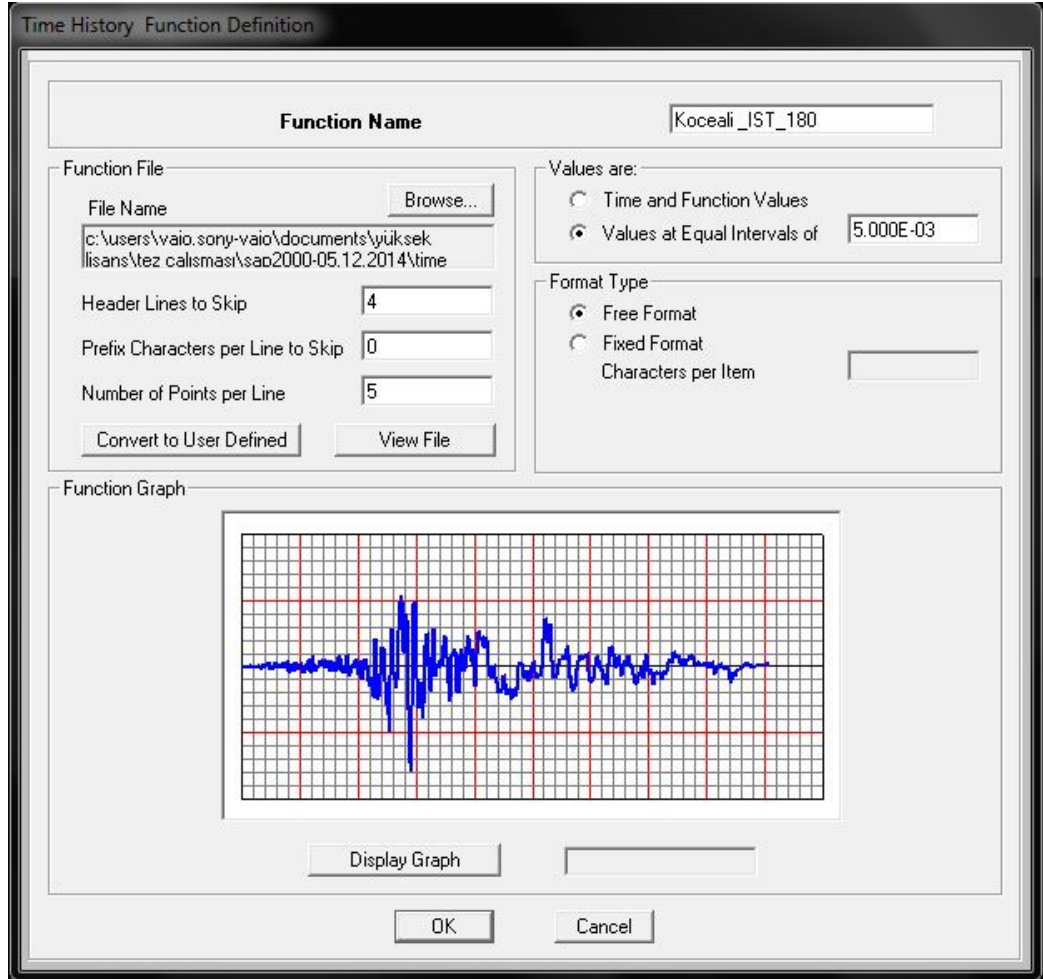
Şekil 4.19 : Doğrusal olmayan analizde kullanılan statik yaklaşım

Analizde yük veya yer değıştirmenin her artımı için elemanlarda maksimum iç kuvvetlerin oluşacağı kontrol noktalarında eleman plastik davranış özellikleri verilen noktalarda iç kuvvetler kontrol edilir. Bu kontrol noktalarında iç kuvvetler doğrusal davranış sınırının üzerine çıktığında elemanların rijitlikleri tekrar hesaplanarak analize devam edilir. Analiz, elemanların ve dolayısıyla sistemin göçmesine kadar devam eder. Göçme yüküne kadar yapının doğrusal ve doğrusal olmayan davranışa ait yanal kuvvet değerleri ile yer değıştirmeler belirlenir.

Her bir modelin düğüm noktalarına 0.98 kN +Y yönünde etkililerek dinamik analiz ile çözülmüştür. Bu analizde +Y yönündeki yanal yer değıştirmeler ve tepki kuvvetleri incelenmiştir. Statik İtme analizi SAP2000 yük parametreleri Şekil 4.17 gibidir.

4.8 Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz

Çalışma kapsamında zaman tanım alanında dinamik analiz SAP2000 sonlu elemanlar programıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.20’de analiz fonksiyonu verilmiştir. Şekil 4.21’de de deprem yükünün girilişi verilmektedir.



Şekil 4.20 : Zaman tanım alanında dinamik analiz

Zaman tanım alanında dinamik analizde 20 farklı deprem verisi kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan deprem verileri, Çizelge 4.6’da verildiği gibidir. “Cape Mendocino, Chi Chi, Coalinga-02, Coyote Lake, Dinar, Imperial Valley-06, Kobe, Kocaeli, Landers, Loma Prieta, Mommoth Lakes-06, Morgan Hill, N.Palm Springs, Nahanni, Northridge-01, Parkfield, Superstition Hills-02, Tabas, Whittier Narrows-01, Yountville ” depremleridir. Büyük taban kesme kuvvetlerinin elde edilmesi amacıyla farklı ve yer ivmesi büyük depremler seçilmeye özen gösterilmiştir.

Seçilmiş olan depremlerin en büyük yer ivmesi değerleri, 1.35g ile 0.3g arasında en büyük yer hızı değerleri ise 111.05 cm/s ile 19.09 cm/s arasında değişmektedir. Zaman tanım alanında dinamik analizde kullanılan bu deprem verileri, PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) sayfasından (<http://peer.berkeley.edu>) elde edilmiştir (PEER, 2015).

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: THY-8 [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Initial Conditions:

- ☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- ☐ Continue from State at End of Nonlinear Case []

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

- ☐ Linear
- ☒ Nonlinear

 Time History Type:

- ☐ Modal
- ☒ Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters:

- ☒ None
- ☐ P-Delta
- ☐ P-Delta plus Large Displacements

Modal Load Case: Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	Koceali_IJT	9810.
Accel	U2	Koceali_IJT	9810.

[Add] [Modify] [Delete]

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

- Number of Output Time Steps: 5437
- Output Time Step Size: 5.000E-03

Time History Motion Type:

- ☒ Transient
- ☐ Periodic

Other Parameters:

- Damping: Proportional Damping [Modify/Show...]
- Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

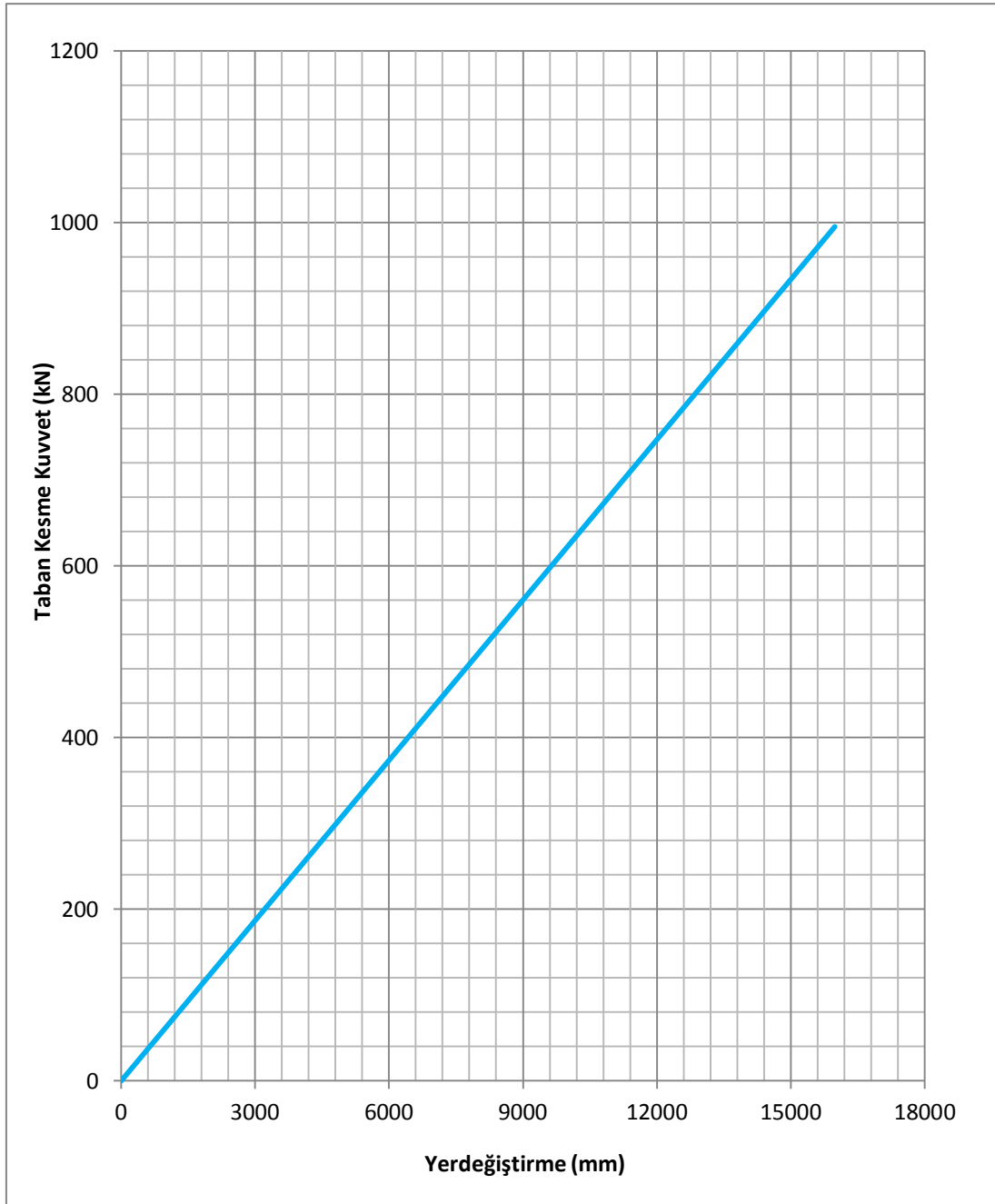
Şekil 4.21 : Zaman tanım alanında analiz yük tanımı

5. ANALİZ SONUÇLARI

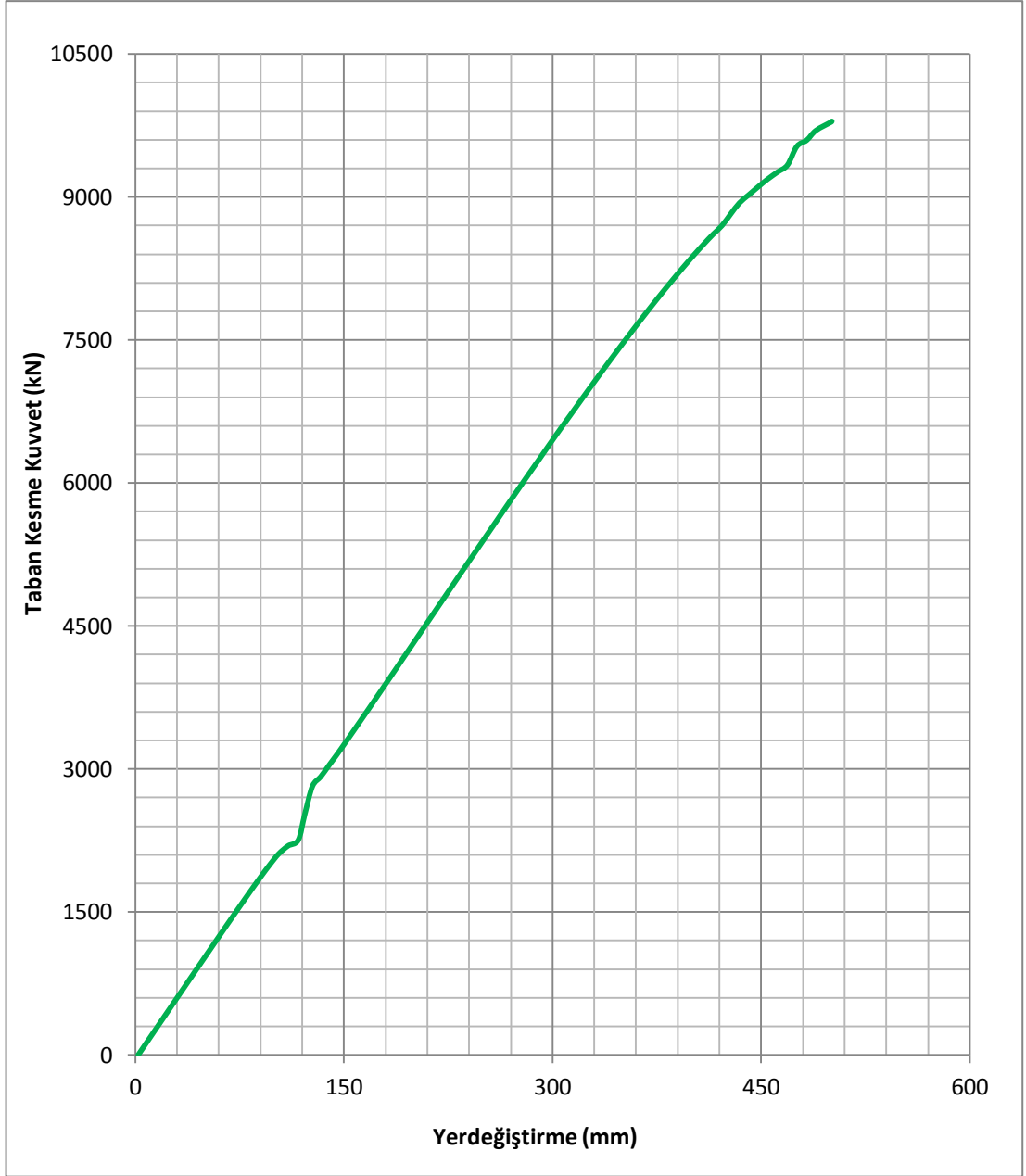
Analiz Sonuçlarının verildiği bu bölümde Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım alanında yapılan dinamik analizlerin sonuçları grafikler şeklinde yer almaktadır. Analiz sonuçlarından elde edilen taban kesme kuvveti – yerdeğiştirme grafikleri çizilmiştir. Taban kesme kuvvetleri ve seçilen bir noktadaki yer değiştirmeler SAP2000 programı ile elde edilmiştir.

5.1 Statik Analiz İtme Analiz Sonuçları

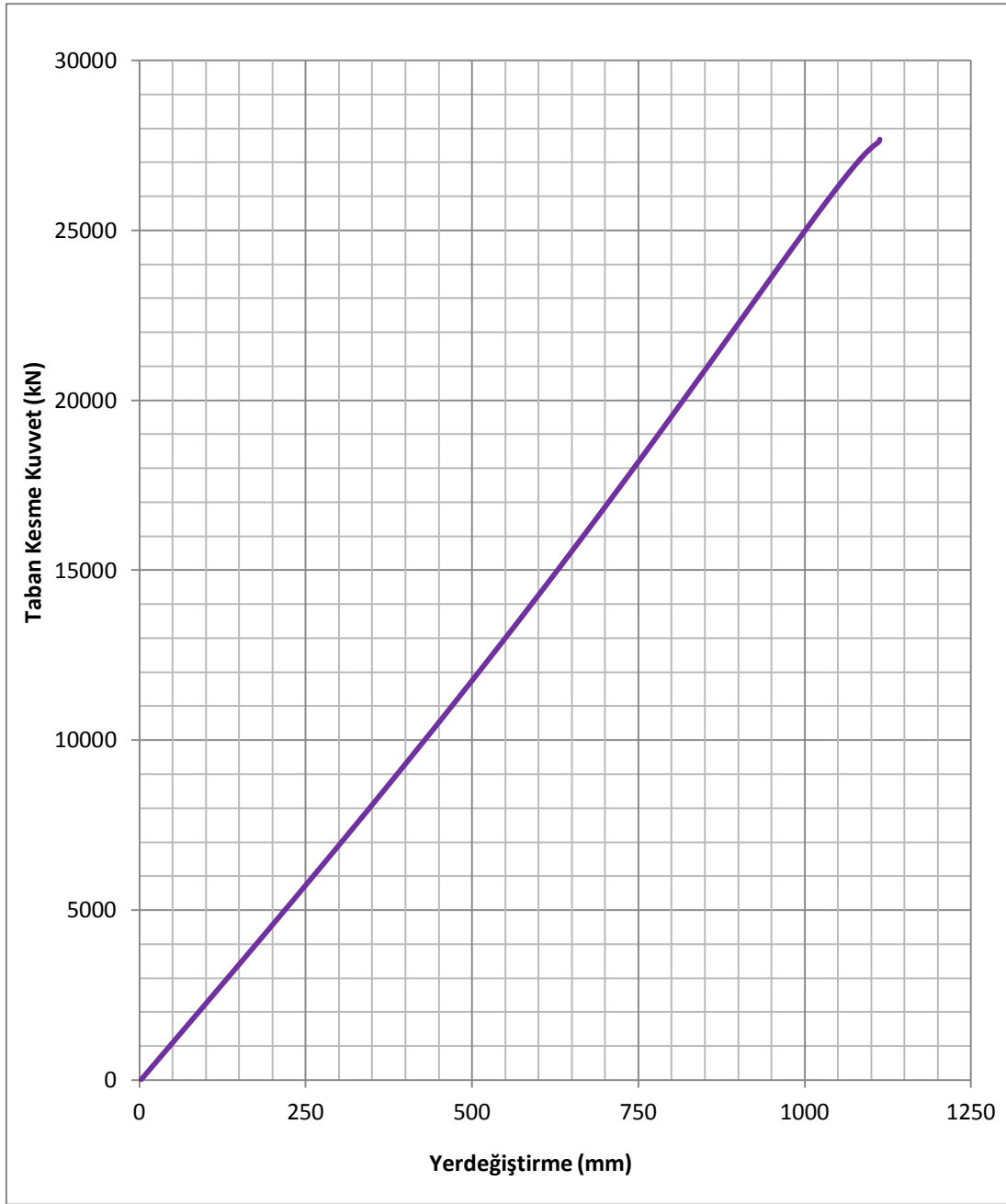
Bu bölümde Statik İtme Analiz sonuçları yer almaktadır. Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 birlikte Model 4.1, Model 4.2, Model 4.3, Model 4.4, Model 4.5 ve Model 4.6 analizleri yer almaktadır.



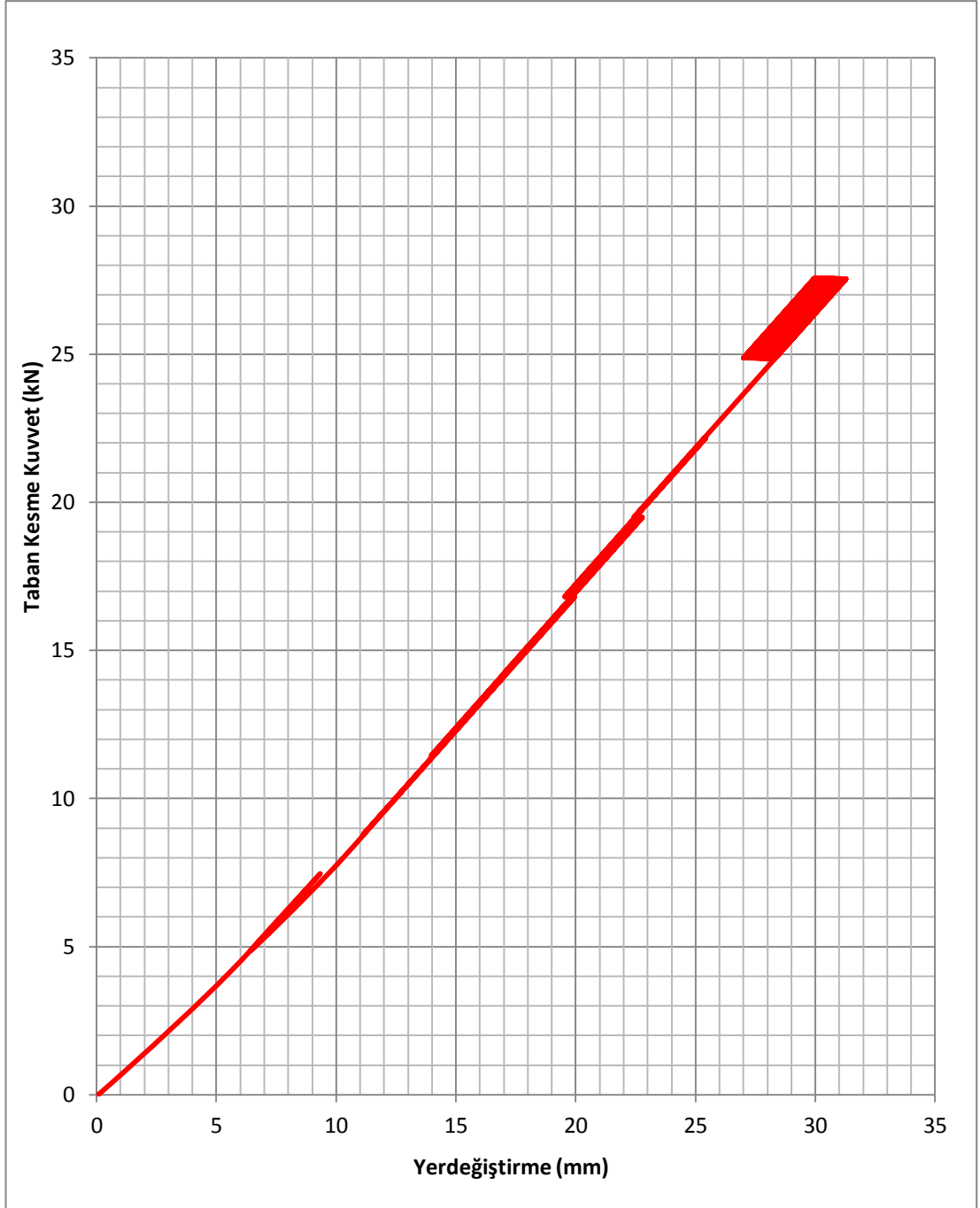
Şekil 5.1 : Model 1 Statik İtme Analizi



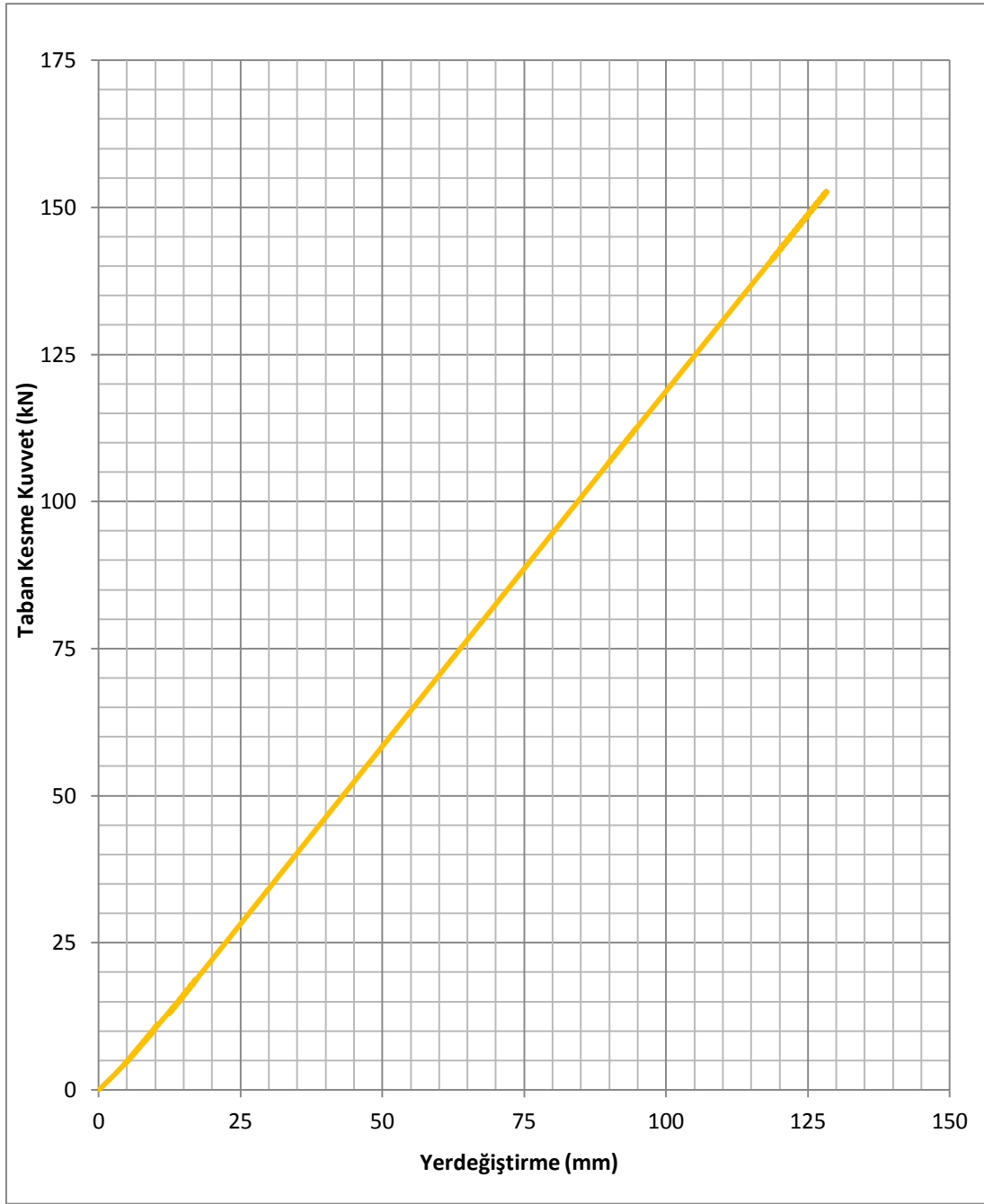
şekil 5.2 : Model 2 Statik İtme Analizi



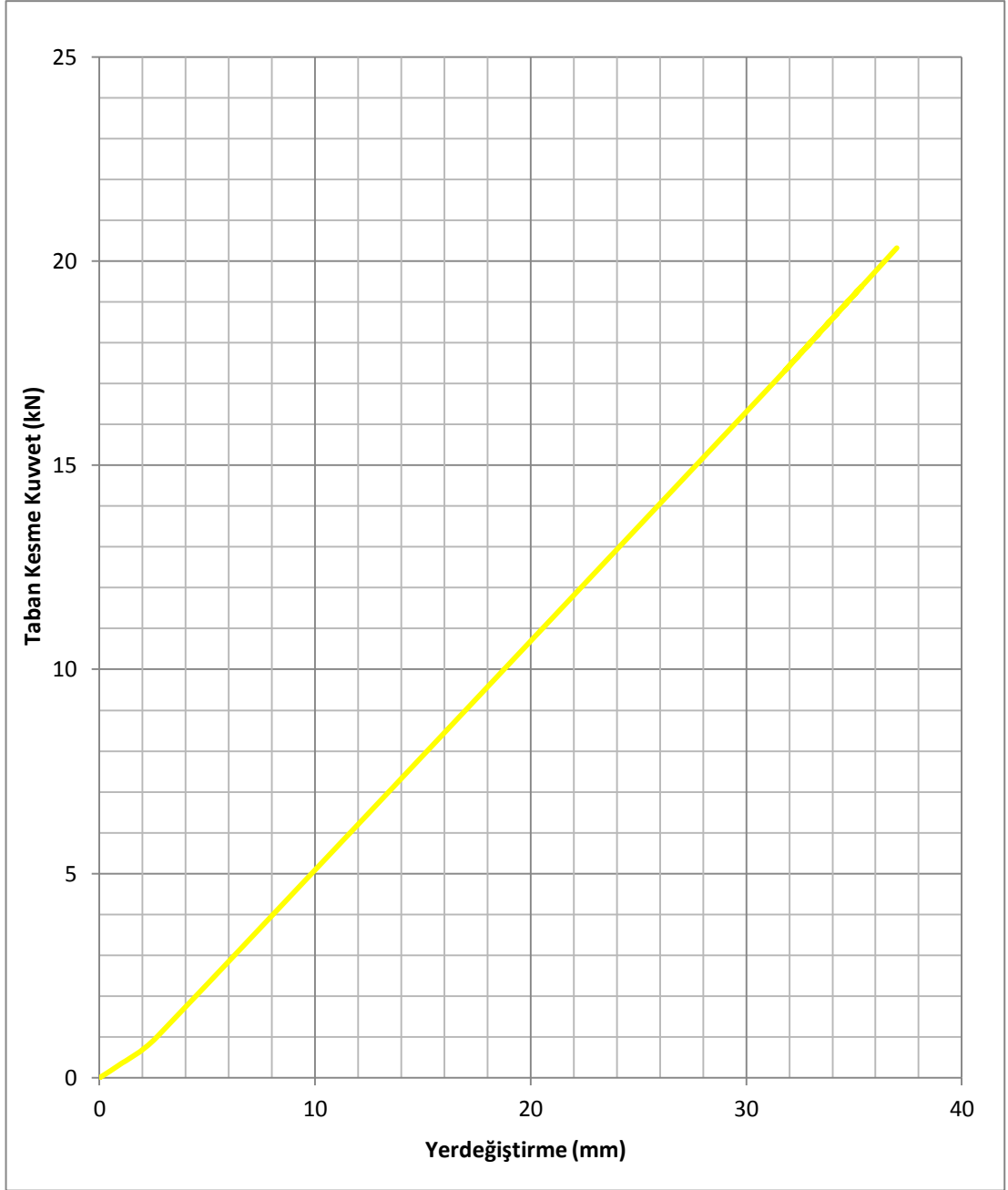
şekil 5.3 : Model 3 Statik İtme Analizi



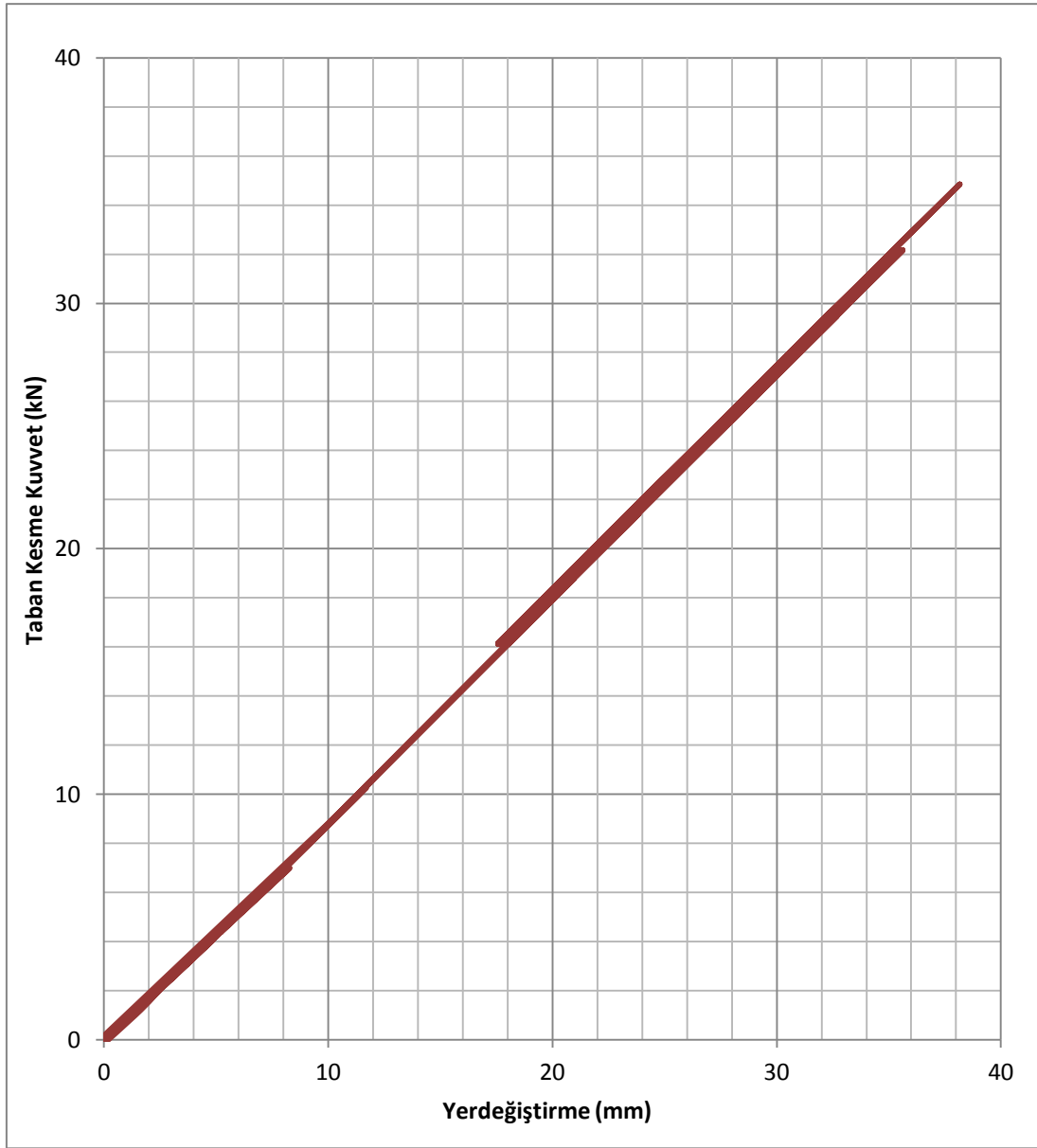
şekil 5.4 : Model 4 Statik İtme Analizi



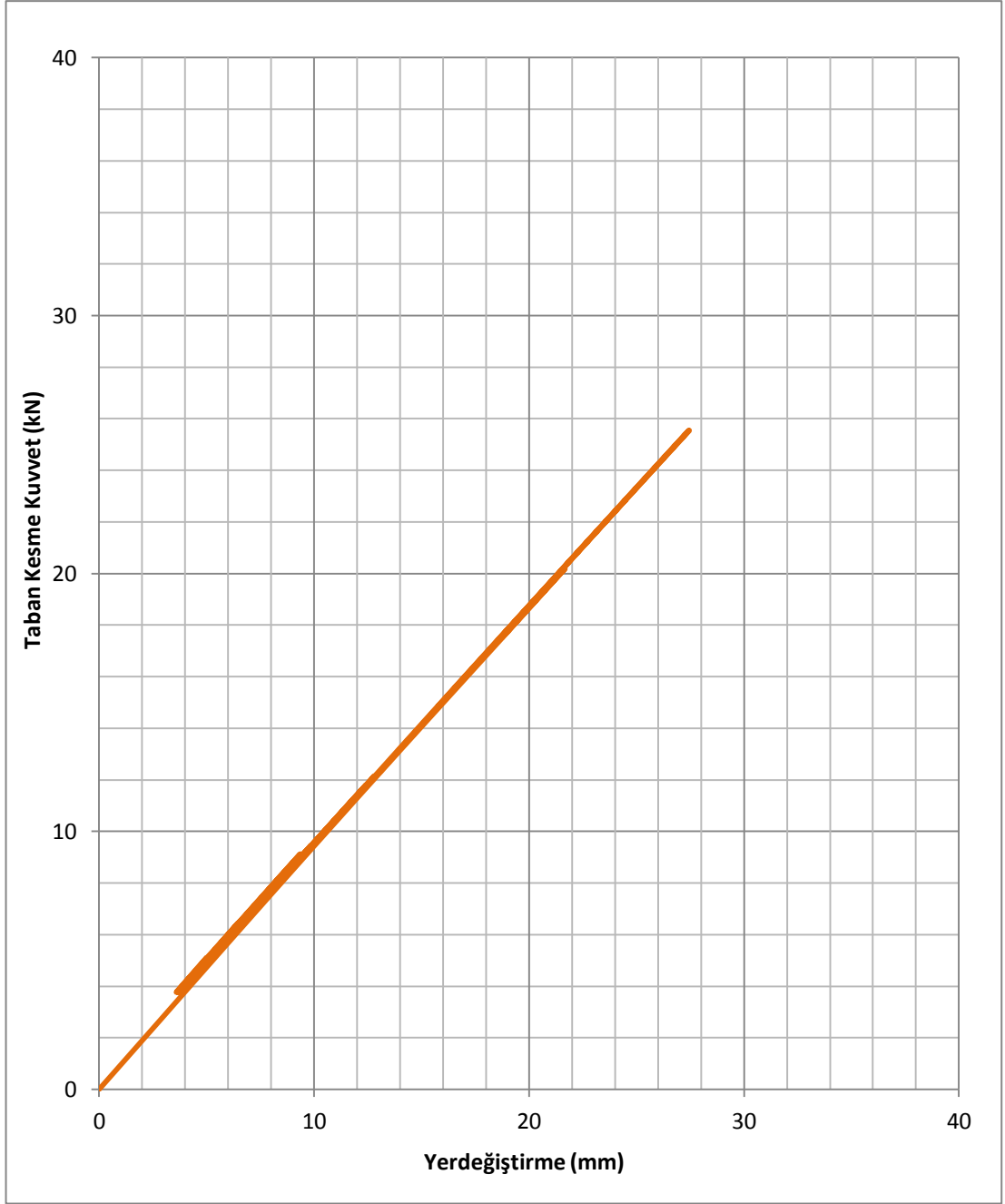
Şekil 5.5 : Model 4.1 Statik İtme Analizi



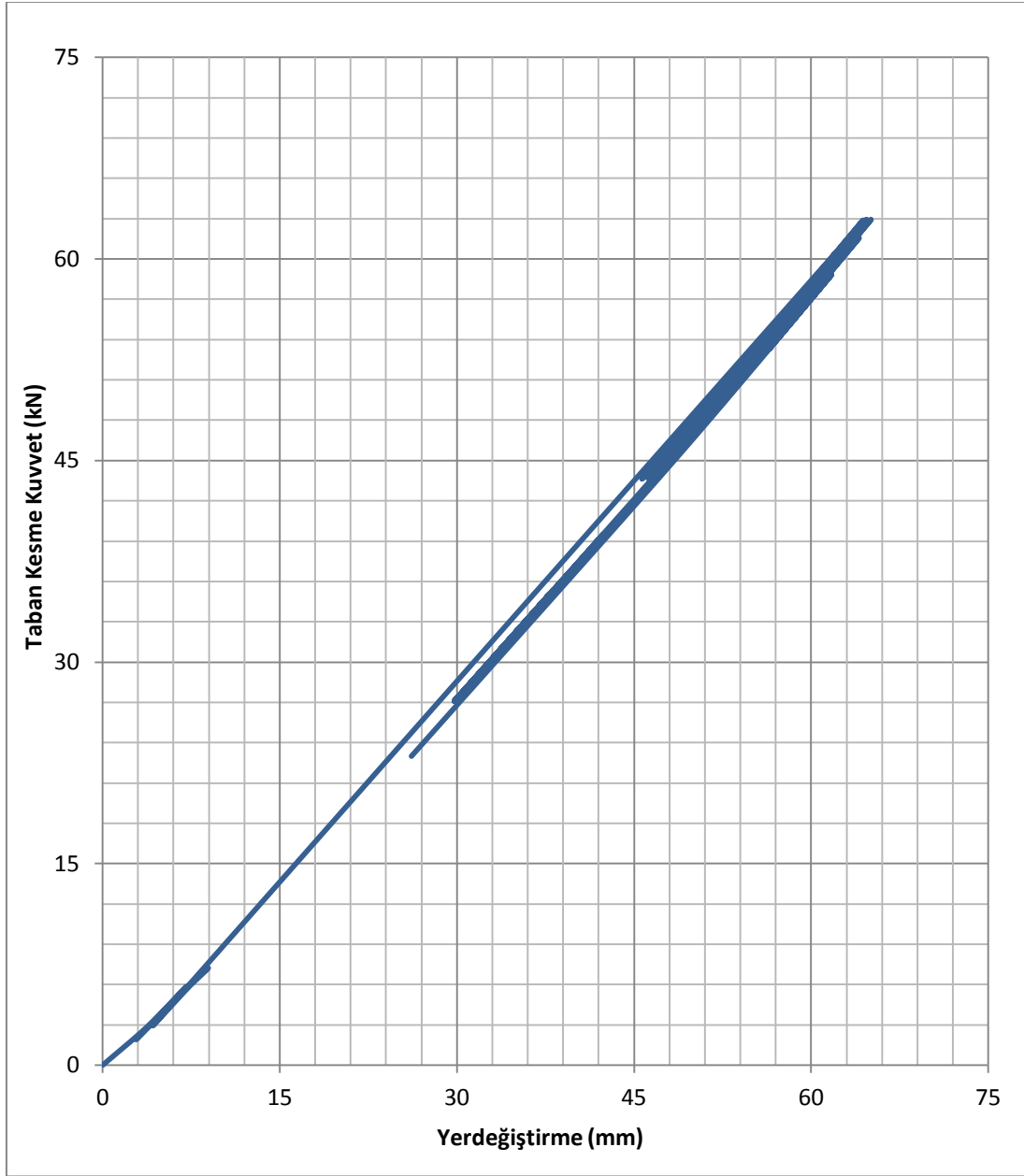
şekil 5.6 : Model 4.2 Statik İtme Analizi



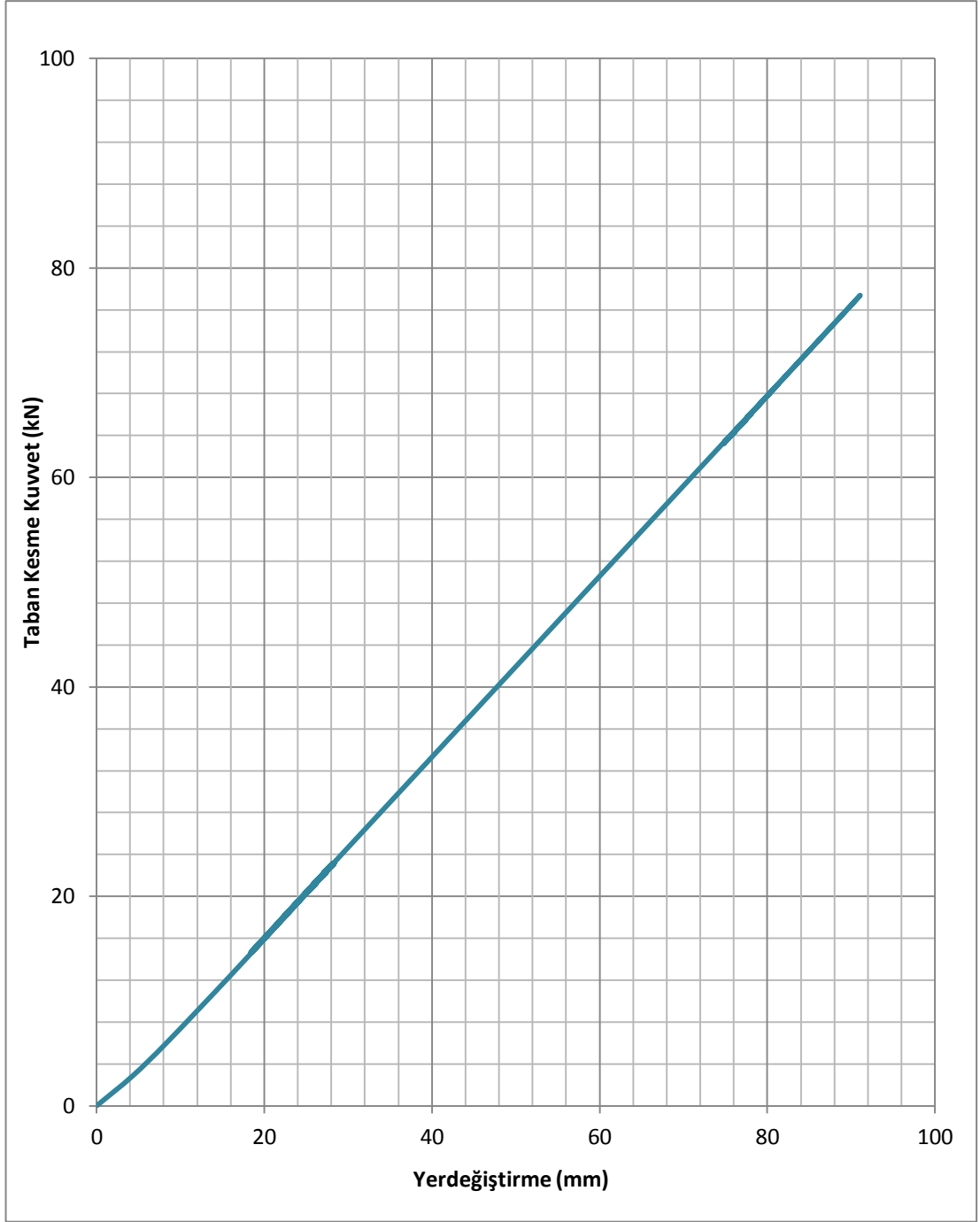
şekil 5.7 : Model 4.3 Statik İtme Analizi



şekil 5.8 : Model 4.4 Statik İtme Analizi



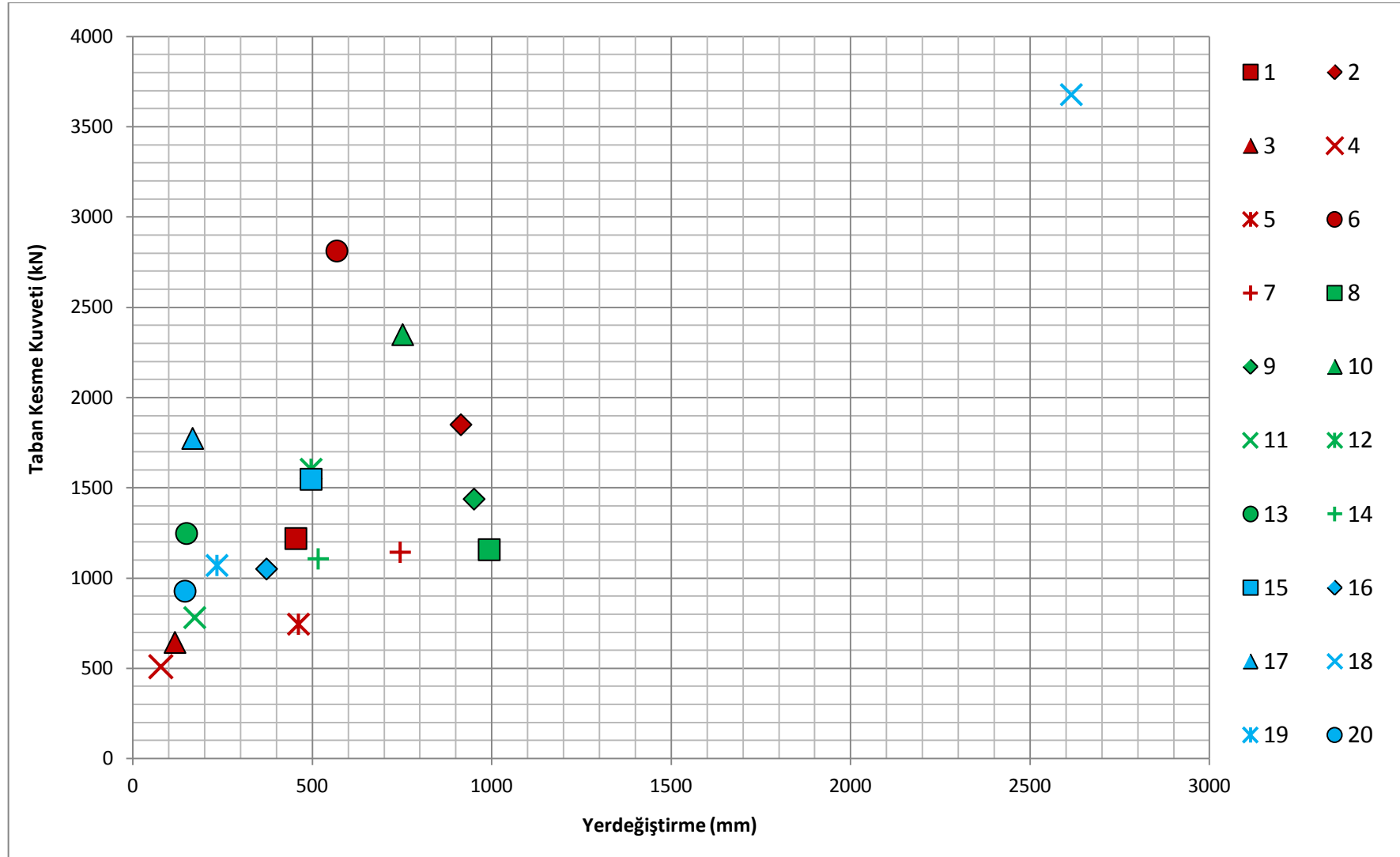
şekil 5.9 : Model 4.5 Statik İtme Analizi



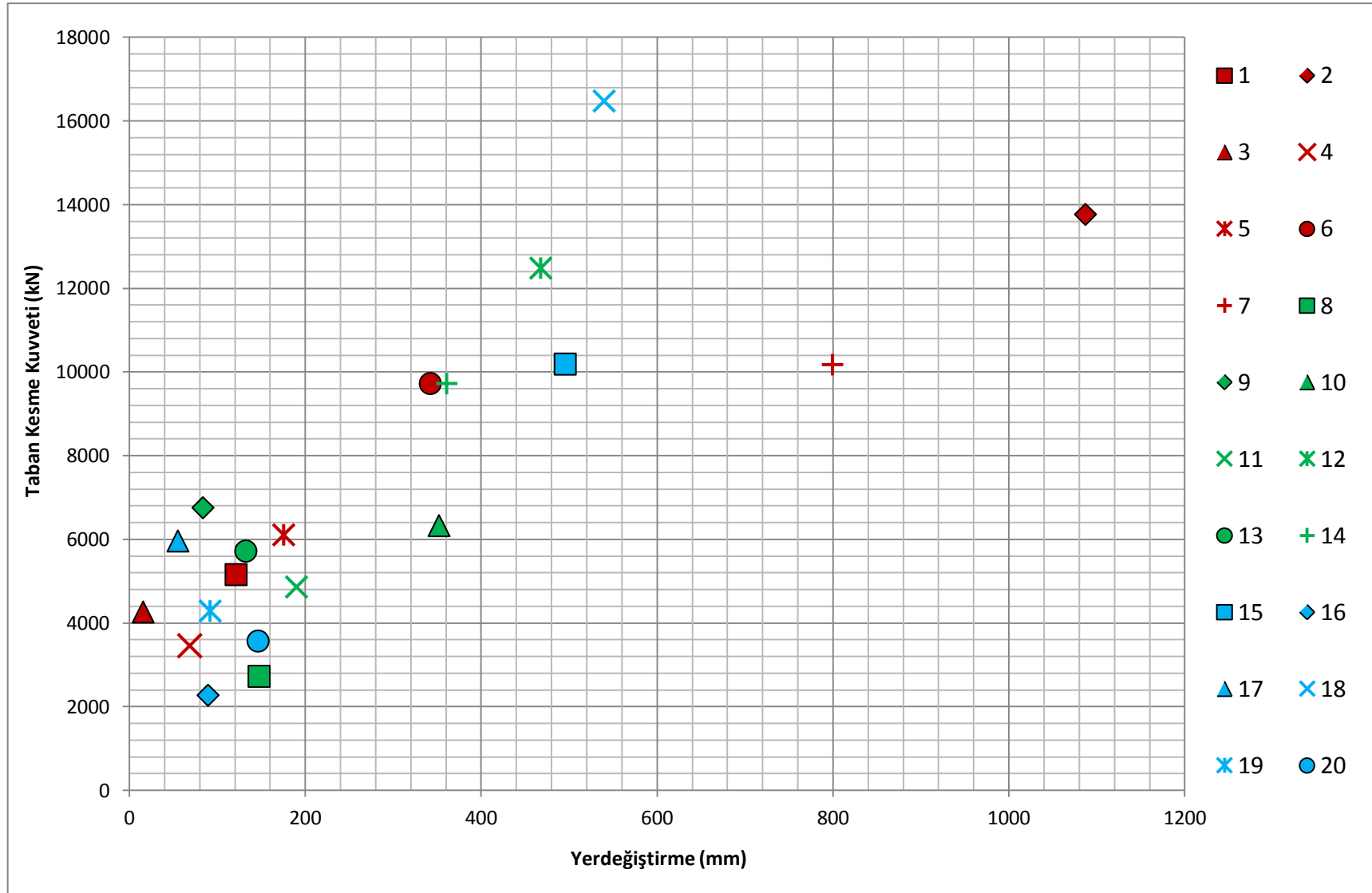
şekil 5.10 : Model 4.6 Statik İtme Analizi

5.2 Zaman Tanım Alanı Analiz Sonuçları

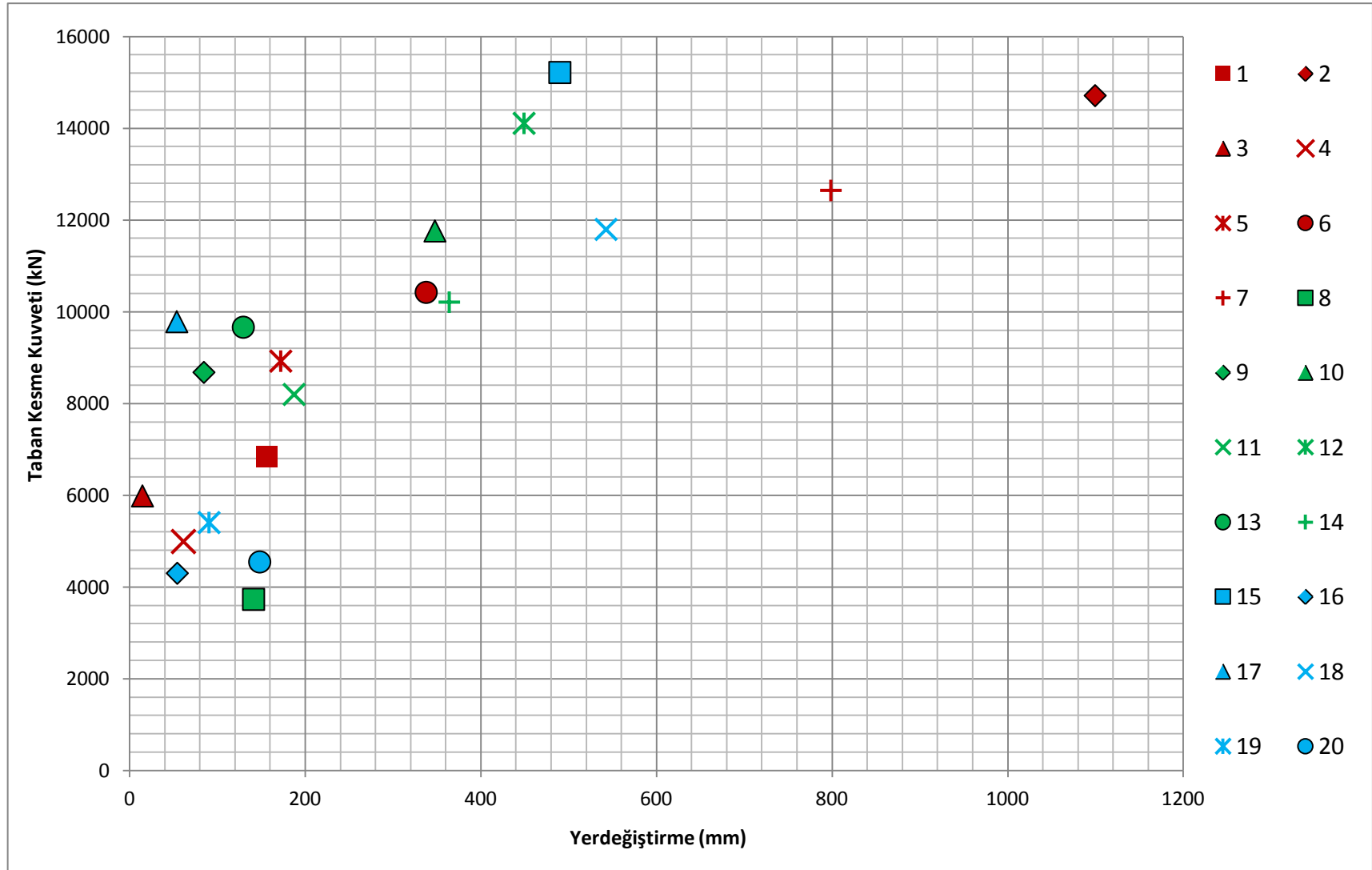
Bu bölümde Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz sonuçları yer almaktadır. Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 birlikte Model 4.1, Model 4.2, Model 4.3, Model 4.4, Model 4.5 ve Model 4.6 analizleri yer almaktadır.



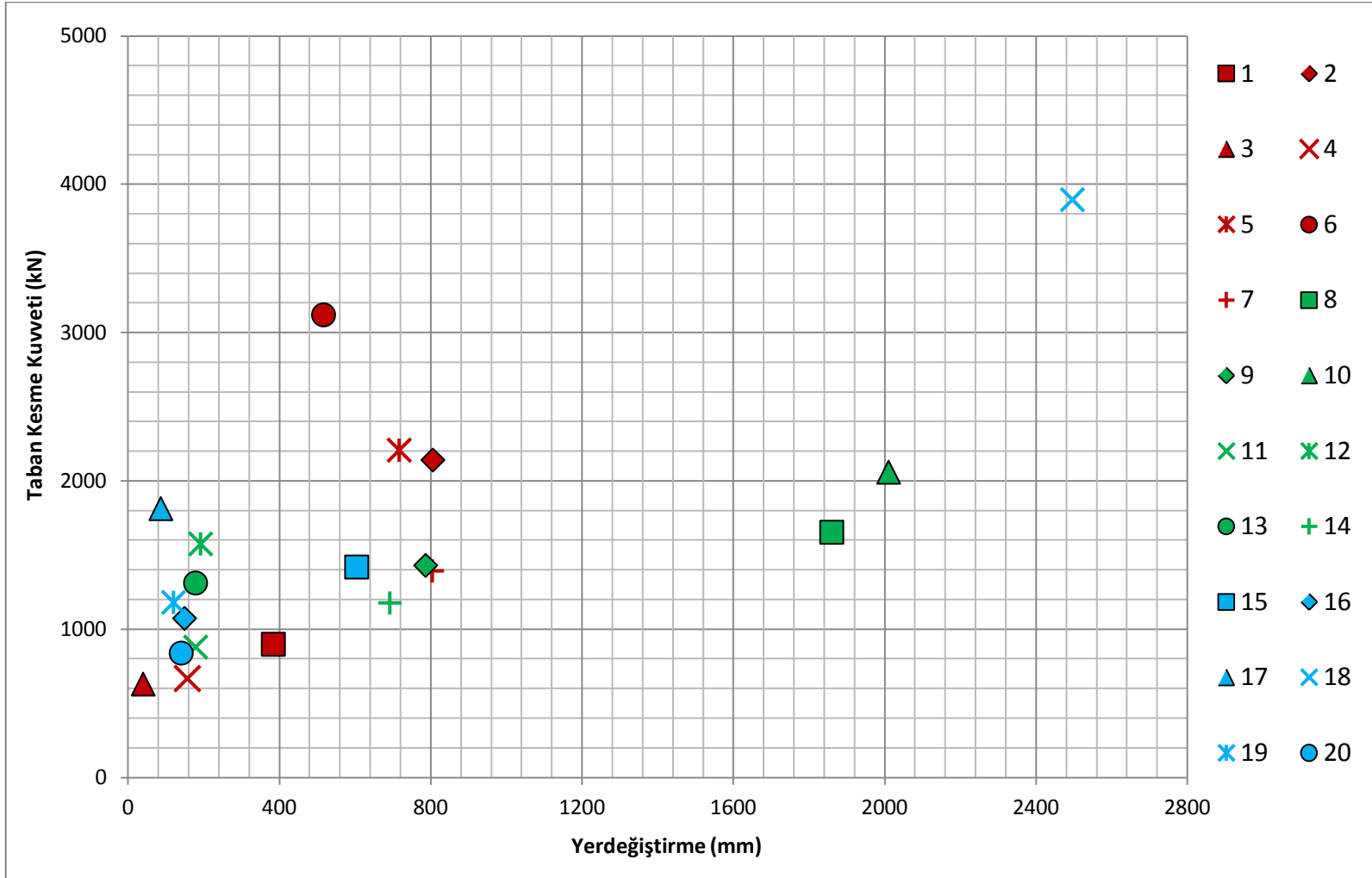
Şekil 5.11 : Model 1 Zaman Tanım Alanında Analizi



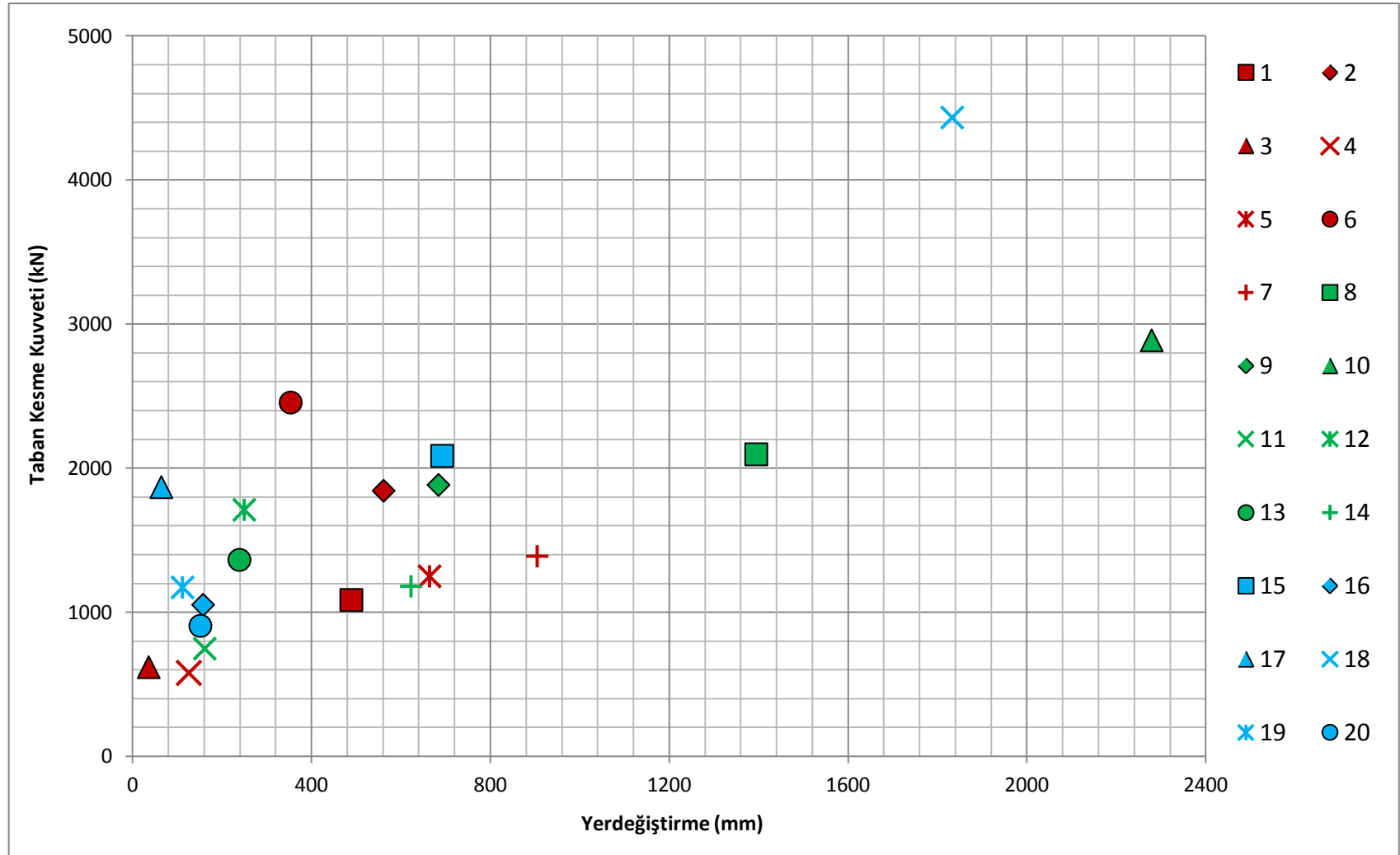
Şekil 5.12 : Model 2 Zaman Tanım Alanında Analizi



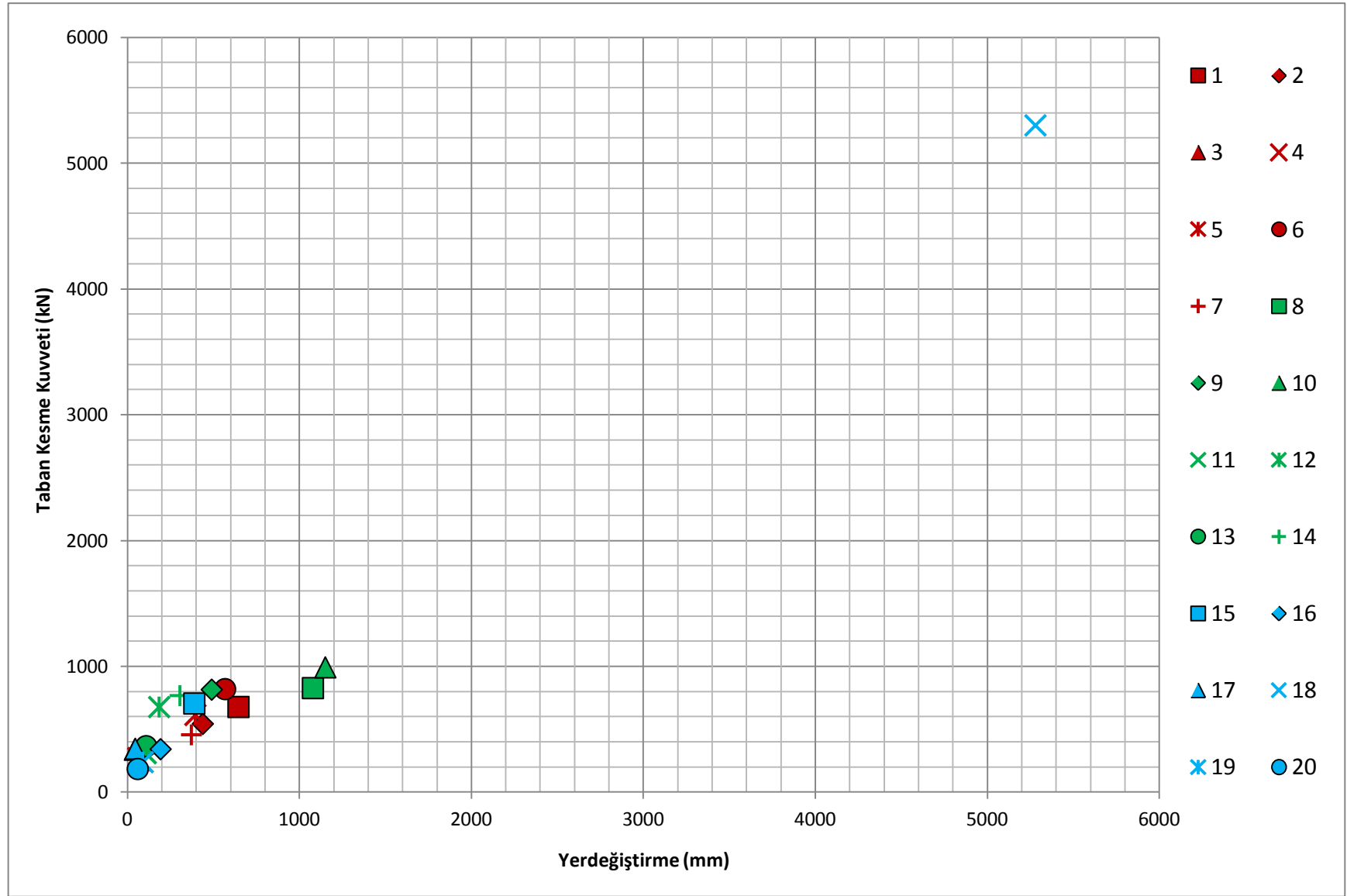
Şekil 5.13 : Model 3 Zaman Tanım Alanında Analizi



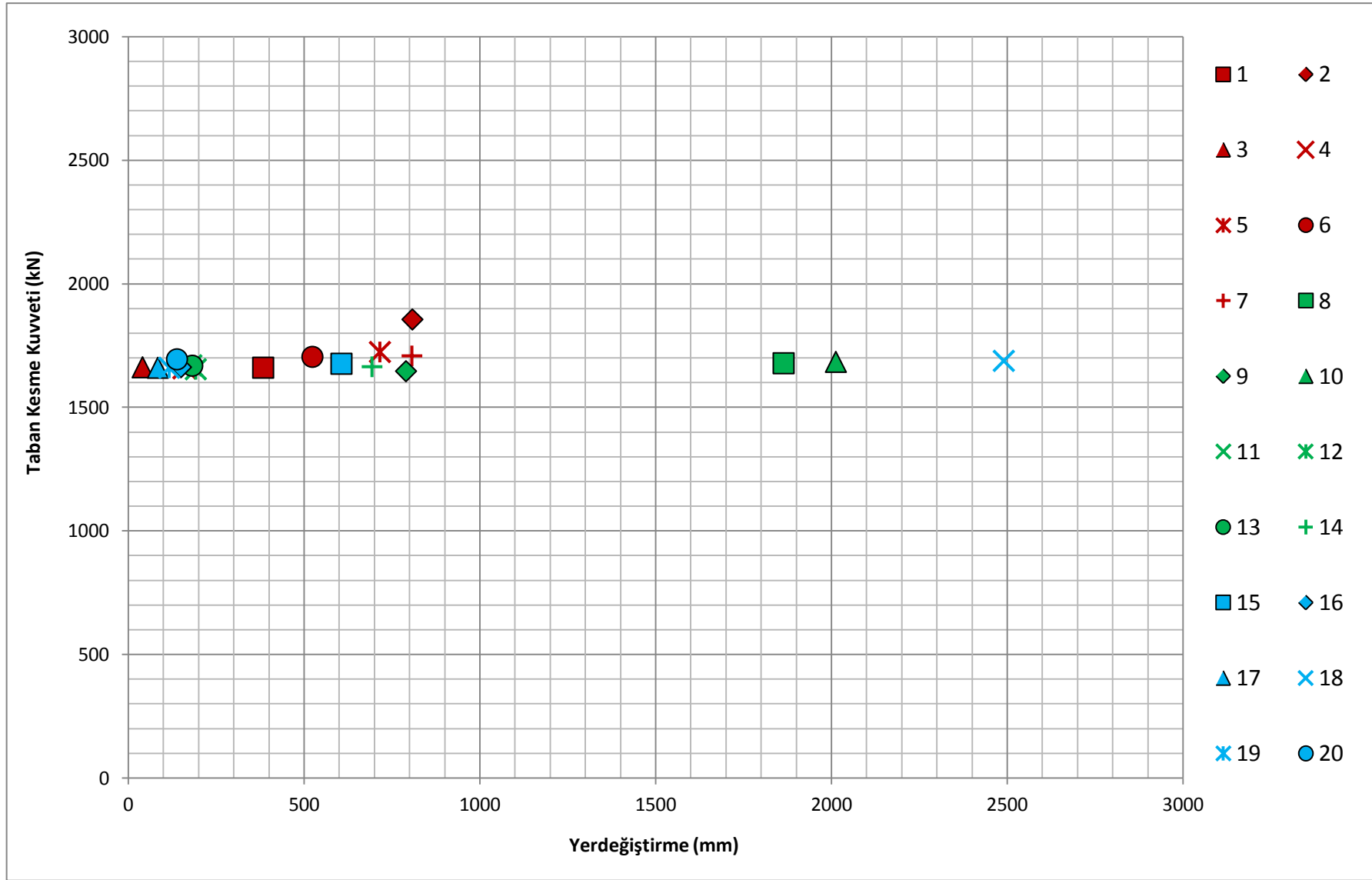
Şekil 5.14 : Model 4 Zaman Tanım Alanında Analizi



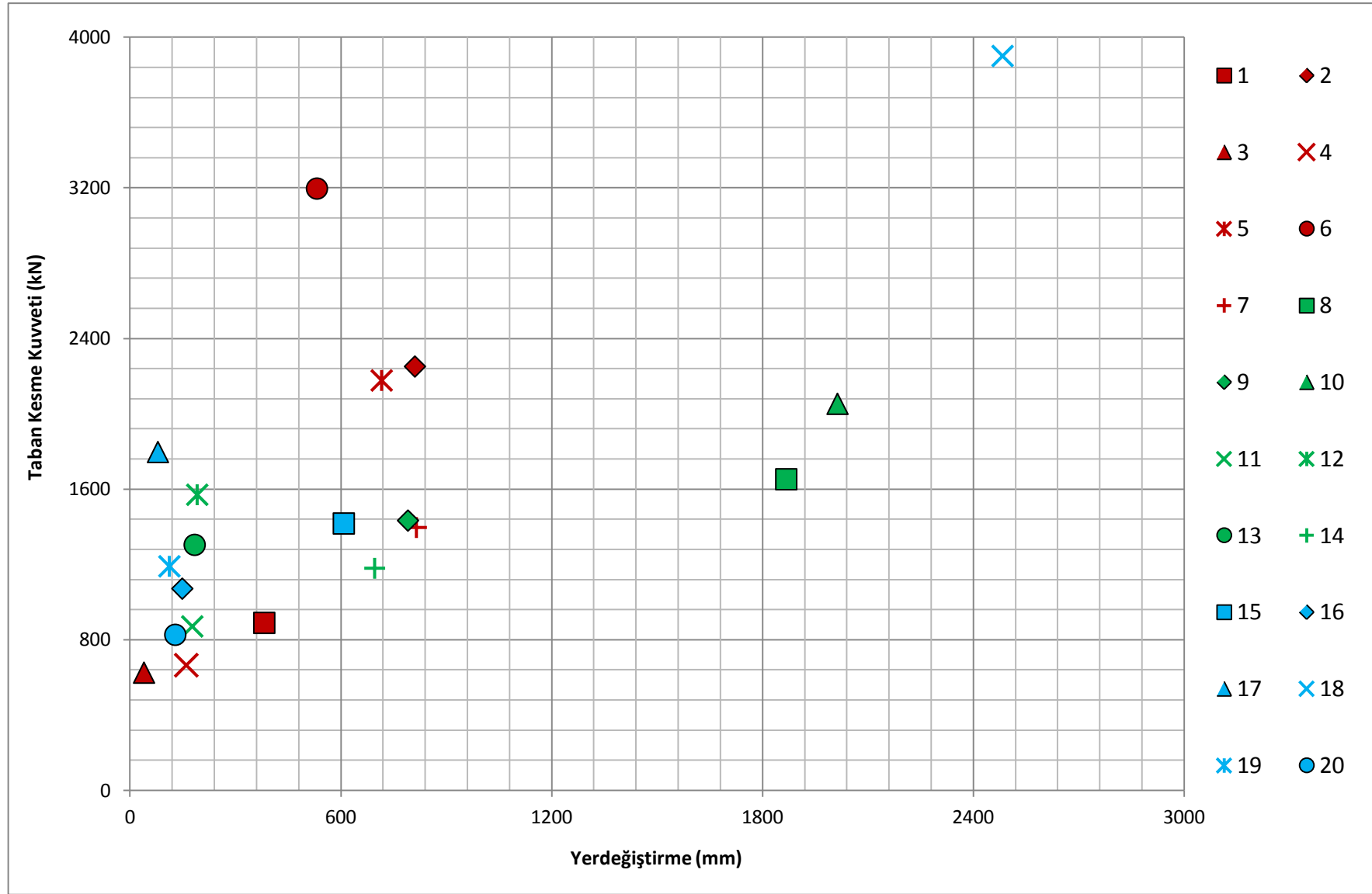
Şekil 5.15 : Model 4.1 Zaman Tanım Alanında Analizi



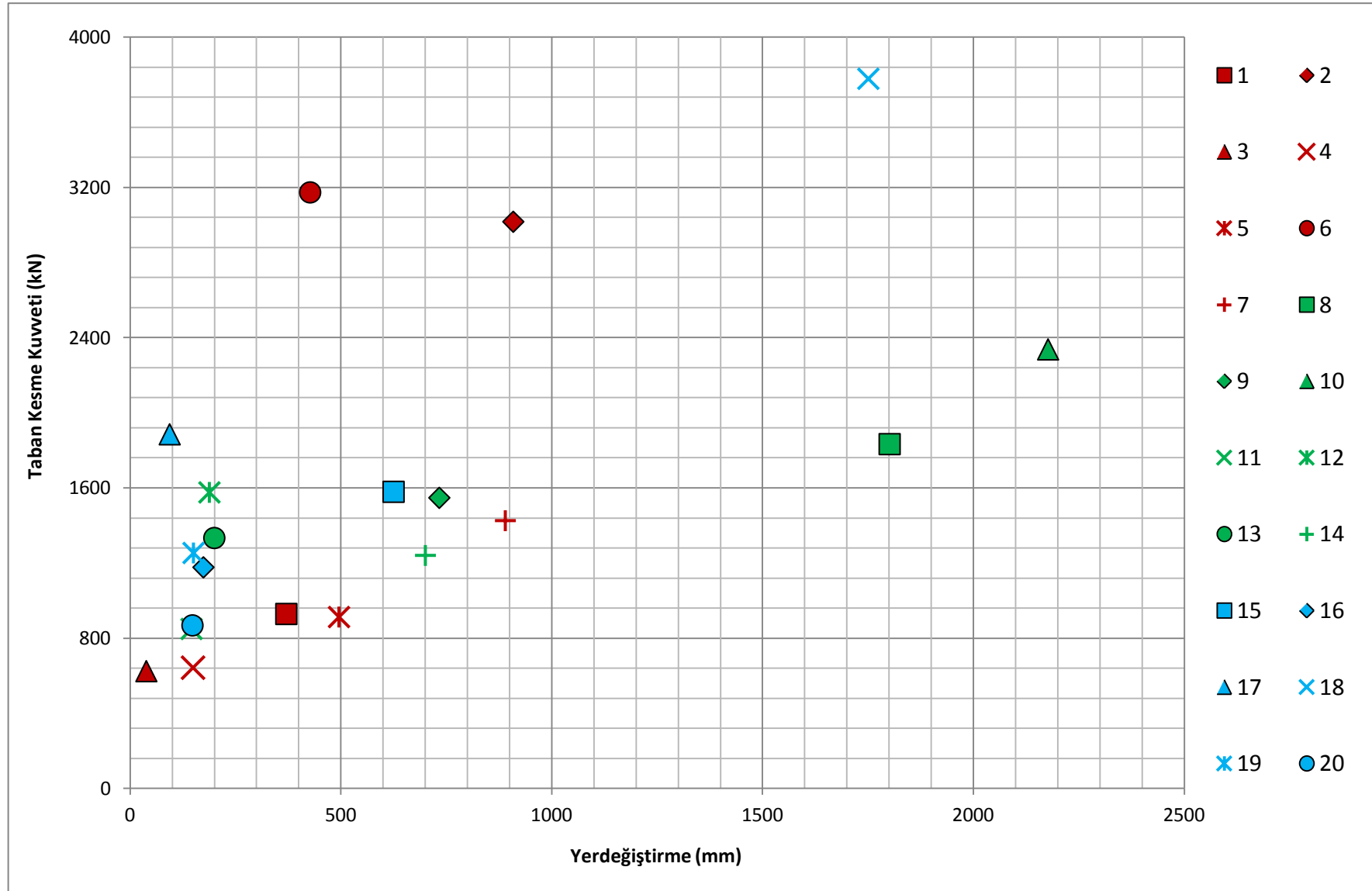
Şekil 5.16 : Model 4.2 Zaman Tanım Alanında Analizi



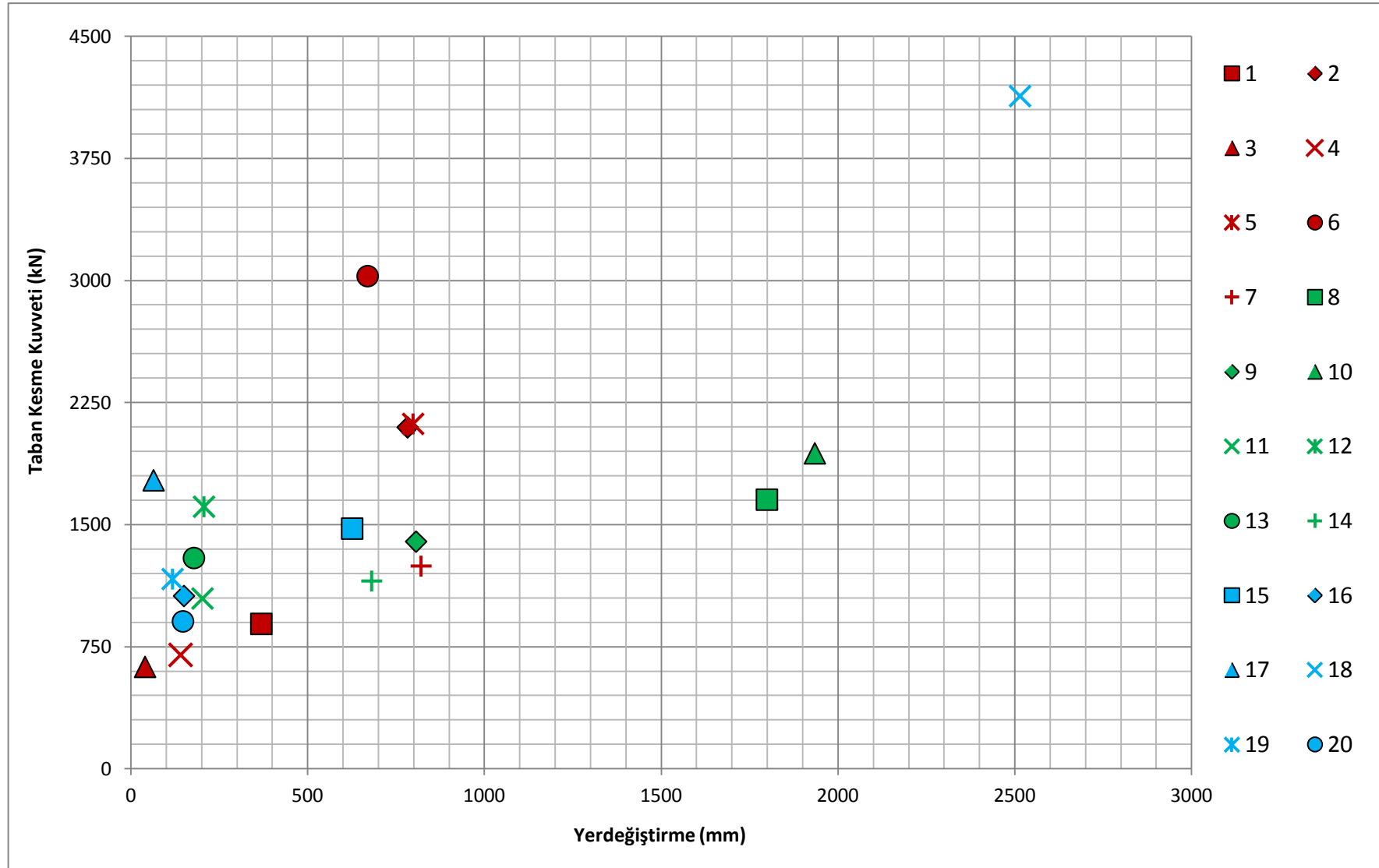
Şekil 5.17 : Model 4.3 Zaman Tanım Alanında Analizi



Şekil 5.18 : Model 4.4 Zaman Tanım Alanında Analizi



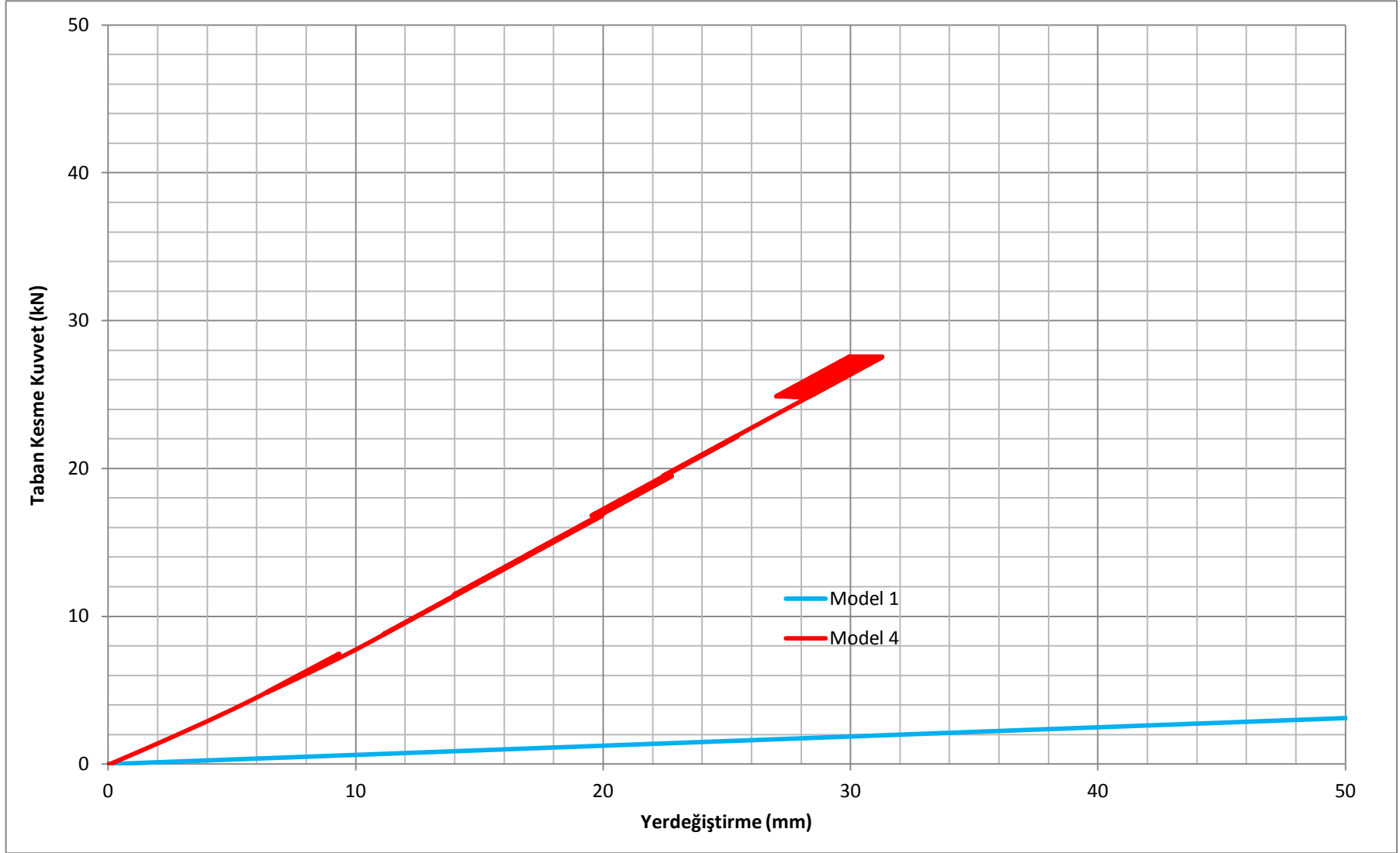
Şekil 5.19 : Model 4.5 Zaman Tanım Alanında Analizi



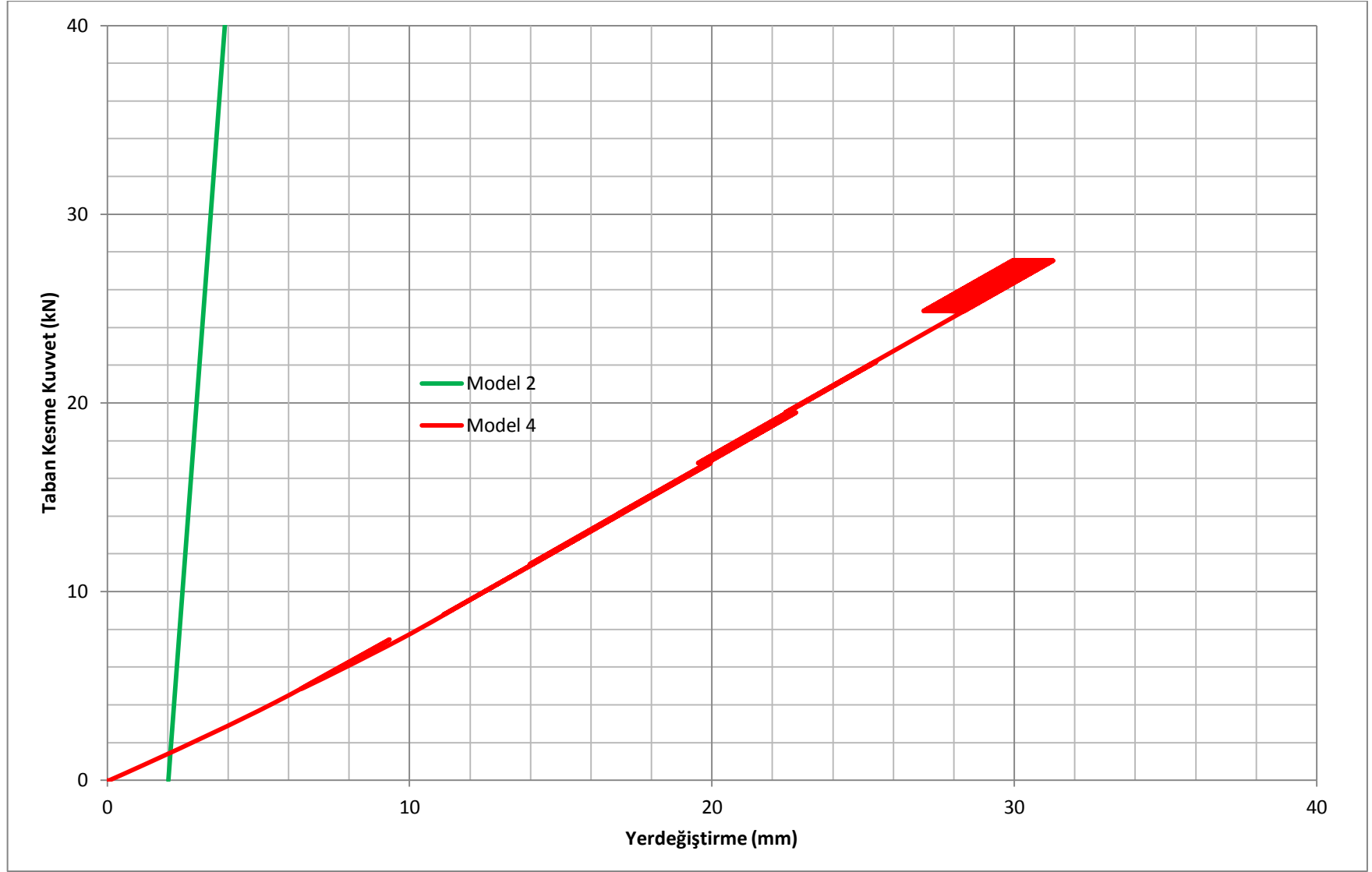
Şekil 5.20 : Model 4.6 Zaman Tanım Alanında Analizi

5.3 Modellerin Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

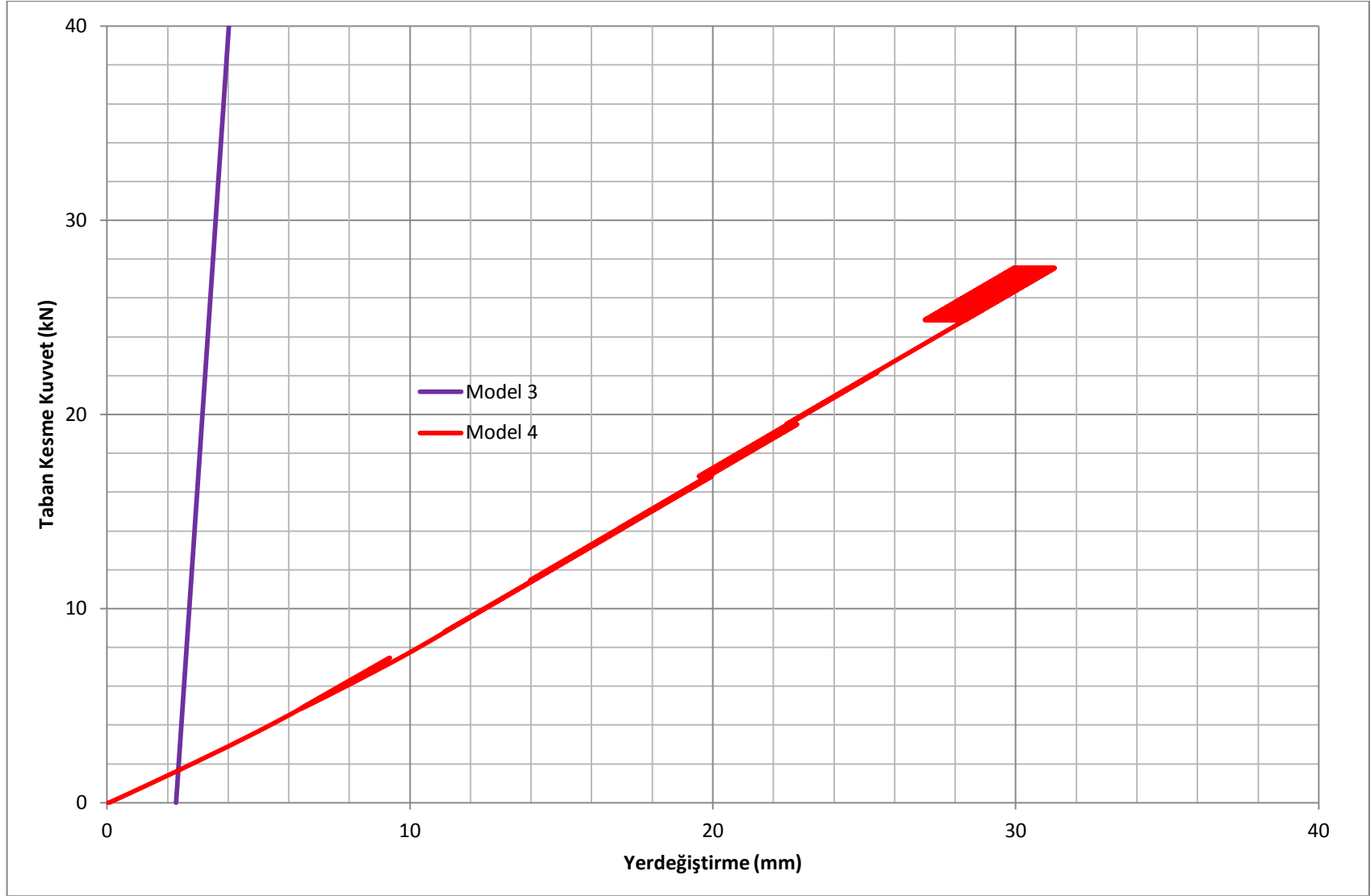
Bu bölümde Modellerin zaman tanım analiz sonuçları ve statik itme analizlerinin kıyaslanması yer almaktadır. Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 birlikte Model 4.1, Model 4.2, Model 4.3, Model 4.4, Model 4.5 ve Model 4.6 analizleri yer almaktadır.



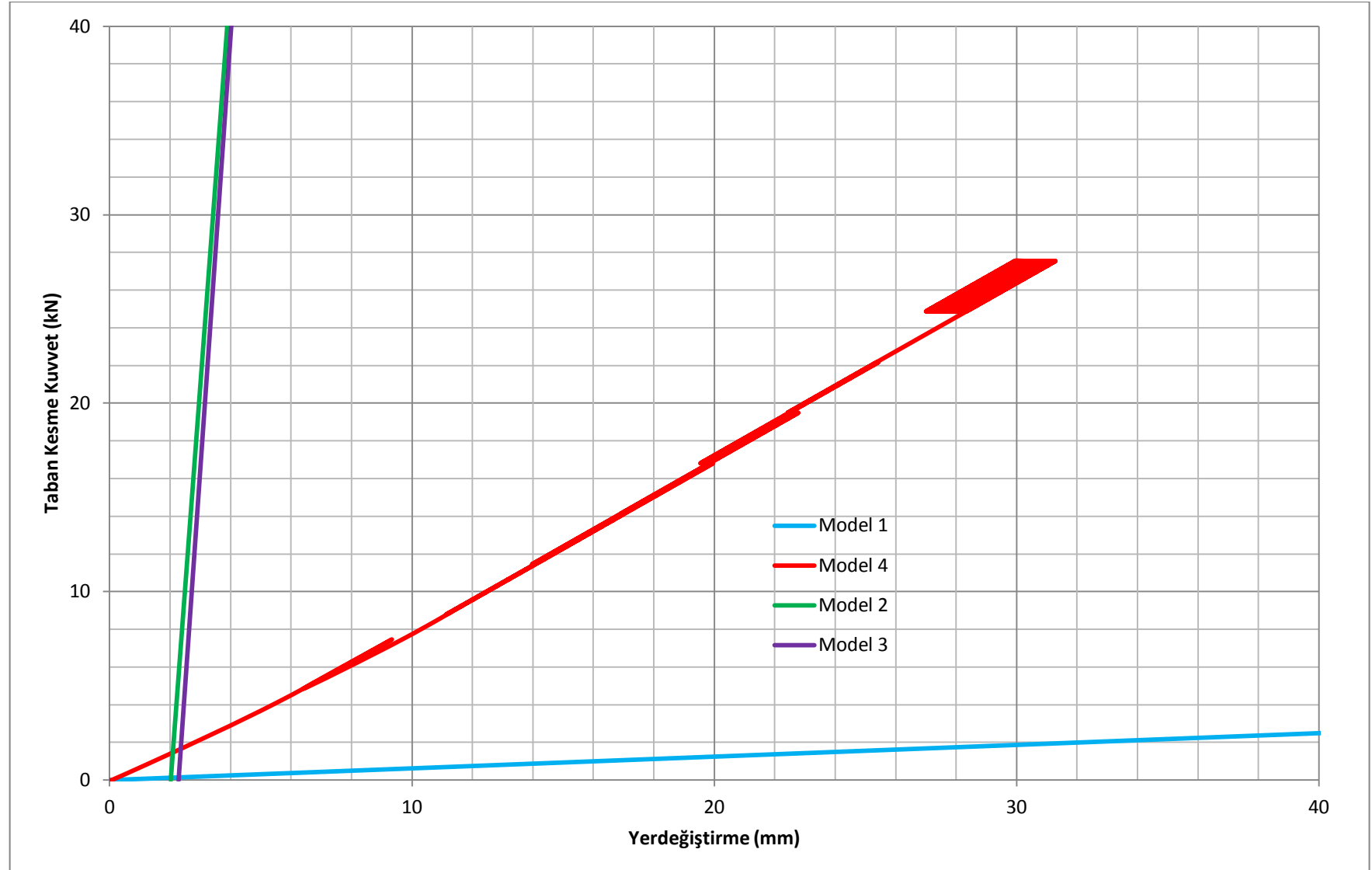
Şekil 5.21 : Model 1 ve Model 4 Statik İtme Analizi



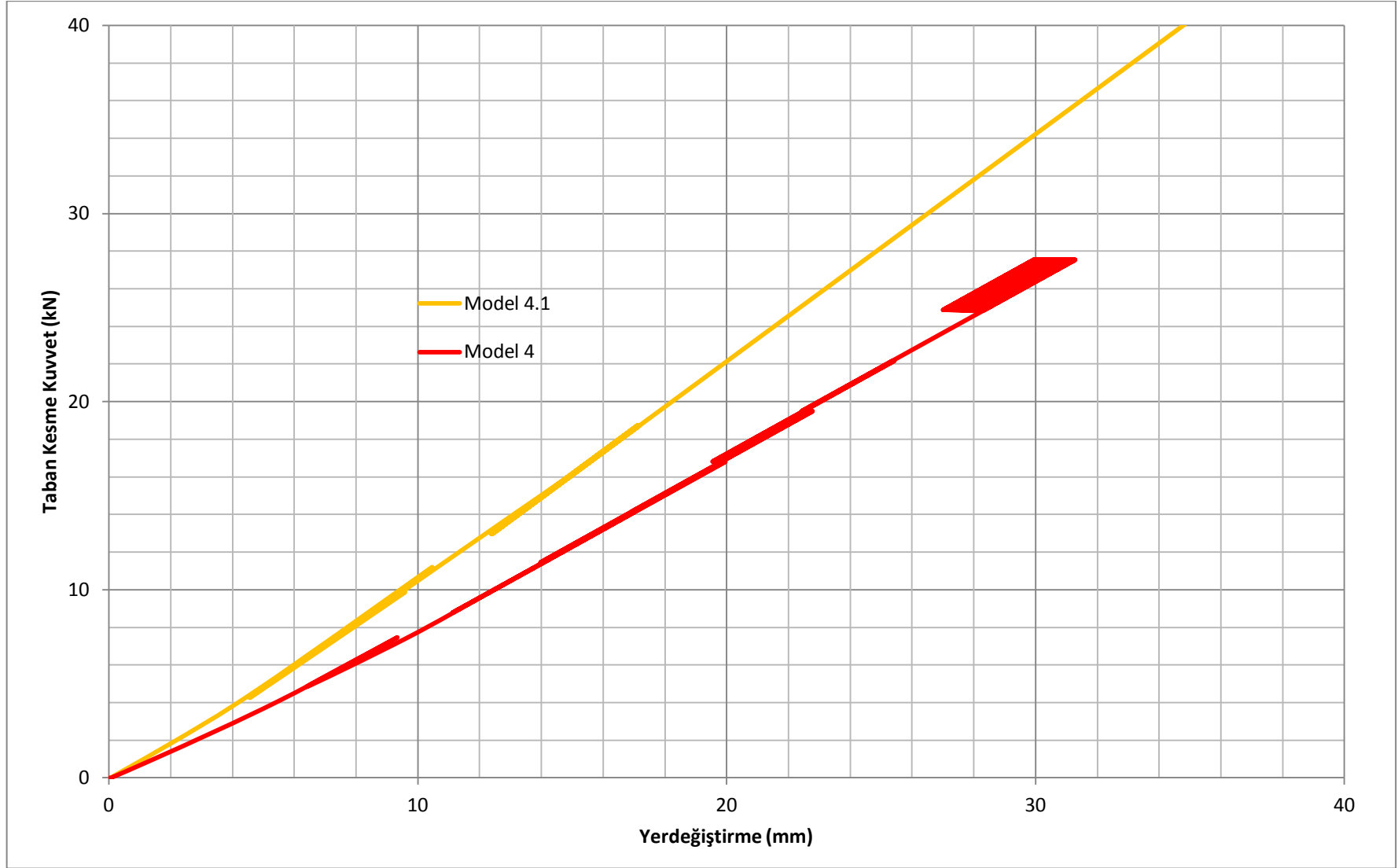
Şekil 5.22 : Model 2 ve Model 4 Statik İtme Analizi



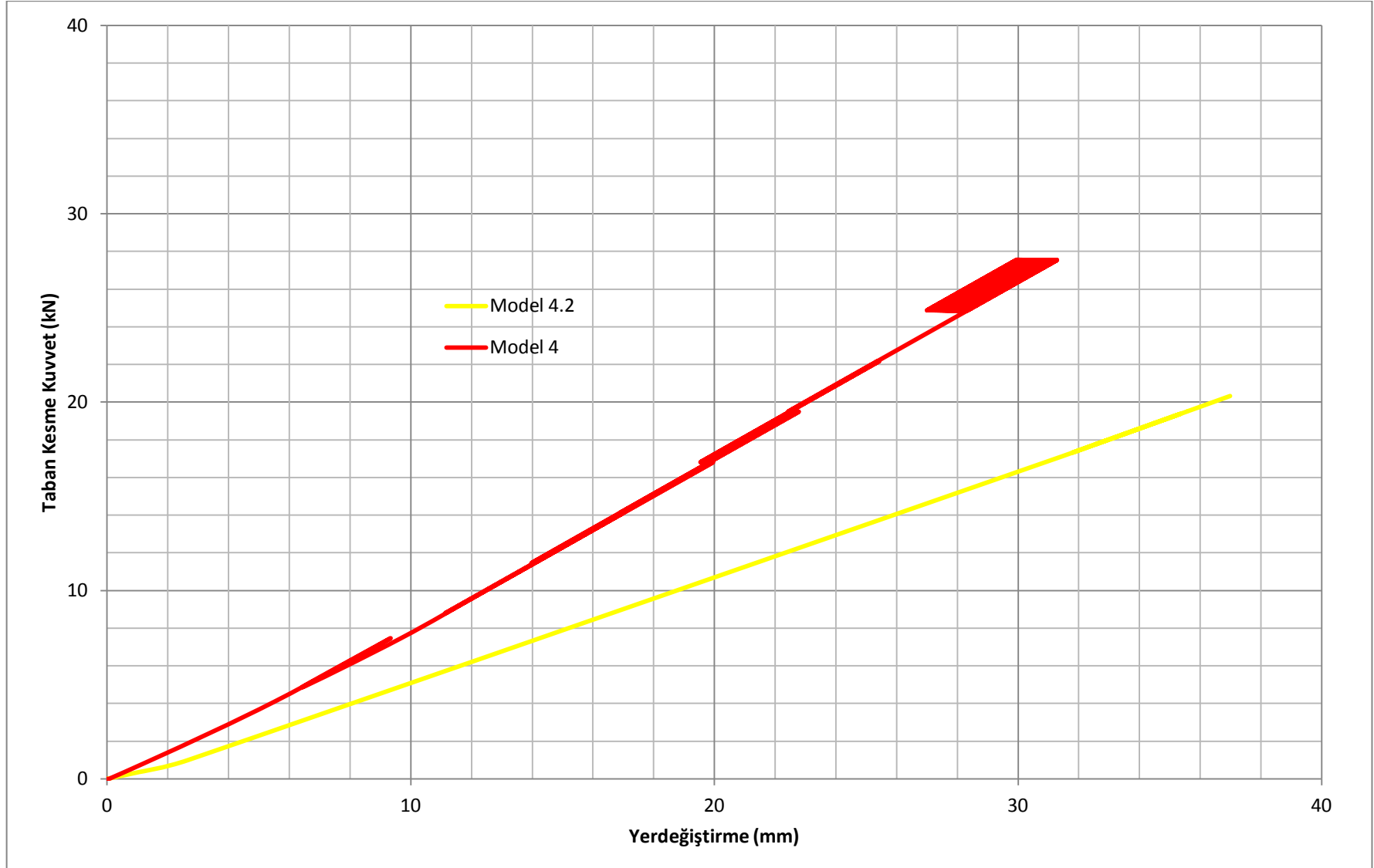
Şekil 5.23 : Model 3 ve Model 4 Statik İtme Analizi



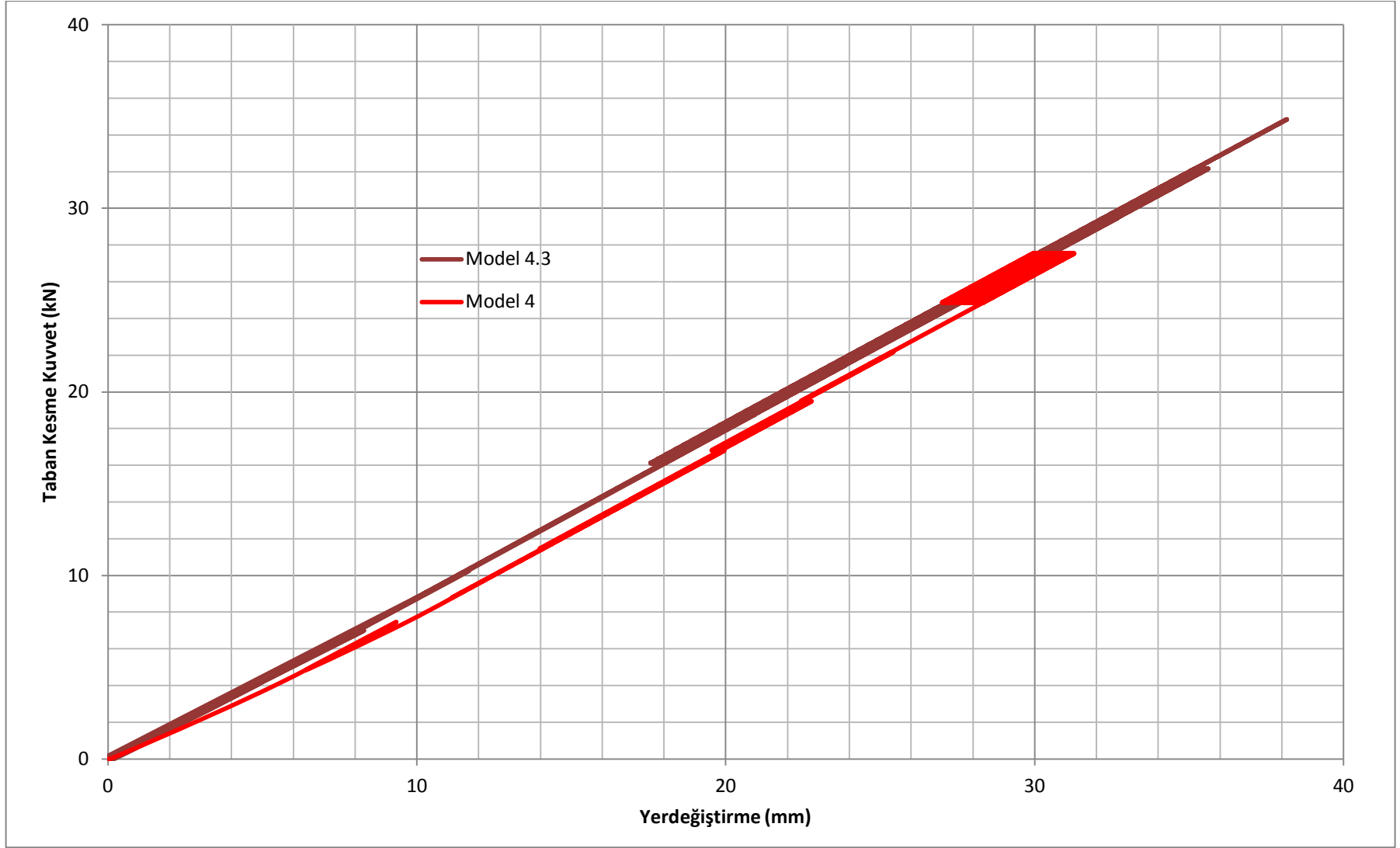
Şekil 5.24 : Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 Statik İtme Analizi



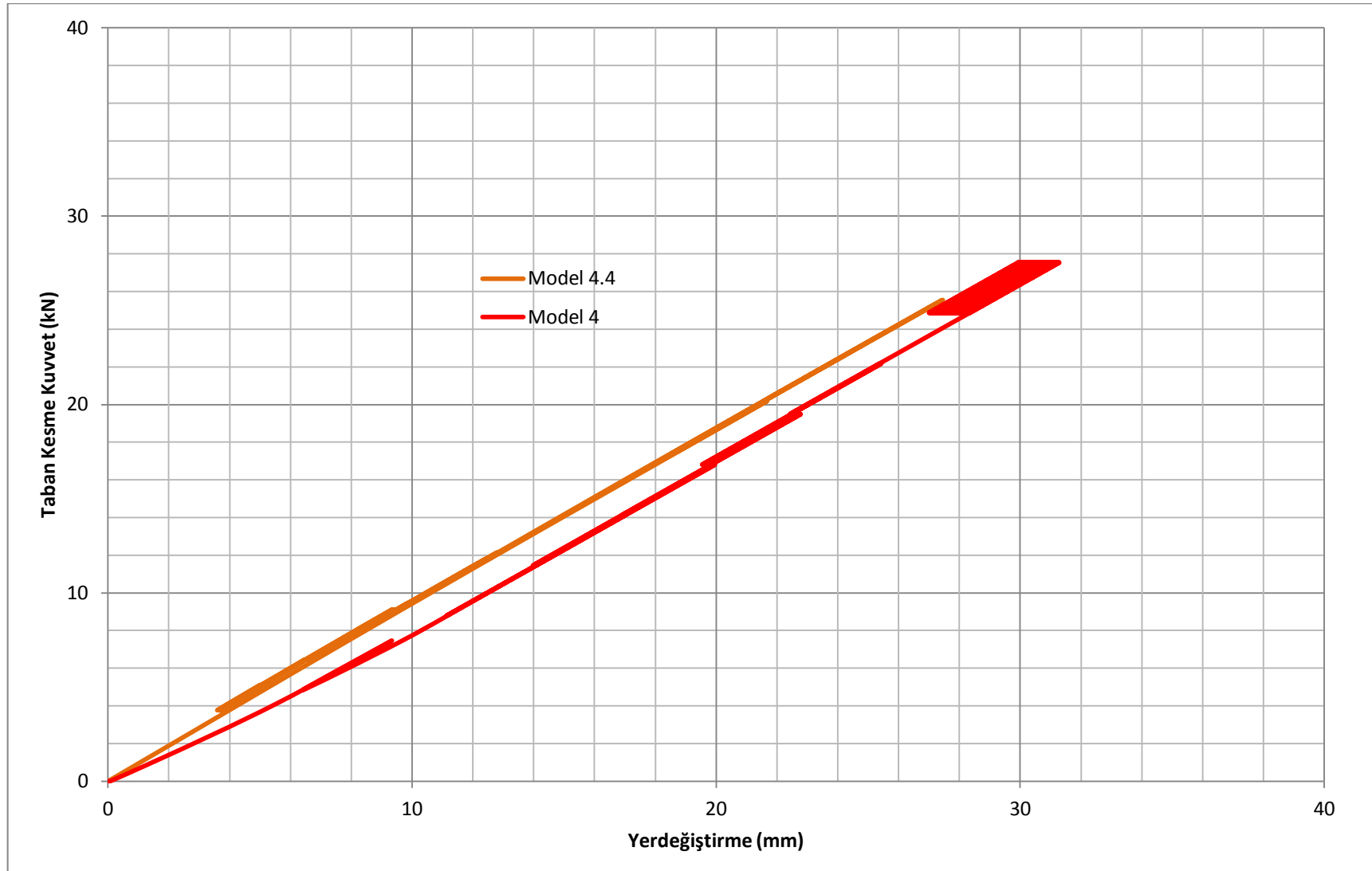
Şekil 5.25 : Model 4 ve Model 4.1 Statik İtme Analizi



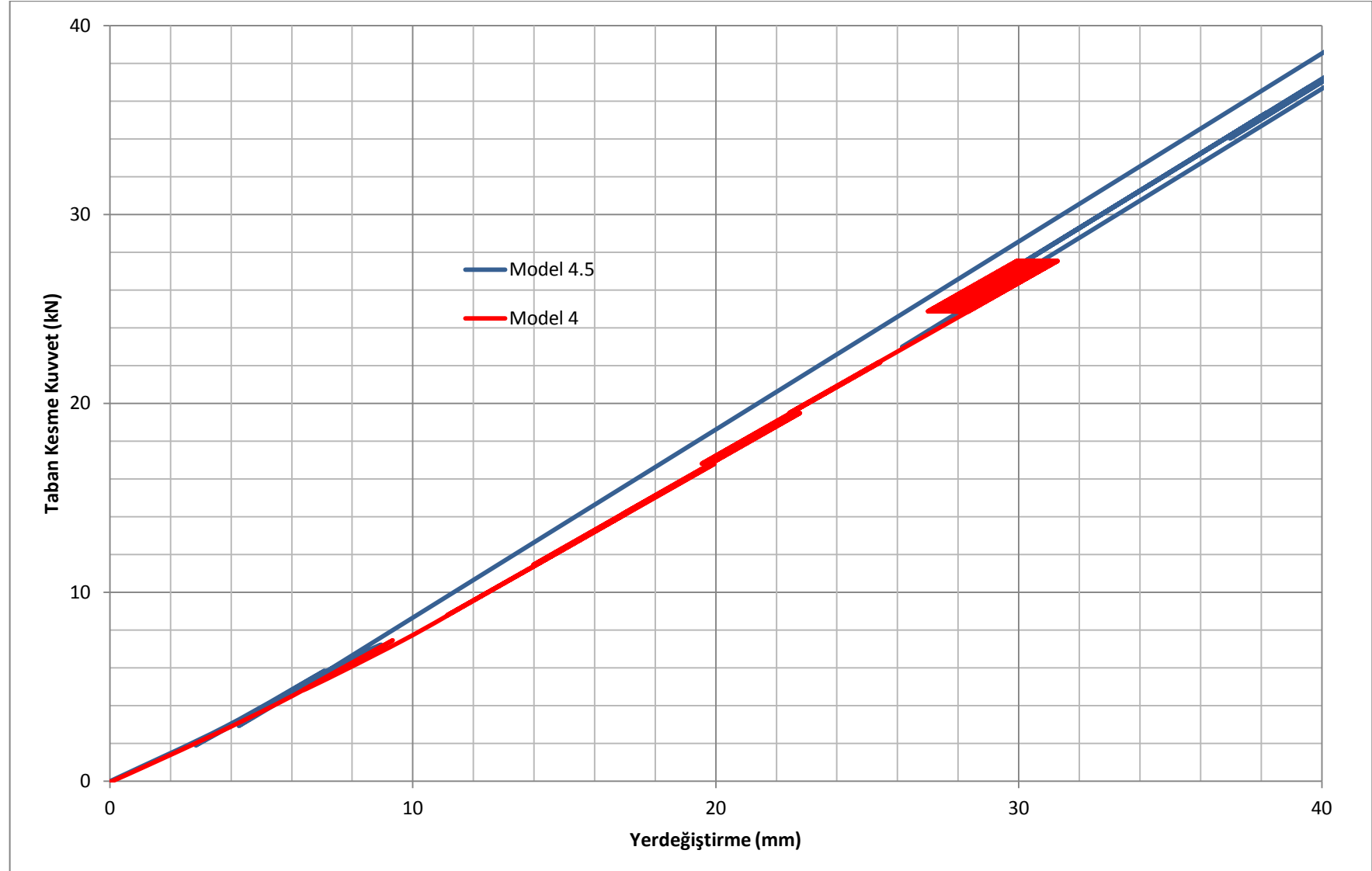
Şekil 5.26 : Model 4 ve Model 4.2 Statik İtme Analizi



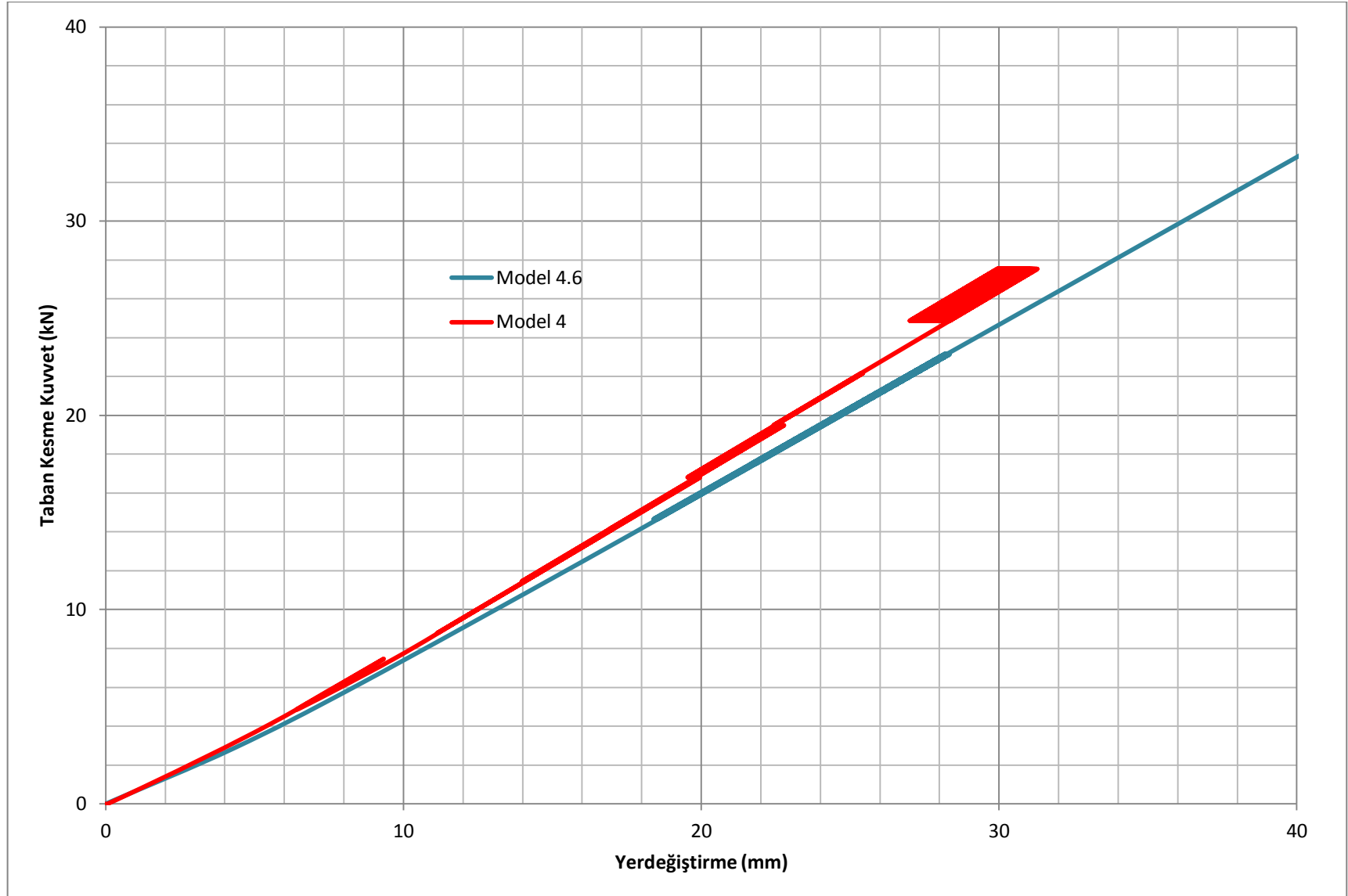
Şekil 5.27 : Model 4 ve Model 4.3 Statik İtme Analizi



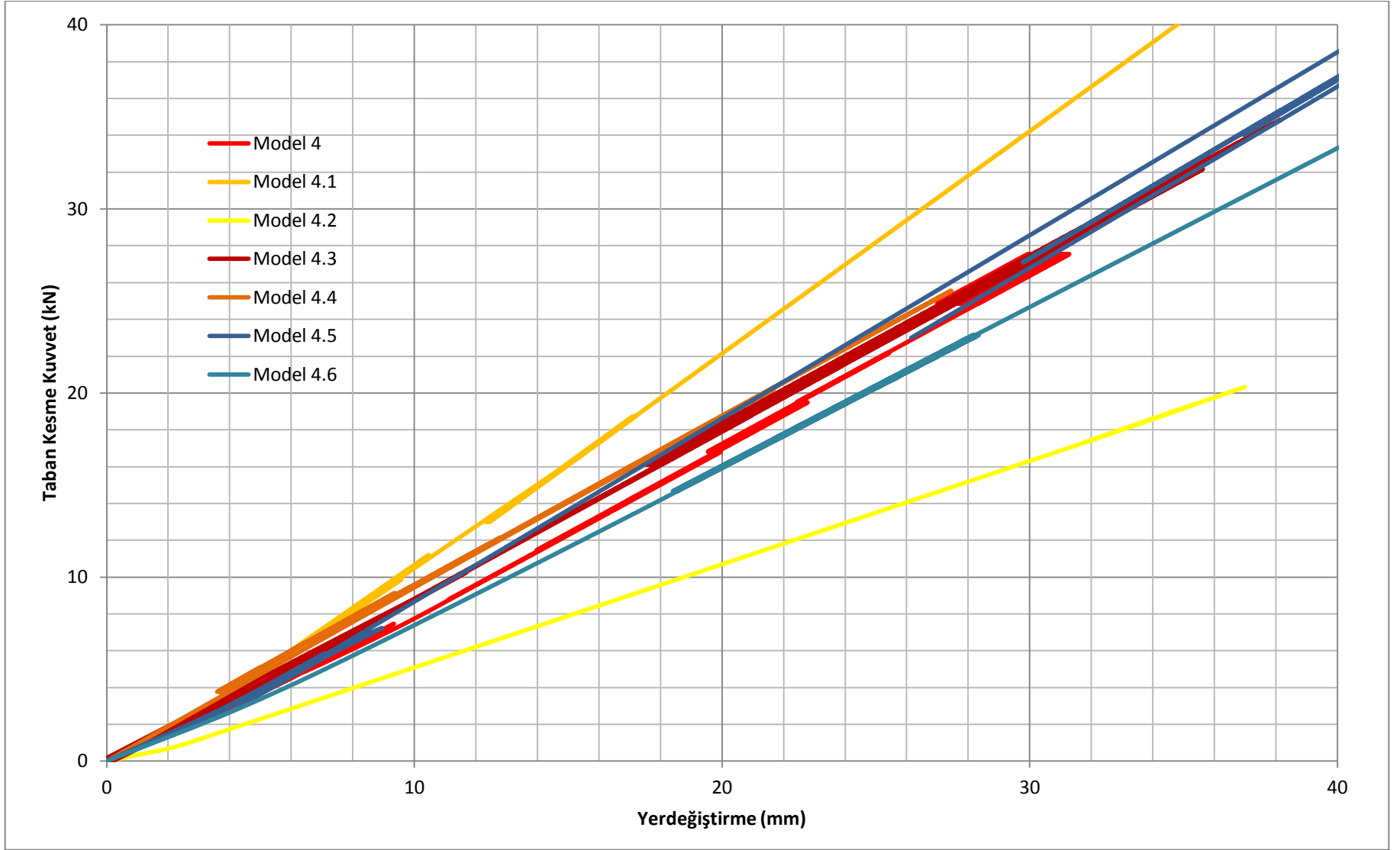
Şekil 5.28 : Model 4 ve Model 4.4 Statik İtme Analizi



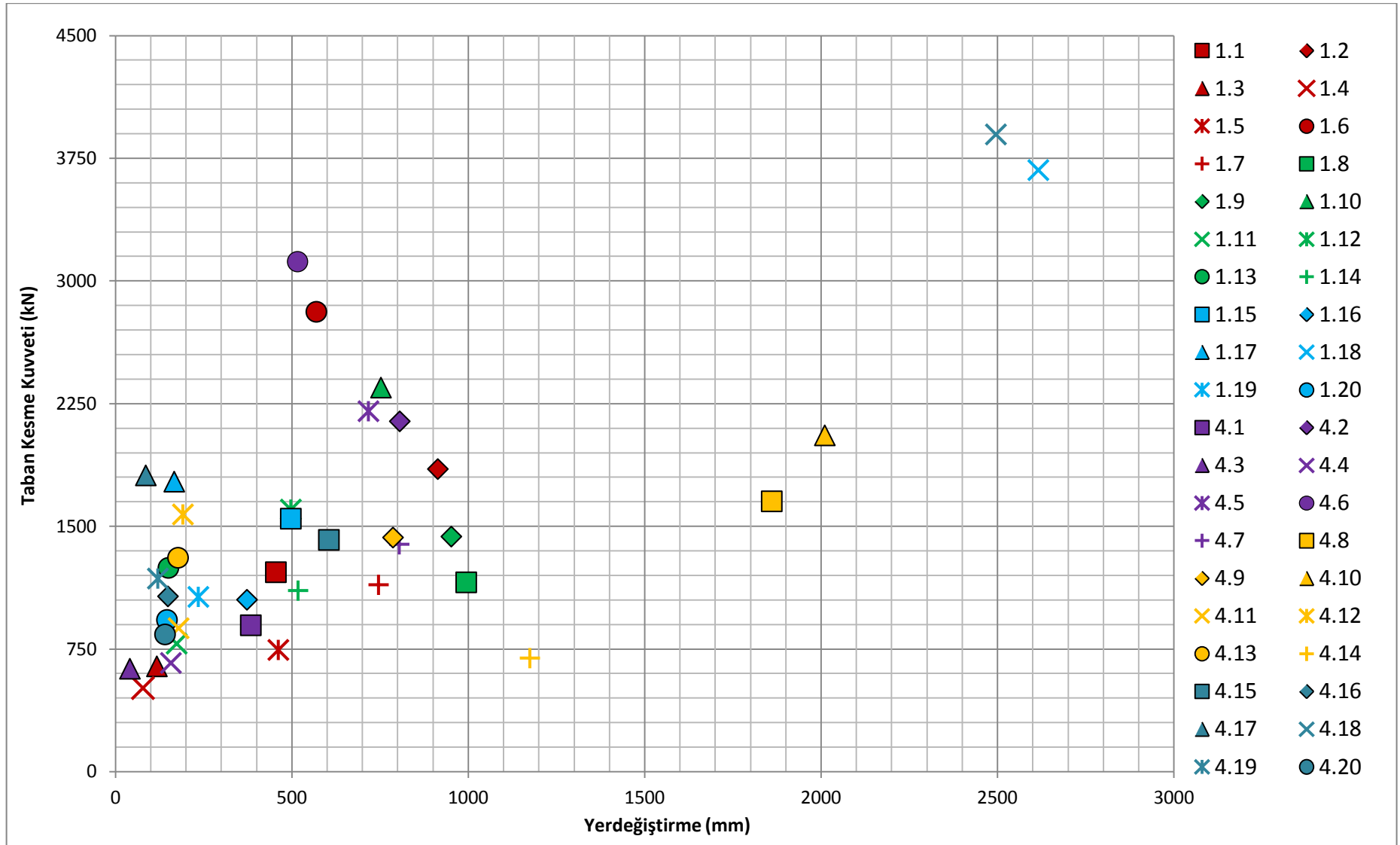
Şekil 5.29 : Model 4 ve Model 4.5 Statik İtme Analizi



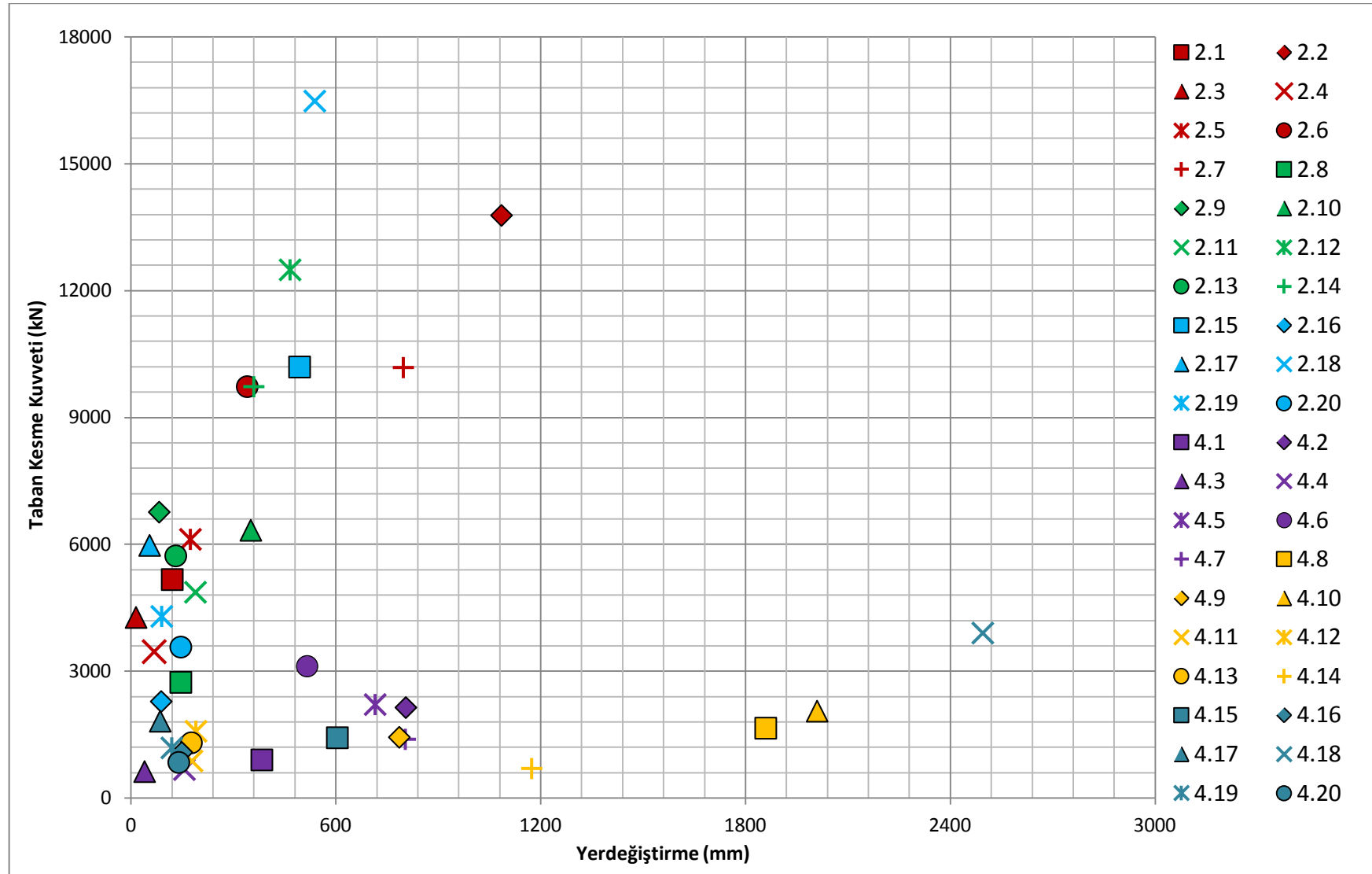
Şekil 5.30 : Model 4 ve Model 4.6 Statik İtme Analizi



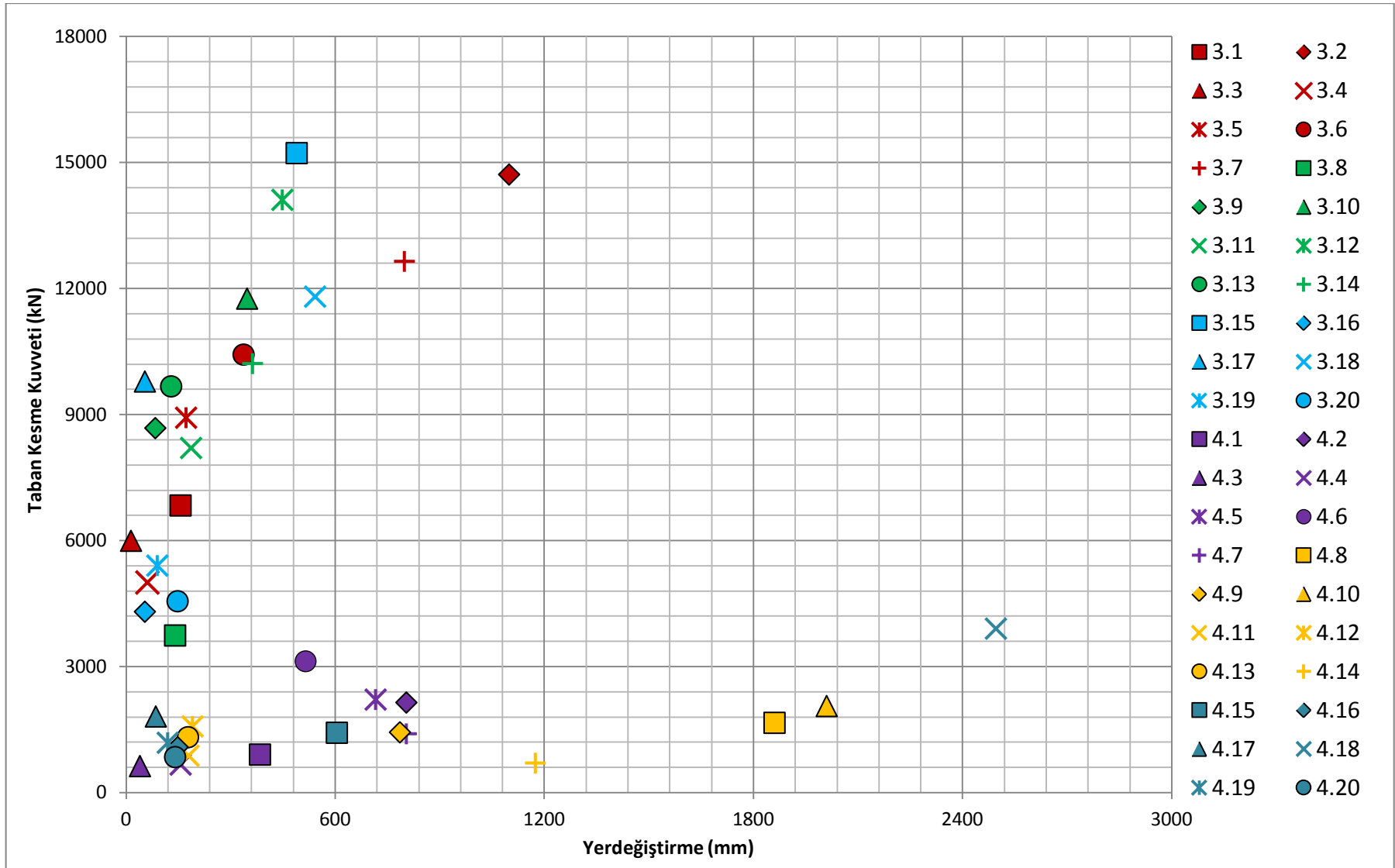
Şekil 5.31 : Model 4, Model 4.1, Model 4.2, Model 4.3, Model 4.4, Model 4.5 ve Model 4.6 Statik İtme Analizi



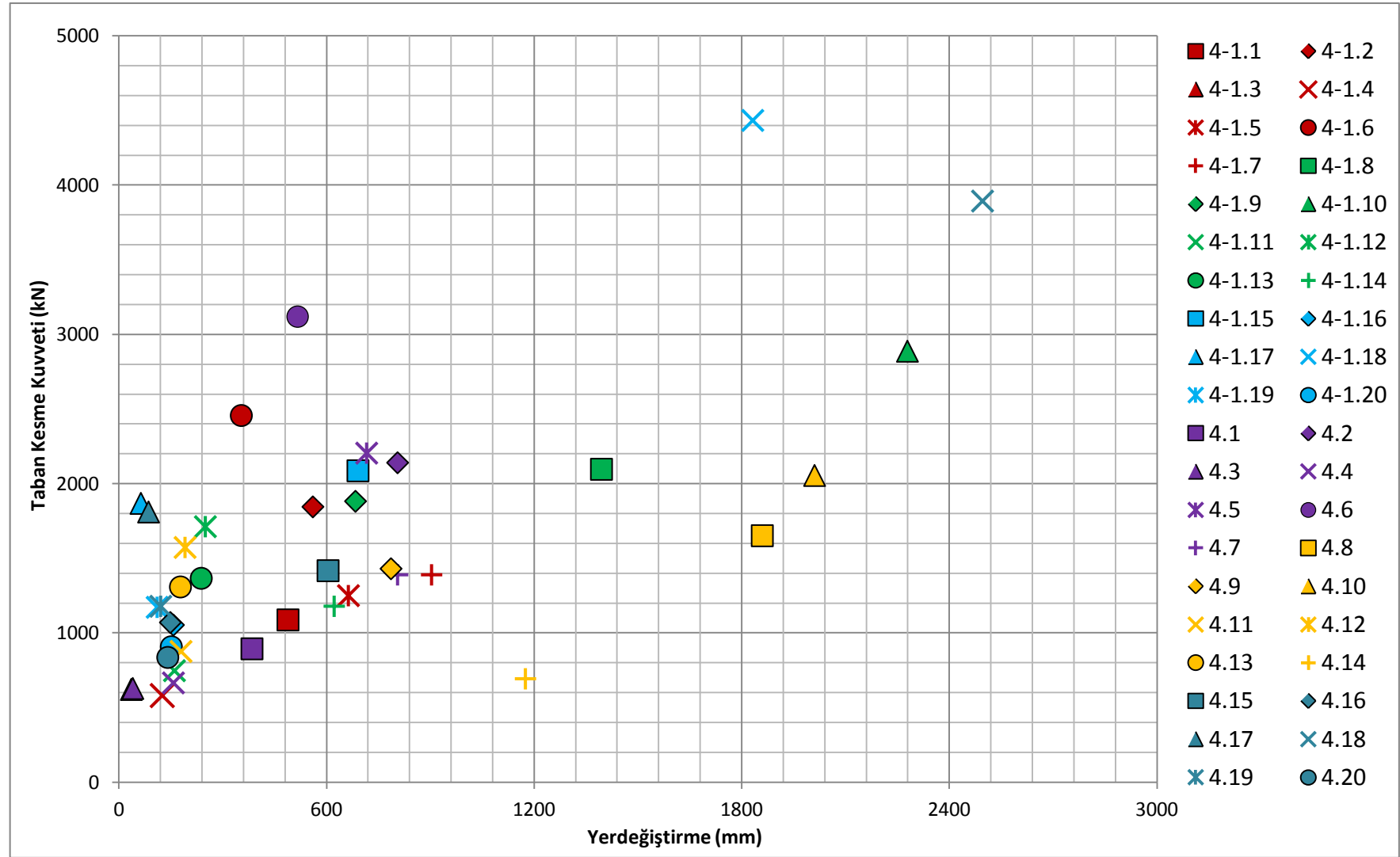
Şekil 5.32 : Model 1 ve Model 4 Zaman Tanım Alanında Analiz



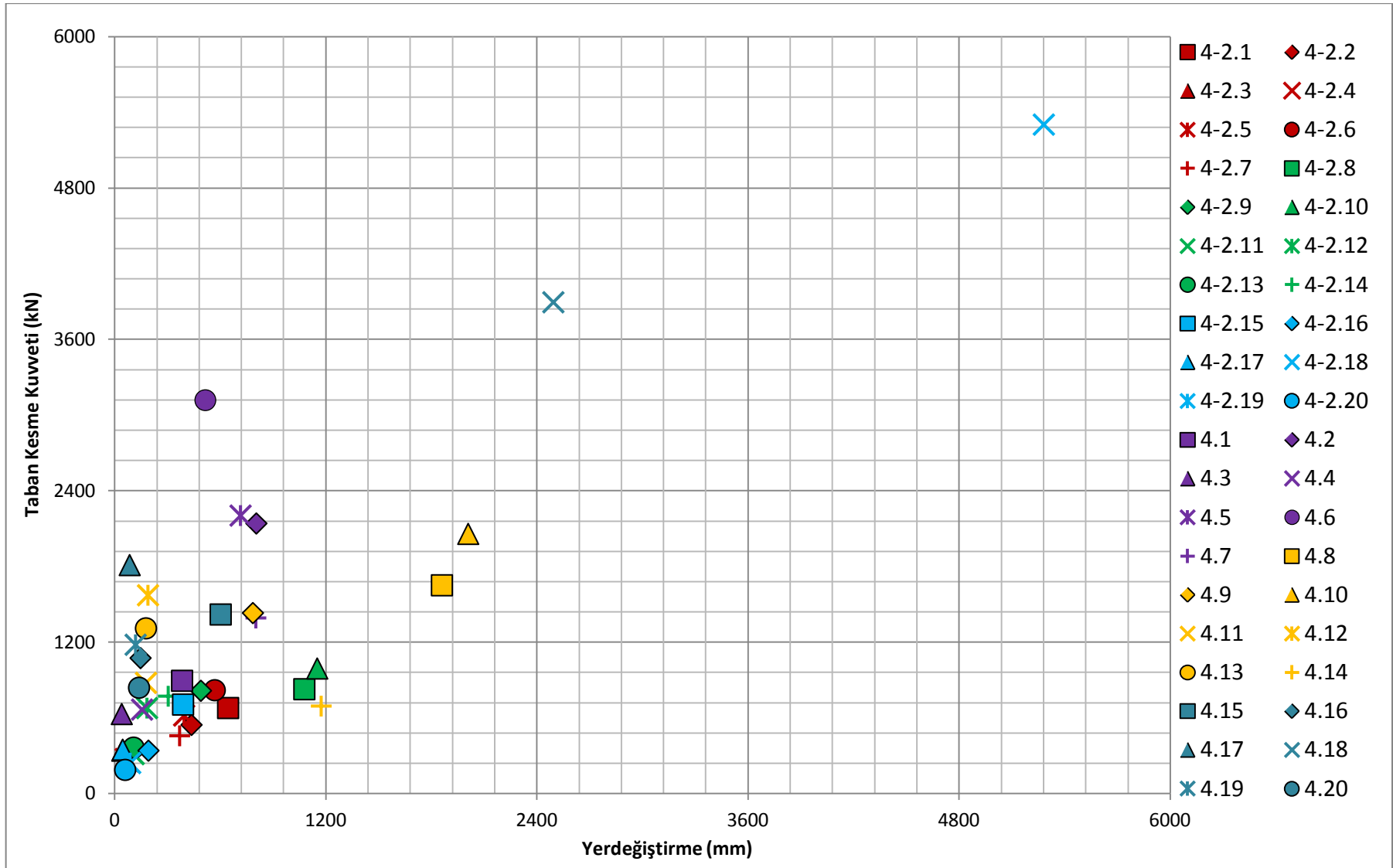
Şekil 5.33 : Model 2 ve Model 4 Zaman Tanım Alanında Analizi



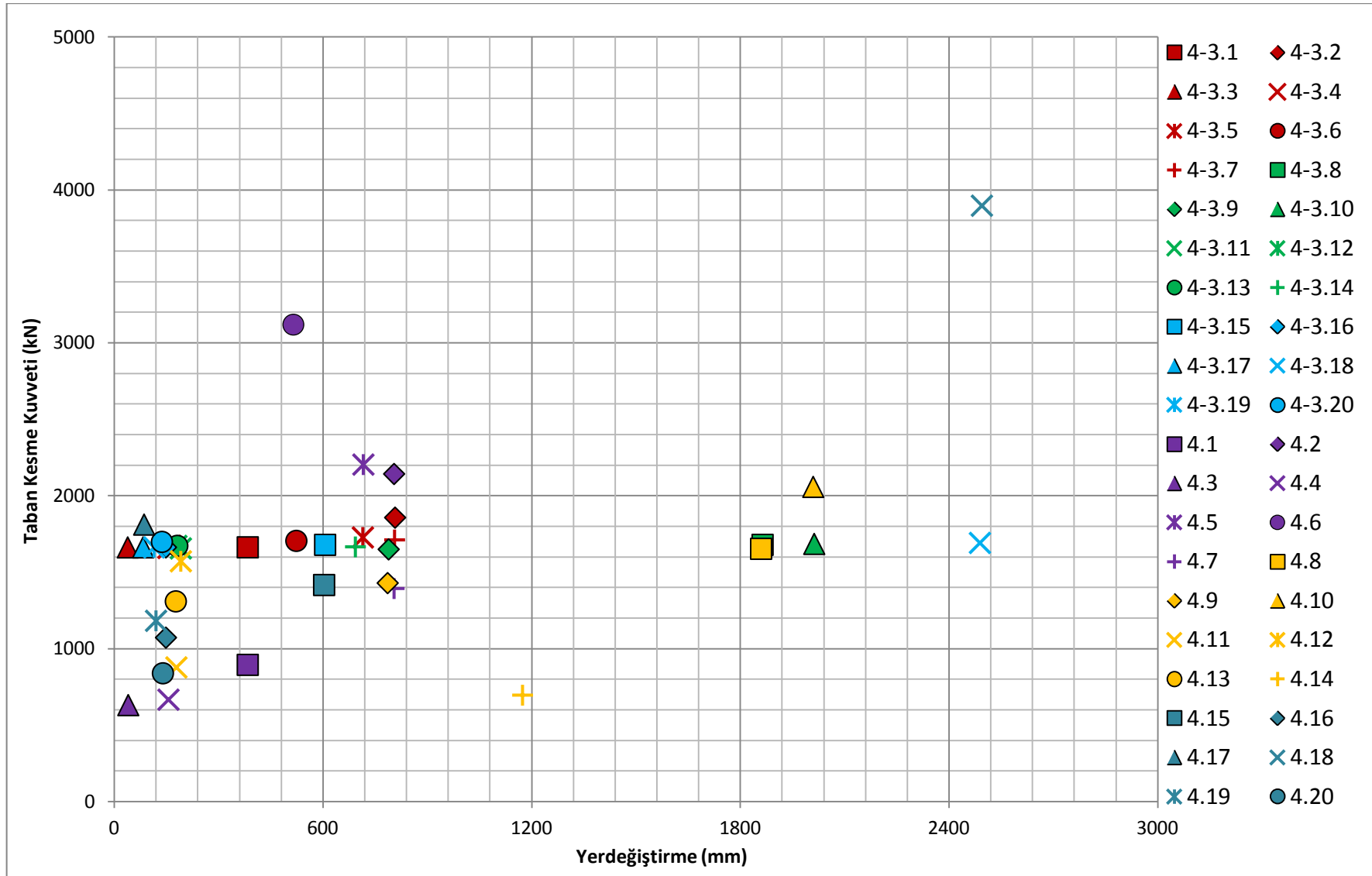
Şekil 5.34 : Model 3 ve Model 4 Zaman Tanım Alanında Analizi



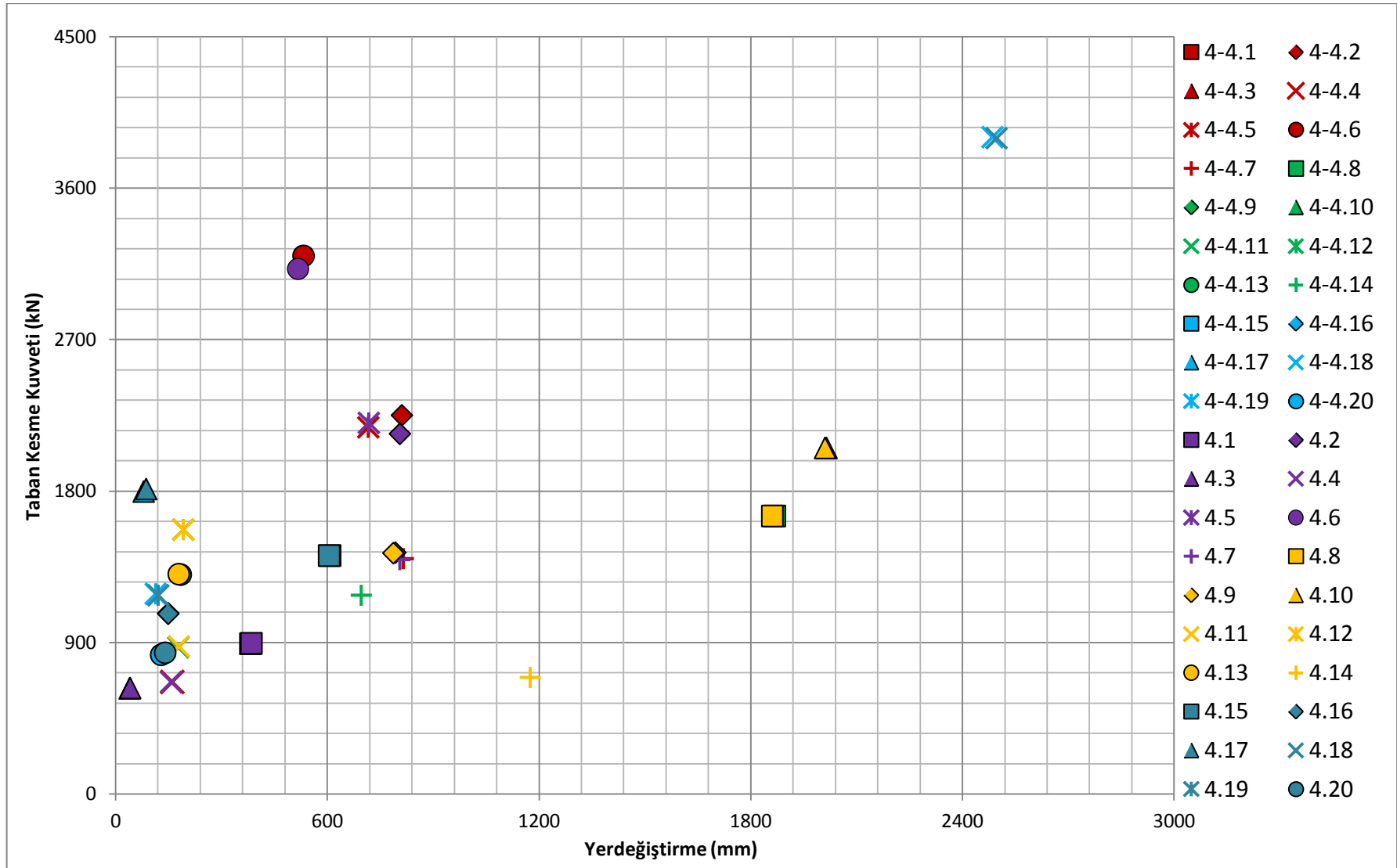
Şekil 5.35 : Model 4 ve Model 4.1 Zaman Tanım Alanında Analizi



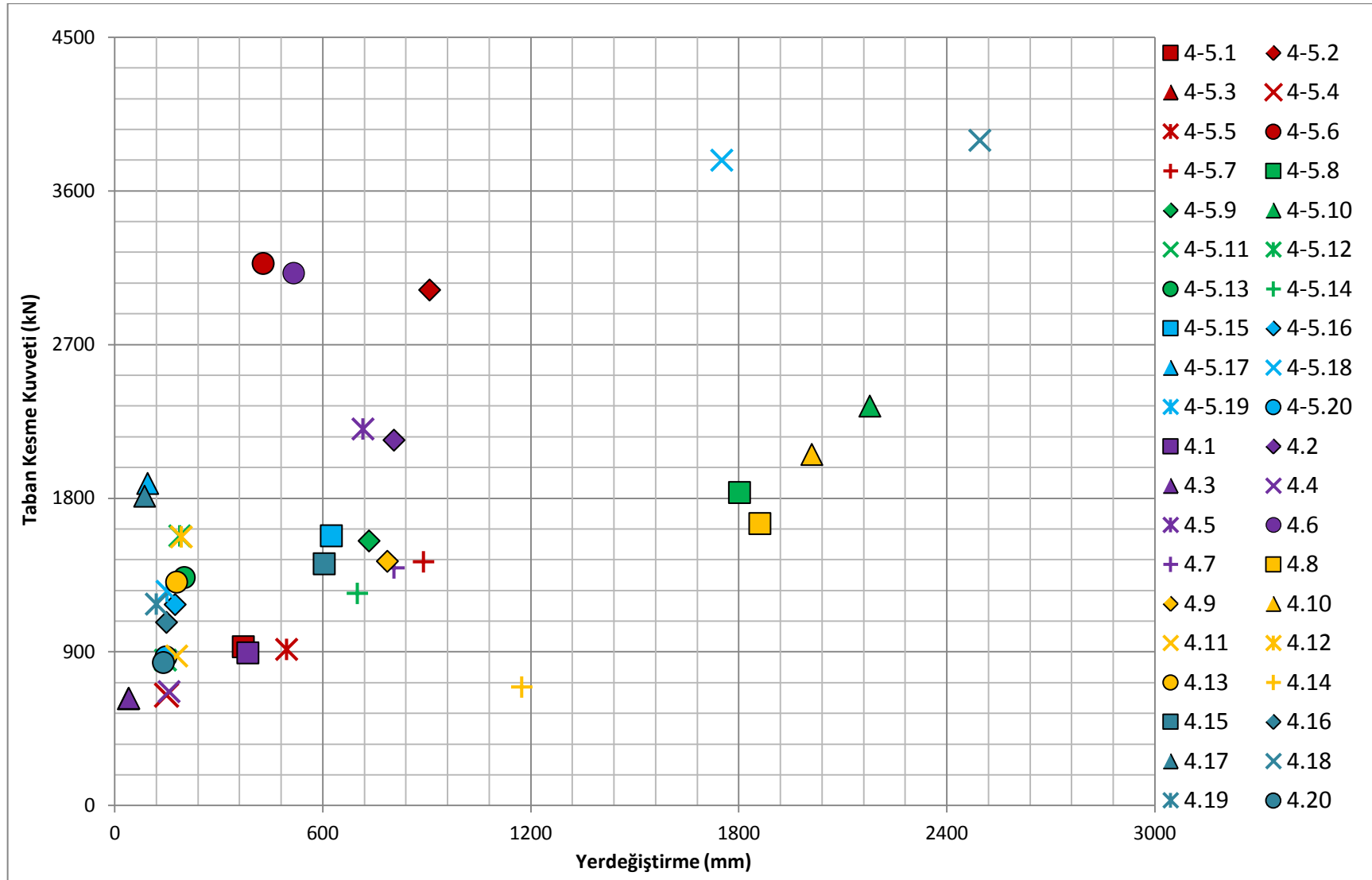
Şekil 5.36 : Model 4 ve Model 4.2 Zaman Tanım Alanında Analizi



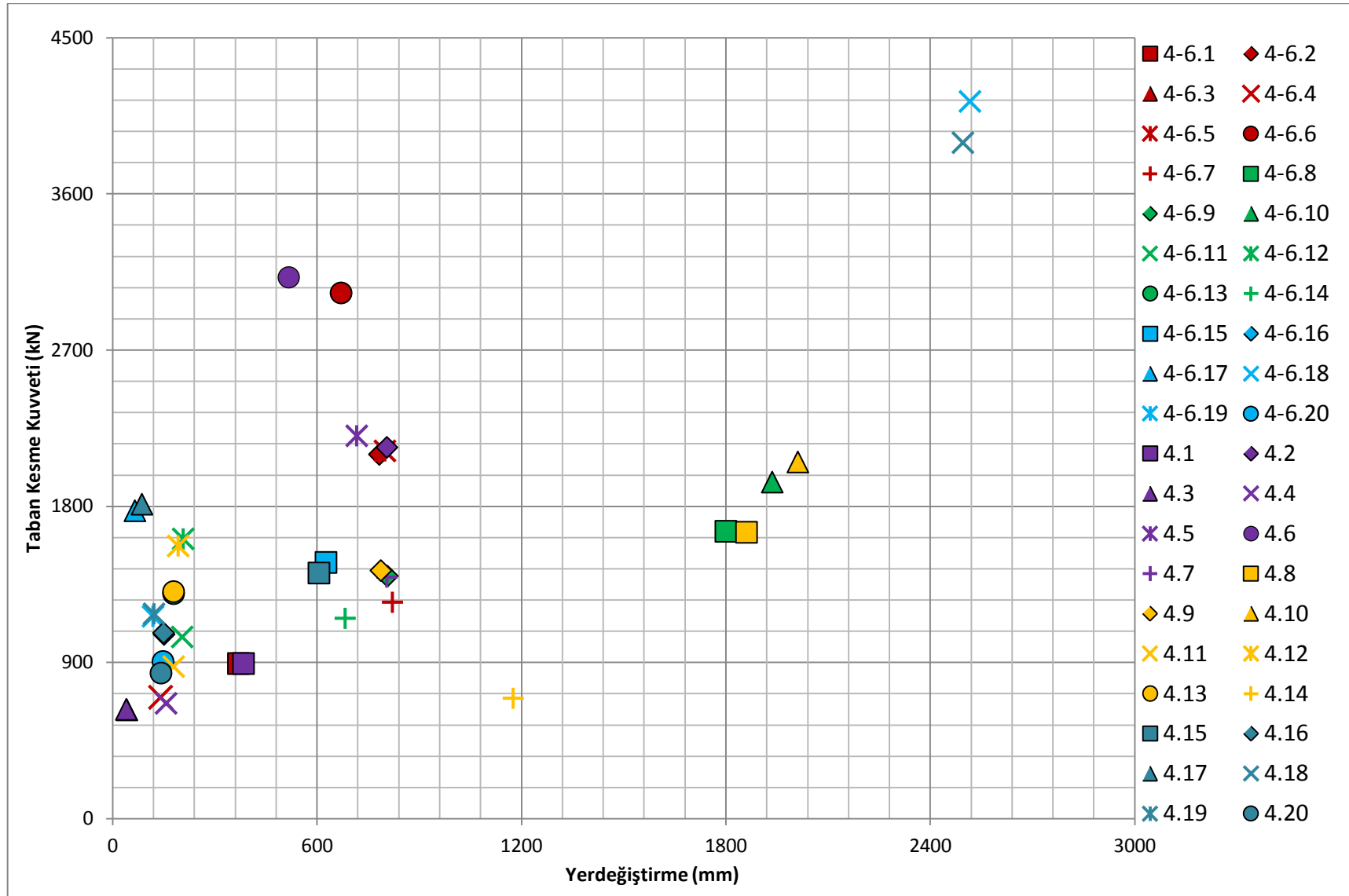
Şekil 5.37 : Model 4 ve Model 4.3 Zaman Tanım Alanında Analizi



Şekil 5.38 : Model 4 ve Model 4.4 Zaman Tanım Alanında Analizi



Şekil 5.39 : Model 4 ve Model 4.5 Zaman Tanım Alanında Analizi



Şekil 5.40 : Model 4 ve Model 4.6 Zaman Tanım Alanında Analizi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen analizlerden sonra modellerin sonuçları birbiriyle karşılaştırılmış ve aşağıda listelenen sonuçlara varılmıştır.

- Daha gerçekçi ve doğru sonuçlar elde edebilmek için asma germe halatlı sistemler doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle detaylı olarak analiz edilmelidir.
- Asma germe sistemlerde, halatların sadece çekmeye çalışan eleman olduğu göz önünde bulundurularak, çekme kuvveti oluşacak şekilde modellenmelidir.
- Halatlar modellendiğinde, halatlardan mesnet noktalarına doğru bir kuvvet iletiminin olması gerekmektedir.
- Asma germe sistemlerde, modellerin mümkün olduğunca simetrik ve dengeli formda oluşturulmasına dikkat edilmelidir.
- Model 1 statik itme analiz grafiğinde, taban kesme kuvveti-yatay yerdeğiştirme incelendiğinde, yapı I profillerin zayıf eksenindeki rijitliği oranında yanal kuvvetlere karşı tepki gösterdiği görülmektedir. Taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme eğrisi doğrusala yakın bir grafik oluşturmaktadır.
- Model 2 statik itme analiz grafiği incelendiğinde, çelik çaprazlar yapıda yaklaşık olarak doğrusal bir taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiği oluşturmaktadır.
- Model 3 statik itme analiz grafiği incelendiğinde, dolgu duvar yapıda yaklaşık olarak doğrusal bir taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiği oluşturmaktadır.
- Model 4 statik itme analiz grafiğinde, halatlı sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiği belli bir değere ulaştıktan sonra, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme değerlerinde küçük bir fark oluşturarak, tekrarlı bir grafik oluşturmaktadır. Model 4 grafiği incelendiğinde doğrusala yakın bir taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiği olduğu görülmektedir.

- Model 4.1 statik itme analiz grafiğinde, halatlı sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiğı incelendiğinde, yapı doğrusala yakın bir grafik oluşturmaktadır.
- Model 4.2 statik itme analiz grafiğinde, halatlı sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiğı incelendiğinde, yapı doğrusala yakın bir grafik oluşturmaktadır.
- Model 4.3 statik itme analiz grafiğinde, halatlı sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiğı incelendiğinde, yapı doğrusala yakın bir grafik oluşturmaktadır. Taban kesme kuvveti – yerdeğiştirmeler belli bir değerden sonra tekrarlı bir grafik oluşturmaktadır.
- Model 4.4 statik itme analiz grafiğinde, halatlı sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiğı incelendiğinde, yapı doğrusala yakın bir grafik oluşturmaktadır. Taban kesme kuvveti – yerdeğiştirmeler belli bir değerden sonra tekrarlı bir grafik oluşturmaktadır.
- Model 4.5 statik itme analiz grafiğinde, halatlı sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiğı incelendiğinde, yapı doğrusala yakın bir grafik oluşturmaktadır. Taban kesme kuvveti – yerdeğiştirmeler belli bir değerden sonra tekrarlı bir grafik oluşturmaktadır.
- Model 4.6 statik itme analiz grafiğinde, halatlı sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiğı incelendiğinde, yapı doğrusala yakın bir grafik oluşturmaktadır. Taban kesme kuvveti – yerdeğiştirmeler belli bir değerden sonra tekrarlı bir grafik oluşturmaktadır.
- Model 1 ve Model 4 statik itme analizleri kıyaslandığında, Model 4'te yer değiştirmeler Model 1'e göre daha azdır. Model 4 Model 1'e göre daha rijittir.
- Model 2 ve Model 4 statik itme analizleri kıyaslandığında, Model 2'de yer değiştirmeler Model 4'e göre daha azdır. Model 2 Model 4'e göre daha rijittir.
- Model 3 ve Model 4 statik itme analizleri kıyaslandığında, Model 3'te yer değiştirmeler Model 4'e göre daha azdır. Model 3 Model 4'e göre daha rijittir.

- Model 4.1 ve Model 4 statik itme analizleri kıyaslandığında, Model 4.1’de yer değiştirmeler Model 4’e göre daha azdır. Model 4.1 Model 4’e göre daha rijittir.
- Model 4 ve Model 4.2 statik itme analizleri kıyaslandığında, Model 4’te yer değiştirmeler Model 4.2’ye göre daha azdır. Model 4 Model 4.2’ye göre daha rijittir.
- Model 4.3 ve Model 4 statik itme analizleri kıyaslandığında, Model 4.3’te yer değiştirmeler Model 4’e göre daha azdır. Model 4.3 Model 4’e göre daha rijittir.
- Model 4.4 ve Model 4 statik itme analizleri kıyaslandığında, Model 4.4’te yer değiştirmeler Model 4’e göre daha azdır. Model 4.4 Model 4’e göre daha rijittir.
- Model 4.5 ve Model 4 statik itme analizleri kıyaslandığında, Model 4.5’te yer değiştirmeler Model 4’e göre daha azdır. Model 4.5 Model 4’e göre daha rijittir.
- Model 4 ve Model 4.6 statik itme analizleri kıyaslandığında, Model 4’te yer değiştirmeler Model 4.6’ya göre daha azdır. Model 4 Model 4.6’ya göre daha rijittir.
- Model 1 zaman tanım alanında dinamik analizde taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme grafiği incelendiğinde yaklaşık olarak doğrusal bir dağılım göstermektedir.
- Model 2 zaman tanım alanında dinamik analizde taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme grafiği incelendiğinde yaklaşık olarak doğrusal bir dağılım göstermektedir.
- Model 3 zaman tanım alanında dinamik analizde taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme grafiği incelendiğinde yaklaşık olarak doğrusal bir dağılım göstermektedir.
- Model 4 zaman tanım alanında dinamik analizde taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme grafiği incelendiğinde yaklaşık olarak doğrusal bir dağılım göstermektedir.
- Model 4.1 zaman tanım alanında dinamik analizde taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme grafiği incelendiğinde yaklaşık olarak doğrusal bir dağılım göstermektedir.
- Model 4.2 zaman tanım alanında dinamik analizde taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme grafiği incelendiğinde yaklaşık olarak doğrusal bir dağılım göstermektedir.

- Model 4.3 zaman tanım alanında dinamik analizde taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme grafiği incelendiğinde yaklaşık olarak aynı taban kesme kuvvetine karşılık faklı yerdeğiştirmeler görülmektedir.
- Model 4.4 zaman tanım alanında dinamik analizde taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme grafiği incelendiğinde yaklaşık olarak doğrusal bir dağılım göstermektedir.
- Model 4.5 zaman tanım alanında dinamik analizde taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme grafiği incelendiğinde yaklaşık olarak doğrusal bir dağılım göstermektedir.
- Model 4.6 zaman tanım alanında dinamik analizde taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme grafiği incelendiğinde yaklaşık olarak doğrusal bir dağılım göstermektedir.
- Model 1 ve Model 4 zaman tanım alanında dinamik analizleri kıyaslandığında, Model 4'te yer değiştirmeler Model 1'e göre daha azdır. Model 4 Model 1'e göre daha rijittir.
- Model 2 ve Model 4 zaman tanım alanında dinamik analizleri kıyaslandığında, Model 2'de yer değiştirmeler Model 4'e göre daha azdır. Model 2 Model 4'e göre daha rijittir.
- Model 3 ve Model 4 zaman tanım alanında dinamik analizleri kıyaslandığında, Model 3'te yer değiştirmeler Model 4'e göre daha azdır. Model 3 Model 4'e göre daha rijittir.
- Model 4.1 ve Model 4 zaman tanım alanında dinamik analizleri kıyaslandığında, Model 4.1'de yer değiştirmeler Model 4'e göre daha azdır. Model 4.1 Model 4'e göre daha rijittir.
- Model 4 ve Model 4.2 zaman tanım alanında dinamik analizleri kıyaslandığında, Model 4'te yer değiştirmeler Model 4.2'ye göre daha azdır. Model 4 Model 4.2'ye göre daha rijittir.
- Model 4.3 ve Model 4 zaman tanım alanında dinamik analizleri kıyaslandığında, Model 4.3'te yer değiştirmeler Model 4'e göre daha azdır. Model 4.3 Model 4'e göre daha rijittir.

- Model 4.4 ve Model 4 zaman tanım alanında dinamik analizleri kıyaslandığında, Model 4.4'te yer deşiştirmeler Model 4'e göre daha azdır. Model 4.4 Model 4'e göre daha rijittir.
- Model 4.5 ve Model 4 zaman tanım alanında dinamik analizleri kıyaslandığında, Model 4.5'te yer değiştirmeler Model 4'e göre daha azdır. Model 4.5 Model 4'e göre daha rijittir.
- Model 4 ve Model 4.6 zaman tanım alanında dinamik analizleri kıyaslandığında, Model 4'te yer değiştirmeler Model 4.6'ya göre daha azdır. Model 4 Model 4.6'ya göre daha rijittir.
- Asma germe halatlı sistemlerin analizinde, halatların çapı ve öngerme yükü için bir n seçim yapıldıktan sonra artımsal yaklaşımla halat çapı ve öngerme yükü belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

- ABYYHY-2007**, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Akçalı, İ. Deniz**, “Mekanizma Tekniği”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002, S:249
- Burkhardt, R.W.**, “A Practical Guide to Tensegrity Design”, 2nd edition, September 17,2008
- Boeck, J.D.**, “Tensegrity Bridges”, Master Thesis, 2013, Delft University of Technology, The Netherlands
- Chassagnoux, A.**, “A Study of Morphological Characteristics of Tensegrity Structures”, Internal Journal of Space Structures Vol. 7 No:2, 1992
- Coloney, R.**, “The Stability of Tensegrity Frameworks”, International Journal of Space Structures Vol:7, 1992.
- Güney, D**, YTÜ Ders Notları 2014
- Eleanor HEARTNEY**, “Kenneth Snelson, Art and Ideas”
- Emmerich, D.G.**, “Self-Tensioning Spherical Structures” International Journal of Space Structures Vol:5, No:3&4, 1990
- Emmerich, D.G.**, “Emmerich on Self-Tensioning Structures International Journal of Space Structures Vol:11, 1996
- Fuller, R.B.**, “Tensional-Integrity Structures” 1981, www.bfi.org.
- Fu, F.**, “Structural behavior and design methods of Tensegrity domes”, Journal of Constructional Steel Research 61, 2005-23-35
- Fu, F., Ve Lan, T.**, “A study of Tensegrity Cable Domes”, Space Structures 5, Thomas Telford, 2002
- Furuya, H.**, “Concept of Deployable Tensegrity Structures in Space Application” International Journal of Space Structures Vol:7,1992
- Grip, R.**, “The Correspondence Between Convex Polyhedra and Tensegrity Systems: A classification Systems”, International Journal of Space Structures Vol:7, 1992
- Gómez Jàuregui, Valentín** (2004). “Tensegrity Structures and their application to Architecture”, MSc thesis. Queen’s University, Belfast, SPAIN
- Hanaor, A.**, “Aspects of Design of Double-Layer Tensegrity Domes”, International Journal of Space Structures Vol:7, 1992
- Hanaor, A.**, “Double Layer Tensegrity Grids”
- Hangai, Y.**, “Self-Equilibrating Stress Systems and Structural Behaviour of Truss Structures Stabilized by Cable Tension” International Journal of Space Structures Vol:7, 1992
- İrtem, E., Türker, K.**, “Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Lineer Olmayan Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Statik Yöntemlerin

- Karşılaştırılması”, IV. Mühendislik – Mimarlık Sempozyumu, Balıkesir, (2002).
- Jàuregui, V.**, “Tensegrity Structures and Their Applications”
- Juan S.H., Tur J. M. M.**, “Tensegrity frameworks: Static analysis review”, Mechanism and Machine Theory, 23 June 2007
- Karahan, Ali Emre** (2008). “Türkiye’deki prefabrike betonarme sanayi yapılarının performans değerlendirmesinde dolgu duvar etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi
- Kaya, Kürşad**, (2005) “Tensegrity Sistemler”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Krishna, P.**, “Tension roofs and bridges”, Journal of Constuctional Steel Research, 57-2001-1123-1140
- Motro R.**, “Structural Sysyems for the Future”, S:236, 2003.
- Motro R., Balkacem, S., Vassart, N.**, “Form Finding Numerical Methods for Tensegrity Systems”.
- Motro R.**, “Tensegrity Systems and Geodesic Domes”, Internatinal Journal of Space Structures Vol:5, 1990
- Nuhoglu A, Korkmaz KA**, “A Practical Approach for Nonlinear Analysis of Tensegrity Systems, Engineering With Computers”, 2010.
- Penã D. M., Llorens I., Sastre R.**, “Application of the Tensegrity Principles on Tensile Textile Constructions”, 05-02-2010
- Rebielak, J.**, “General Morphology of New Types of Tension-Strut Systems”, Head of Division of Structures and Building Engineering, Department of Architecture, Wroclaw University of Technology, POLAND, 2002.
- Sadao, S.**, “Fuller on Tensegrity”, Internatinal Journal of Space Structures Vol:11, No:1-2, 1996.
- Saidani, M Ve Remise, E.**, “Research on Double Layer Tensegrity Systems”, Tension Structures.
- Sayın, B., Kaplan, A, S.**, “Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Yapılarda Dolgu Duvarların Modellenme Teknikleri”, *Deprem Güvenliği İçin Neler Yapıldı ve Neler Yapılmalı Çözüme Yönelik Öneriler Sempozyumu*, İstanbul, (2005).
- Shepherdson, E.**, “How Many Stricks Does It Take to Cross the Road” Tension Structures, Tensegrity.
- Stern, I. P.**, “Development of Design Equations for Self-Deployable N-Strut Tensegrity Systems” Master Thesis, 1999, University of Florida
- TS-498**, Yapı Elemeanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri

Uçar, T., “Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizinde Çözüm Yöntemleri”,
Y. Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,
İzmir, (2005). S1,

Wang B., “Simplexes in Tensegrity Systems”, Space Structures Technology
Development, CHINA.

Quirant J., Kazi-Aoual M.N., Motro R., “Designing tensegrity systems: the case of
a double layer grid”, *Engineering Structures*, 25-2003-1121-1130

Url-1 <<http://www.reinaldosoto.com>>, alındığı tarih: 2015.

Url-2 <<http://www.columbia.edu>>, alındığı tarih: 2015.

Url-3 <<http://www.citycattour.com>>, alındığı tarih: 2015.

Url-4 <<http://www.tensegriteit.nl>>, alındığı tarih: 2015.

Url-5 <<http://www.tectonica-online.com>>, alındığı tarih: 2015.

Url-6 <<http://www.alumnos.unican.es/>>, alındığı tarih: 2015

Url-7 <<http://www.rwgrayprojects.com/>>, alındığı tarih: 2015

Url-8 <<http://www.engr.wics.edu/>>, alındığı tarih: 2015

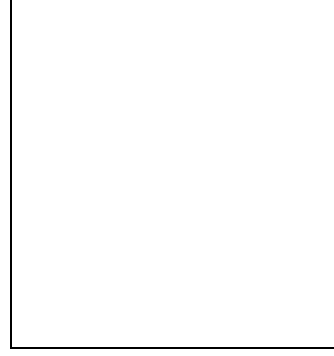
Url-9 <<http://www.freiotto.com/>>, alındığı tarih: 2015

Url-10 <<http://www.chanell.com./users/bobwb/tenseg/book/revision.html>>,
alındığı tarih: 2015

Url-11 <<http://ngawest2.berkeley.edu/spectras/28739/searches/new/>>,
alındığı tarih: 2015

Url-12 <<http://www.wikipedia.org>>, alındığı tarih: 2015.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad :Musa ÜZER
Doğum Yeri ve Tarihi : ŞANLIURFA-1984
E-Posta :musauzer@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü