

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LABORATUVAR, ARAZİ VE JEOFİZİK DENEY SONUÇLARINI
KULLANAN ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ HESAP YÖNTEMLERİNİN
İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İlkay TONYALI**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

**Programı : Zemin Mekaniği ve Geoteknik
Mühendisliği**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LABORATUVAR, ARAZİ VE JEOFİZİK DENEY SONUÇLARINI
KULLANAN ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ HESAP YÖNTEMLERİNİN
İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İlkay TONYALI
(501041313)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM (İTÜ)

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erol GÜLER (BÜ)
Doç. Dr. İ. Hakkı AKSOY (İTÜ)**

HAZİRAN 2011

Nazanima,

ÖNSÖZ

Yapı temellerinin, üst yapıdan gelen çeşitli yükleri güvenli şekilde zemine aktarabilmesi gerekmektedir. Bunun için temellerin sağlaması gereken, göçmeye karşı yeterli güvenliğe sahip olması (taşıma gücü) şartı son derece önemlidir. Aksi durumlarda, temelin göçmesi ve bunun sonucunda üst yapının tamamen ya da kısmen hasar görmesi tehlikeleriyle karşılaşılabilir. Bu yıkıcı etkilere karşı güvenilir ve ekonomik projeler gerçekleştirilebilmesi için, yapıların oturacağı zeminin özelliklerinin son derece iyi incelenmesi ve ortaya konulan zemin mukavemet verilerinin gerçeği yansıtması gerekmektedir.

Çeşitli araştırmacılar, Laboratuvar Deneyleri, Arazi Deneyleri (Sondalar) ve Jeofizik Deney sonuçlarını kullanarak, nihai taşıma gücü analizine yönelik çalışmalar ortaya koymaktadır. Bu tez kapsamında, çeşitli inşaat sahalarına ait zemin inceleme sonuçları ve bahsedilen çalışmalar kullanılarak elde edilen nihai taşıma gücü değerleri kıyaslanmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde sunduğu çok değerli bilgi, tecrübe ve yardımlar için tez danışmanım, hocam Sayın Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM'a, çalışmalarım esnasında beni sabırla karşılayıp, hep yanımda olan çok sevgili eşime, aileme ve son olarak yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Araş. Gör. Akif KUTLU'ya, Sayın Araş. Gör. Dr. Murat YILMAZ'a ve Sayın Yük. İnş. Müh. Çağlar HOROZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2011

İlkay TONYALI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	4
2. ZEMİN İNCELEME YÖNTEMLERİ.....	7
2.1 Arazi Deneyleri (Sondalar)	7
2.1.1 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT).....	8
2.1.2 Konik Penetrasyon Deneyi (CPT).....	11
2.1.3 Presiyometre Deneyi (PMT)	13
2.1.4 Plaka Yükleme Deneyi.....	13
2.1.5 Arazi Veyn Deneyi (VST)	14
2.2 Laboratuvar Deneyleri.....	15
2.2.1 Kesme Kutusu Deneyi	15
2.2.2 Serbest Basınç Deneyi	17
2.2.3 Üç Eksenli Basınç Deneyi.....	18
2.2.4 Laboratuvar Veyn Deneyi	21
2.2.5 Düşen Koni Deneyi	21
2.3 Jeofizik Yöntemler	21
2.3.1 Sismik Yöntem.....	23
2.3.1.1 Yüzey Sismik Yöntemler.....	25
2.3.1.2 Kuyu İçi Sismik Yöntemler.....	29
2.3.2 Elektriksel Direnç (Rezistivite) Yöntemi.....	31
3. YÜZEYSEL TEMELLERDE TAŞIMA GÜCÜ	33
3.1 Taşıma Gücü Hesap Yöntemleri	36
3.1.1 Klasik taşıma gücü hesap yöntemleri.....	36
3.1.1.1 Terzaghi taşıma gücü hesabı.....	36
3.1.1.2 Meyerhof taşıma gücü hesabı.....	39
3.1.1.3 Hansen taşıma gücü hesabı.....	44
3.1.1.4 Vesic taşıma gücü hesabı.....	47
3.1.2 Arazi deneyleri ile taşıma gücü hesap yöntemleri	49
3.1.2.1 SPT deneyi ile taşıma gücü hesabı.....	49
3.1.2.1.1 Terzaghi ve Peck yöntemi.....	49
3.1.2.1.2 Meyerhof yöntemi.....	50
3.1.2.1.3 Bowles yöntemi.....	51
3.1.2.1.4 Parry yöntemi.....	52

3.1.2.2 CPT deneyi ile taşıma gücü hesabı.....	53
3.1.2.2.1 Schmertmann yöntemi.....	53
3.1.2.2.2 Meyerhof yöntemi.....	53
3.1.2.2.3 Tand ve diğ. yöntemi.....	54
3.1.2.3 Plaka yükleme deneyi ile taşıma gücü hesabı.....	54
3.1.2.3.1 Klasik yöntem.....	54
3.1.2.3.2 Housel yöntemi.....	55
3.1.2.4 Presiyometre deneyi ile taşıma gücü hesabı.....	55
3.1.3 Jeofizik yöntemler ile taşıma gücü hesap yöntemleri	56
3.1.3.1 Imai ve Yoshimura taşıma gücü hesabı.....	56
3.1.3.2 Keçeli taşıma gücü hesabı.....	57
3.1.3.3 Tezcan ve diğ. taşıma gücü hesabı.....	58
3.1.3.4 Türker taşıma gücü hesabı.....	60
3.1.3.5 Kurtuluş taşıma gücü hesabı.....	60
4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	61
5. NİHAİ TAŞIMA GÜCÜ ANALİZLERİ.....	63
6. NİHAİ TAŞIMA GÜCÜ ANALİZ SONUÇLARI.....	67
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	77

KISALTMALAR

CD	: Konsolidasyonlu Drenajlı Üç Eksenli Basınç Deneyi
CPT	: Konik Penetrasyon Deneyi
CSW	: Harmonik Dalga Yöntemi
CU	: Konsolidasyonlu Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi
PMT	: Presiyometre Deneyi
SASW	: Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
VST	: Arazi Veyn Deneyi
UU	: Konsolidasyonsuz Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Sondaj kuyu çapı, numune alıcı ve tij düzeltmeleri (Skempton,1986).	10
Çizelge 2.2 : P-dalgası hızı ile zemin cinsleri arasındaki ilişki (ASTM D 5777).	26
Çizelge 3.1 :Terzaghi temel geometri katsayıları.	39
Çizelge 3.2 :Terzaghi N_c , N_q , N_γ ve K_{py} katsayıları (Bowles, 1996).	39
Çizelge 3.3 : Meyerhof s_i , d_i , i_i katsayıları hesaplamaları (Bowles, 1996).	40
Çizelge 3.4 : Meyerhof N_c , N_q , N_γ taşıma gücü katsayıları (Bowles, 1996).	42
Çizelge 3.5 : Hansen b_i , g_i , i_i katsayıları hesap formülleri (Bowles, 1996).	45
Çizelge 3.6 : Hansen s_i , d_i katsayıları hesap formülleri (Bowles, 1996).	47
Çizelge 3.7 : Vesic b_i , g_i , i_i katsayıları hesap formülleri (Bowles, 1996).	48
Çizelge 3.8 : Hansen ve Vesic N_c , N_q , N_γ taşıma gücü katsayıları (Bowles, 1996).	48
Çizelge 3.9 : Bowles F_1 , F_2 , F_3 ve F_4 taşıma gücü katsayıları (Bowles, 1996).	51
Çizelge 3.10 : Presiyometre taşıma gücü için, k_{bc} değerleri (McCarthy,2007).	56
Çizelge 3.11 : $T=0,4s$ için sismik hızlardan elde edilen nihai taşıma güçleri (Keçeli,1990).	57
Çizelge 3.12 : $T=0,3s$ için sismik hızlardan elde edilen nihai taşıma güçleri (Keçeli,1990).	58
Çizelge 3.13 : β azaltma katsayısı-B temel genişliği ilişkisi.	59
Çizelge 3.14 : Zemin cinsi ile referans birim ağırlık ilişkisi (Tezcan ve diğ., 2010).	59
Çizelge 3.15 : V_s hızına göre, n ve q_e değişimi (Tezcan ve diğ., 2010).	60
Çizelge 5.1 : Arazi, laboratuvar ve sismik deney sonuçları mevcudiyet listesi.	65
Çizelge A.1.1 : S1-S23 numuneleri analize esas zemin parametreleri.	78
Çizelge A.1.2 : S24-S45 numuneleri analize esas zemin parametreleri.	79
Çizelge A.1.3 : S46-S50 numuneleri analize esas zemin parametreleri.	80
Çizelge A.2.1 : S1-S13 nihai taşıma gücü toplu sonuçları.	81
Çizelge A.2.2 : S14-S33 nihai taşıma gücü toplu sonuçları.	82
Çizelge A.2.3 : S34-S50 nihai taşıma gücü toplu sonuçları.	83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : SPT örnek alıcısı (ASTM D 1586).	8
Şekil 2.2 : SPT deneyinin halat ve kedibaşı ile arazide uygulanması.	9
Şekil 2.3 : CPT koni boyut ve detayları.	12
Şekil 2.4 : Arazi Veyn deneyi kanatlı kesici detayı (ASTM D 2573).	14
Şekil 2.5 : Kesme kutusu deneyi kesme kuvveti ile yatay deformasyon değişimi. ..	16
Şekil 2.6 : Kesme kutusu deneyi zemin mukavemet zarfı.	16
Şekil 2.7 : Serbest basınç deneyi gerilme-şekil değiştirme değişimi.	17
Şekil 2.8 : Serbest basınç deneyi Mohr dairesi ve mukavemet zarfı.	18
Şekil 2.9 : Üç eksenli basınç deney düzeneği (Bowles, 1996).	19
Şekil 2.10 : Üç eksenli basınç deneyi Mohr dairesi ve kırılma zarfı (Bowles, 1996).	20
Şekil 2.11 : Deney yöntemleri ve ölçüm gerçekleştirilen deformasyon değerleri. ...	22
Şekil 2.12 : P ve S dalgalarının ortamda yayılma biçimleri.	23
Şekil 2.13 : Love ve Rayleigh dalgalarının ortamda yayılma biçimleri.	24
Şekil 2.14 : Sismik yöntemlerde dalgaların zemin içinde yayılış biçimleri.	25
Şekil 2.15 : Sismik yöntem dalga varış süresi-uzaklık grafiği (ASTM D 5777).	26
Şekil 2.16 : SAWS uygulamasına ait şematik gösterim.	28
Şekil 2.17 : Harmonik dalga yöntemi (CSW) şematik gösterimi (Menzies, 2001). .	28
Şekil 2.18 : Karşıt Kuyu sismik deney düzeneği (ASTM D 4428).	29
Şekil 2.19 : Aşağı ve Yukarı Kuyu sismik yöntemlerinin şematik gösterimleri.	30
Şekil 2.20 : Sismik Koni Penetrasyon deneyi şematik gösterimi.	30
Şekil 2.21 : Elektriksel direnç (Rezistivite) yöntemi şematik gösterimi.	31
Şekil 3.1 : Taşıma kapasitesi kırılma çeşitleri: a) Genel. b) Yerel. c) Zımbalayıcı. (Coduto, 2001)	34
Şekil 3.2 : Taşıma kapasitesi kırılma çeşitlerine göre yük-şekil değiştirme eğrileri: a) Genel. b) Yerel. c) Zımbalayıcı. (Vesic, 1963).....	35
Şekil 3.3 : Terzaghi taşıma kapasitesi sınır durum gösterimi (Bowles, 1996).	37
Şekil 3.4 : Meyerhof taşıma kapasitesi sınır durum şematik gösterimi (Das, 1999). 41	
Şekil 3.5 : β , ϕ ve m değerlerine göre: a) N_c değişimi. b) N_q değişimi. c) N_c değişimi (Das, 1999).	43
Şekil 3.6 : Hansen taşıma kapasitesi hesabı şematik gösterimi (Bowles, 1996).	44
Şekil 3.7 : Dikdörtgen ve dairesel temeller üzerindeki eksantrisite etkisinin şematik gösterimi (Bowles, 1996).	46
Şekil 3.8 : Terzaghi ve Peck emniyetli taşıma gücü q_e 'nin B ve SPT-N ile değişimi (Bowles, 1996).	49
Şekil 3.9 : Bowles emniyetli taşıma gücü q_e 'nin B ve SPT-N ile değişimi (Bowles, 1996).	52
Şekil A.2.1 : S1 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.	84
Şekil A.2.2 : S2 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.	84
Şekil A.2.3 : S3 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.	85

LABORATUVAR, ARAZİ VE JEOFİZİK DENEY SONUÇLARINI KULLANAN ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ HESAP YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Geoteknik Mühendisliğinde, çeşitli üst yapı yüklerini güvenli şekilde zemine aktaran temellerin tasarımı son derece önemlidir. Bunun gerçekleştirilebilmesi için, zemin özelliklerinin derinlemesine incelenmesi gerekmektedir. Genellikle bu çalışmalar, laboratuvar ortamında ve/veya arazide gerçekleştirilmektedir. Son zamanlarda, jeofizik yöntemler de, zemin parametrelerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Önceleri petrol mühendisliğinde kaynak belirlemede kullanılan bu yöntemler, teknolojik gelişmelerinde etkisiyle inşaat mühendisliği dalında da tercih edilmeye başlanmıştır. Dünya genelinde daha çok kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik jeofizik çalışmalar mevcuttur. Ülkemizde ise zemin özelliklerini belirlemek amacıyla, birçok jeofizik çalışma bulunmakla beraber, bunların en dikkat çekicilerinden biri zeminlerin taşıma güçlerinin teminine yönelik olanlardır.

Zeminlerin taşıma güçlerinin belirlenebilmesi için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri laboratuvardan elde edilen zemin mukavemet parametrelerinin kullanıldığı klasik yöntemlerdir. Birçok araştırmacı tarafından geliştirilen taşıma gücü hesaplama yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük çoğunluğu, Prandtl (1920) tarafından yapılan ağırlıksız bir metalin yapışma ve iç sürtünme özelliklerini inceleyen araştırmasına dayandırılmaktadır. Ancak, her durumda laboratuvar çalışmalarının uygulanabileceği örselenmemiş numune temini mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, zemin mukavemetinin yerinde tespitini mümkün hale getiren arazi deneyleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde temel prensip, zemin içinde çakılarak ya da itilerek devam ettirilen sondalara, zeminin gösterdiği direncin belirlenmesidir. Elde edilen bu direnç değerleri kullanılarak zeminlerin taşıma gücünü belirlemede çeşitli korelasyonlar bulunmaktadır. Yukarıda bahsedildiği üzere, son zamanlarda taşıma gücü tayinine yönelik jeofizik çalışmalar da yapılmaktadır. Özellikle, sismik yöntemler kullanılarak elde edilen kayma ve basınç dalgası hızları yardımıyla taşıma gücü analizleri gerçekleştirilmektedir.

Temellerin oturacağı zeminlerin sağlaması gereken iki şarttan biri olan taşıma güçlerinin analizi, güvenli ve ekonomik yapısal tasarım için önemlidir. Bu sebeple, yukarıda bahsedilen yöntemler kullanılarak elde edilen değerlerin, mevcut durumla uyumlu olması gerekmektedir. Bu doğrultuda, Laboratuvar Deneyleri, Arazi Deneyleri ve Jeofizik Yöntemler kullanılarak elde edilen taşıma güçlerinin incelenmesi ve kıyaslanması, bu çalışmanın amacını teşkil etmektedir. Söz konusu çalışmada, zeminin taşıma gücünün belirlenmesi için genişliği 3m, uzunluğu 10m olan şerit temel sistemi gözönüne alınmıştır. Temel derinliği ise, inceleme yapılan derinliklere göre belirlenmiştir. Analizlere esas her türlü, yeraltı suyu etkisi, jeolojik yük etkisi, zemin özellik etkisi, deney ekipman etkisi v.b. dikkate alınarak veriler

üzerinde gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Bu veriler, klasik yöntemler, SPT-N'e göre analiz, presiyometre ile taşıma gücü hesabı ve sismik yöntemler ile taşıma gücü tayini başlıkları altında kullanılmıştır.

Klasik yöntemler kapsamında laboratuvar sonuçları, Terzaghi ve Peck (1967), Meyerhof (1951,1963), Hansen (1970) ve Vesic (1973,1975) tarafından verilen formüllerde kullanılmıştır. Arazi deneylerinden olan Standart Penetrasyon Deneyi sonuçları, Terzaghi ve Peck (1967), Meyerhof (1974), Bowles (1996) ve Parry (1977) tarafından verilen ampirik formüller ile değerlendirilmiştir. Bir diğer arazi inceleme yöntemi Presiyometre deneyinden elde edilen prob limit değerleri ile incelenen zeminler için nihai taşıma güçleri belirlenmiştir. Sismik yöntemler için Imai ve Yoshimura (1976), Keçeli (1990, 2000), Türker (1998), Kurtuluş (2000), Tezcan ve diğ. (2006, 2010) tarafından geliştirilen analiz yöntemleri ile nihai taşıma güçleri belirlenmiştir.

Türkiye'nin çeşitli inşaat sahalarında yapılan 50 adet zemin incelemesi sonucuna dayanarak elde edilen nihai taşıma güçleri arasındaki ilişkiler, öncelikle yöntem bazında değerlendirilmiştir. Ardından, bulunan sonuçlar ile yöntemler arasındaki tutarlılık incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, klasik yöntemler ile elde edilen sonuçların kendi içinde oldukça benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Bir diğer yöntem SPT-N değerine göre yapılan incelemelerde, Terzaghi ve Peck ile Meyerhof sonuçlarının, görece düşük SPT-N değerleri için yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ancak, 25 vuruş değerinin üzerindeki verilerde, Meyerhof taşıma gücü değerlerinin vuruş sayısına bağlı olarak Terzaghi ve Peck sonuçlarından büyük olduğu gözlemlenmiştir. Yine SPT-N değerleri kullanılarak Bowles yöntemine göre yapılan analizlerde, nihai taşıma gücü değerlerinin bu iki yöntemle göre yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. En büyük taşıma gücü değerleri ise Parry yöntemi kullanılarak elde edilmiştir.

Klasik yöntemlerle hesaplanan nihai taşıma gücü değerlerinin, özellikle Meyerhof tarafından verilen SPT deney sonuçları analizi ile son derece uyumlu olduğu görülmüştür. Presiyometre verileri ile yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlar da, Meyerhof SPT-N analizleriyle oldukça uyumlu sonuçlar vermiştir.

Sismik yöntemler kullanılarak bulunan nihai taşıma güçlerinin, kendi içinde ve diğer metotlar kullanılarak elde edilen değerlerle yeterince uyumlu olmadığı görülmüştür. Sismik yöntemler içinde, laboratuvar ve arazi deney sonuçlarıyla analiz yapan yöntemlere en yakın sonuçları, kayma dalgası hızlarını kullanarak hesaplama yapan Tezcan ve diğ.'nin geliştirdiği yöntemin verdiği gözlemlenmiştir. Ancak, bu nihai taşıma gücü değerlerinin, dikkate alınan %10'luk uyumluluk değerlerinin çoğunlukla dışında kaldığı görülmüştür. Bu nedenle, jeofizik yöntemlerle elde edilen taşıma gücü değerlerine göre yapısal analiz gerçekleştirmek yerine, bu verileri ön inceleme ve fizibilite aşamalarında değerlendirmenin faydalı olacağı kanaatine varılmıştır. Bu bağlamda jeofizik yöntemlerin, geniş çaplı arazi incelemelerinde geoteknik çalışmaları kolaylaştırmak ve maliyetleri düşürmek maksatlı kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

INVESTIGATION AND COMPARISON OF SOIL'S ULTIMATE BEARING CAPACITY METHODS USING TEST RESULTS OF LABORATORY, IN-SITU AND GEOPHYSICAL EXPERIMENTS

SUMMARY

In geotechnical engineering, the design of the basement, which delivers superstructure weight safely to the soil, is highly crucial. In order to do that, soil specifications must be deeply analyzed. Generally these researches are conducted in laboratory and/or in the field. Lately geophysical methods are also used in determination of soil parameters. Those methods were formerly used in petrol engineering to find sources, however now they are preferred in civil engineering with the help of technological developments. The geophysical studies aiming to find physical and mechanical properties of rock are more available around the world. In Turkey, although many geophysical studies are present to find soil properties, one of the most noteworthy studies is the one which is for the determination of soil bearing capacity.

One of the most common ways to find the bearing capacity of soil is the classical method that uses the soil resistance parameters obtained from lab. There are many bearing capacity calculation methods developed by different researchers. Many of them are based on the study of Prandtl (1920) that inspects the adhesion and inner-friction angle properties of a metal. However it is not always possible to find an undisturbed soil sample. Therefore, in-situ testing that make on-site determination of soil strength possible were developed. The main principle in them is to determine the resistance of the soil by using drills which are pushed or driven into the soil. There are different correlations in determination of bearing capacity of soil with those resistance values. As stated above, some geophysical studies have been conducted on the determination of bearing capacity lately. Bearing capacity analysis is made with the help of shear and compressional wave velocity which are obtained by seismic methods especially.

The analysis of bearing capacity which is one of the two rules that foundation must provide is important to have an economic and safe design. For this reason, the values by conducting the methods above should be consistent with the current situation. The main reason of this study was to investigate and compare the bearing capacity data obtained from lab and in-situ tests and geophysical methods. In the study a strip of 3m width and 10m length was taken into account to determine the soil bearing capacity. Foundation depth was adjusted according to the depths have been studied. All aspects that have effect on the analysis are considered and the necessary adjustments were made. This information is used under soil bearing capacity calculation and seismic methods for soil bearing capacity determination section with classical methods, SPT-N analysis and pressuremeter.

The laboratory results were used in the formulas given by Terzaghi & Peck (1967), Meyerhof (1951, 1963), Hansen (1970) and Vesic (1973, 1975) within the scope of classical methods. The results of Standard Penetration Test, one of the in-situ tests, have been assessed in empirical formulas given by Terzaghi & Peck (1967), Meyerhof (1974), Bowles (1996) and Parry (1977). The ultimate bearing capacity values were calculated for the inspected soil with the results acquired by Pressuremeter method that is another in-situ investigation method. For the seismic methods, the ultimate bearing capacity has been decided by the analysis methods developed by Imai & Yoshimura (1976), Keçeli (1990, 2000), Türker (1998), Kurtuluş (2000), Tezcan et al. (2006, 2010).

The relation between the ultimate bearing capacities obtained on the basis of the results of 50 soil investigations in the various construction sites in Turkey was firstly assessed methodically. Then the consistency between the results and methods was inspected. According to the investigations it was seen that the results of classical methods are consistent internally.

According to the investigations driven by SPT-N values, Terzaghi & Peck and Meyerhof have close results for the low SPT-N values. However, in the data above 25 dropped number, Meyerhof's bearing capacity values are dependent on hammer dropped number and bigger than Terzaghi & Peck's. The ultimate bearing capacity is bigger in Bowles method for the investigation with SPT-N values. And, the biggest bearing capacity is obtained by Parry method.

It was noticed that the bearing capacity calculated with classical method is very consistent with SPT test result analysis given by Meyerhof. The calculations with pressuremeter data are also very consistent.

The ultimate bearing capacities found with seismic methods are not sufficiently agreeable with the results of other methods. The closest one to laboratory and in-situ tests in seismic methods is Tezcan et al. method that makes calculation by using shear wave velocity. However, it was seen that those bearing capacity values are mostly outside of 10% consistent values. Therefore, instead of performing a structural analysis depending on ultimate bearing capacity data obtained from geophysical methods, it is concluded that assessment of those data at the stage of preliminary investigations and feasibility studies. In this context, geophysical studies are thought to be more convenient for the purpose to facilitate geotechnical studies and reduce costs in large-scale field investigations.

1. GİRİŞ

Zeminler, yapı temelleri ile doğrudan temas halinde bulunmalarından dolayı dinamik ve statik yüklemelerin etkisi altında kalmaktadırlar. Yapı yüklerinin temeller vasıtası ile zemine aktarıldığı durumlarda, zeminin yapısal özelliklerinin nasıl değişebileceğinin belirlenmesi, Geoteknik Mühendisliği açısından son derece önemlidir. Bu sayede, inşaat alanının yapısal uygunluğunun tespiti, güvenli ve ekonomik olarak projelendirme yapılması ve inşaat safhalarının sorunsuz şekilde tatbik edilmesi mümkün olabilmektedir. Bahsi geçen çalışmaları yapabilmek için, yapı sahasında uygun inceleme yöntemleriyle zemin parametrelerinin elde edilmesi ve bu veriler kullanılarak zeminin yapısal özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Hızla artan nüfusun, yeni yapı taleplerini de beraberinde getirmesiyle son yıllarda konut, idari binalar, okul, hastane, sanayi yapıları v.b. inşaatlarında büyük artışlar meydana gelmiştir. Gerek kat adet ve yüksekliklerinin değişimi, gerekse kullanım amaçlarının farklılığından dolayı benzer zeminlerde yapılacak yapıların dahi, taşıyıcı sistem ve temel tiplerinin farklılık gösterebildiği gözlemlenmektedir. Temellerin, üst yapıdan gelen statik ve dinamik yükleri güvenli şekilde zemine aktarabilmesi şarttır. Bunun sağlanabilmesi için temellerin birbirinden ayrı olarak, göçmeye karşı yeterli güvenliğe sahip olması (taşıma gücü şartı) ve meydana gelecek muhtemel toplam oturmalar ile farklı oturmaların kabul edilebilir sınırlar dahilinde kalması (oturma şartı) gerekmektedir. Özellikle taşıma gücü şartının sağlanamaması, temelin göçmesine ve bunun sonucunda üst yapının tamamen ya da kısmen yıkılmasına neden olacaktır. Temellerin taşıma gücü, zeminin birim hacim ağırlığına, yeraltı su seviyesi ve hidrolik şartlara, kayma mukavemeti parametreleri ile birlikte, temel tipi, derinliği, şekli ve boyutları gibi geometrik özelliklere bağlıdır.

Güvenilir ve ekonomik temel tipinin seçiminde, altında yer alan zemine ait tabaka kalınlıklarının ve bu tabakaların zemin özelliklerinin derinliğine bilinmesi önemlidir. Günümüzde, zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri, arazi deney yöntemleri, laboratuvar deney yöntemleri ve jeofizik yöntemler kullanılarak belirlenmektedir.

Bu yöntemlerin birbirlerine karşı avantajları olduğu gibi çeşitli dezavantajları da mevcuttur. Bu bağlamda üç deney yönteminin de kullanılarak sonuçlarının birlikte incelenmesi zemin parametrelerinin tespitinde en uygun yöntem olacaktır. Ancak ideal koşulların her zaman oluşturulamayacağı düşünüldüğünde, bahsi geçen zemin inceleme yöntemlerinin sonucunda elde edilen verilerin birbirleriyle uyumlu olması ve arazideki gerçek durumu yansıtması gereklidir.

Zemin inceleme yöntemlerinden biri olan laboratuvar deneyleri, arazide yapılan sondajlar sırasında alınan örselenmiş ve/veya örselenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler yardımı ile zemin parametrelerini belirlemede kullanılmaktadır. Örselenmiş numuneler kullanılarak, elek analizi, kıvam limitleri, dane birim hacim ağırlığı, su muhtevası, kompaksiyon v.b. deneylerini gerçekleştirmek mümkündür. Örselenmemiş numuneler ile, doğal birim hacim ağırlığı, kayma direnci, konsolidasyon v.b. deneyleri ile zemin özellikleri belirlenmektedir. Örselenmemiş numuneler, örselenmiş numunelere göre arazideki zemin durumunu daha iyi yansıtır. Özellikle, zeminin taşıma gücü hesaplamalarında kullanılan kayma direnci parametrelerinin belirlenmesinde, örselenmemiş numuneler üzerinde uygulanan deneyler önemlidir. Laboratuvar deney sonuçları kullanılarak zemin taşıma kapasitesinin belirlenmesine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak, her zemin türü için örselenmemiş numune temini mümkün olmadığından, kayma direnci parametrelerini ve zeminlerin taşıma gücünü belirlemede arazi deneylerinden ve jeofizik yöntemlerden de yararlanılmaktadır. Ayrıca, örselenmemiş numune alımlarında ve laboratuvar deneylerine hazırlanma esnasında görece örselenmeler oluşabilmektedir. Zemin mukavemet parametrelerinin, zeminler üzerinde meydana gelen deformasyonlarla doğrudan ilişkili olduğu düşünüldüğünde laboratuvar deney sonuçlarının diğer yöntemler kullanılarak kontrol edilmesi gerekebilmektedir.

Bir diğer zemin inceleme çeşidi olan arazi deneyleri (sondalar), zemin parametrelerini yerinde belirlemede kullanılan yöntemlerdir. Özellikle kohezyonsuz zeminlerde örselenmemiş numune temin edilemediğinden; arazi deneyleri ile zemin doğal ortamında deneye tabi tutulur. Arazi deneylerinde sondalar zemine itilerek (statik sondalama) ya da çakılarak (dinamik sondalama) tatbik edilir ve zeminin bu işlemlere gösterdiği reaksiyonlar ölçülerek kayıt altına alınır.

Elde edilen tepki değerleri kullanılarak, zeminlere ait kayma direnci parametreleri, taşıma gücü, oturma durumu, sıklık-gevşeklik durumu v.b. belirlenmektedir. Arazi deneylerinden “Standart Penetrasyon Deneyi”, “Koni Penetrasyon Deneyi”, “Presiyometre Deneyi”, “Plaka Yükleme Deneyi”, “Arazi Veyn Deneyi” yöntemleri günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu deneyler ile elde edilen direnç parametreleri kullanılarak zeminlerin taşıma güçlerinin hesaplanması ile ilgili birçok çalışma mevcuttur.

Jeofizik yöntemler, sismik yöntem ve rezistivite yöntemi olarak ikiye ayrılırlar. Rezistivite yöntemi kaynaklar arasında oluşturulan akımın oluşturacağı potansiyel farkın ölçülerek zeminin ortalama elektriksel direncinin belirlenmesi prensibine dayanmaktadır. Her zemin çeşidine özgü bir elektriksel direncin olmasından dolayı, bu veriler kullanılarak zemin cinsi, yeraltı su seviyesi, tabakalar ve kalınlıkları v.b. veriler tahmin edilebilir. Sismik yöntem de ise temel prensip, bir kaynaktan üretilen dalgaların yansımalar ve kırılmalar sonucu oluşan hızlarının belirlenmesidir. Bu yöntem ilk olarak petrol mühendisliğinde, yeraltı kaynaklarının tespit edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Günümüzde, inşaat mühendisliğinde daha geniş uygulama alanı bulan bu yöntem, geoteknik mühendisliğinde zemin özelliklerinin tespit edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sismik yöntemler, dalga üreten kaynağın ve alıcıların birbirlerine göre konumları dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır. Bunlar, yüzey yöntemleri ve kuyu yöntemleri olarak iki ana maddeden oluşmaktadırlar.

Laboratuvar ve arazi deneylerinin inşaat sahasının kısıtlı bir bölümünü temsil etmesinden dolayı elde edilen parametrelerin tüm araziye temsil edemeyeceği durumlar söz konusu olabilmektedir. Ayrıca, bazı araştırmacılar, bu deneyler esnasında zeminde ve numunelerde görece örselenmeler meydana gelebileceğini belirtmektedir. Bunun sonucunda, elde edilen mukavemet parametrelerinin, zeminin ilk halini temsil edemediği durumlarla karşılaşılabilceği ifade edilmektedir. Ancak, doğrudan gözleme dayalı laboratuvar ve arazi deneyleri ile zemin parametrelerinin tespiti, sonuçların güvenilirliği açısından son derece önemlidir. Bununla birlikte, uygulanan deney sayısının artırılması, kaliteli ekipman ve işçilik uygulamaları ile bahsi geçen sınırlamaların etkisini azaltmak mümkündür.

Jeofizik yöntemler, diğer zemin inceleme yöntemlerine göre daha geniş alanlarda uygulanabilmektedir. Yöntem uygulanırken, zeminde düşük deformasyon genlikli dalgalar ile ölçüm yapılmaktadır. Bu şekilde, zemin parametrelerinin ortamın elastik davranış sergilediği durumlar için elde edilmesi mümkün olmaktadır. Özellikle ülkemizde, sismik yöntemler kullanılarak zeminlerin taşıma gücü tayininde son zamanlarda geliştirilen birçok çalışma mevcuttur. Ancak, zemin gibi çok çeşitli tabakalar içermesi muhtemel heterojen ortamlarda, bu verilerin doğruluğu laboratuvar ve arazi deneyleri yardımıyla mutlaka kontrol edilmelidir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada çeşitli zemin inceleme yöntemleri ile elde edilen parametreler kullanılarak yapılan taşıma gücü hesap yöntemlerinin incelenmesine ve kıyaslanmasına çalışılmıştır. Bu amaçla, Türkiye genelinde 50 adet inşaat alanından, kayma mukavemeti laboratuvar deneyleri, arazi deneyleri ve sismik yöntem sonuçları elde edilmiştir. Bu veriler, önceki çalışmalar sonucu bulunan taşıma gücü formüllerinde kullanılmıştır.

Taşıma gücü hesaplamalarında, temellerin yüzeysel olduğu kabulü yapılmıştır. Ayrıca, temel tipi olarak şerit (mütemadi) temel kullanılarak; temel boyutları tüm taşıma gücü hesap yöntemleri için sabit kabul edilmiştir. Zeminlerin kayma göçmesine karşı en büyük mukavemeti, nihai taşıma gücü (q_n) olarak adlandırılırken, bu değer in geçerli bir güvenlik katsayısına (G_s) bölünmesi ile zemin emniyet gerilmesi (q_e) elde edilmektedir. Fakat bahsi geçen güvenlik katsayısı değerinin tüm zemin çeşitleri için değişkenlik gösterebileceği düşünülerek, hesaplamalarda nihai taşıma gücü dikkate alınarak kıyaslamalar yapılmıştır.

Laboratuvar deneyleri kullanılarak zemine ait kayma mukavemeti parametreleri ile zeminin fiziksel ve hidrolik verileri elde edilmiştir. Bu veriler kullanılarak, Terzaghi (1943), Meyerhof (1951,1963), Hansen (1970) ve Vesic (1973,1975) tarafından verilen taşıma gücü bağıntılarına göre değerlendirmeler yapılmıştır. Hesaplamalar esnasında, zemin tipi, su seviyesi ve zeminin geçirimsizlik özellikleri dikkate alınmıştır.

Standart Penetrasyon Deney sonuçları, Terzaghi ve Peck (1967), Meyerhof (1974), Parry (1977) ve Bowles (1996) tarafından geliştirilen ampirik formüller yardımıyla değerlendirilmiştir.

Presiyometre deneyi ile elde edilen prob sınır basınç değerleri kullanılarak nihai taşıma gücü değerleri elde edilmiştir.

Arazide sismik yöntemler ile elde edilen, kayma dalgası hızı (V_s) ve basınç dalgası hızları (V_p); Imai ve Yoshimura (1976), Keçeli (1990, 2000), Türker (1998), Kurtuluş (2000), Tezcan ve diğ. (2006, 2010) tarafından verilen bağıntılarda kullanılarak, taşıma gücü hesaplamaları yapılmıştır.

Türkiye genelinde yapılan 50 adet zemin araştırmasından elde edilen deney verileri, yukarıda bahsi geçen çalışmalar kullanılarak incelenmiş ve değişik zemin tipleri için nihai taşıma gücü değerleri bulunmuştur. Bulunan değerler birbirleri ile kıyaslanarak, daha önce bu konuda yapılan yaklaşımlar hakkında bir değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, arazi deneyleri, laboratuvar deneyleri ve jeofizik yöntemlerin birbirlerine olan avantaj ve dezavantajlarını kıyaslamaktan ziyade, bu deney sonuçları kullanılarak geliştirilmiş taşıma gücü bağıntılarının birbirleri ile tutarlılığını veya tutarsızlığını ortaya koymaktır. Zemin gibi çok çeşitlilik gösteren bir malzeme türünde, kesin bir sonucun ortaya konulabilmesinin zorluğunun yanında, bahsi geçen hesaplama yöntemlerine göre temel ve üst yapı analizlerinin gerçekleştiriliyor olması; böyle bir çalışmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır.

2. ZEMİN İNCELEME YÖNTEMLERİ

2.1 Arazi Deneyleri (Sondalar)

Arazi deneyleri, zemine ait çeşitli parametreleri yerinde belirlemekte kullanılan yöntemlerdir. Özellikle çok hassas kil ve silt zeminler ile kohezyonsuz zeminlerde örselenmemiş numune alımının çok zor, hatta imkansız olduğu durumlarda arazi deneyleri kullanılmaktadır (Özüdoğru ve diğ., 1997).

Arazi deneyleri, nispeten ekonomik olmalarından ve arazide fazla sayıda uygulanmaya elverişli olmasından dolayı, zeminin daha ayrıntılı ve geniş alanda belirlenebilmesine imkan tanımaktadır. Bunun yanında, deney sonuçlarının anında hazır olması, zemin parametrelerinin kısa sürede elde edilebilmesini sağlamaktadır. Ancak, arazi deneyleri esnasında çevre basıncı ve drenaj üzerindeki kontrol şansının az olması dezavantaj olarak görülebilir (Coduto, 2001).

Arazi deneylerinde, bir cismin çakılarak (dinamik sonda) ya da itilerek (statik sonda) zeminde ilerlemesi sağlanır. Bu esnada zeminin gösterdiği direnç çeşitli yöntemler ile ölçülerek, zeminin sıkılık-gevşeklik, sertlik-yumuşaklık, kayma direnci parametreleri, taşıma gücü, oturma durumu v.b. hakkında bilgiler edinilir (Özüdoğru ve diğ., 1997).

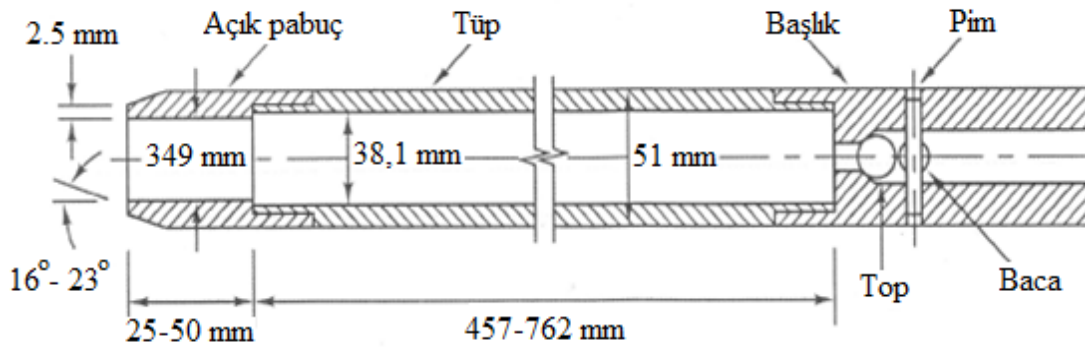
Yaygın olarak kullanılan, “Standart Penetrasyon Deneyi”, “Koni Penetrasyon Deneyi”, “Presiyometre Deneyi”, “Plaka Yükleme Deneyi” ve “Arazi Veyn Deneyi” yöntemleri zemin parametrelerinin tek eksenle belirlenebilmesini sağlamaktadırlar. Bu arazi deney sonuçlarını, tasarım için uygun mühendislik özelliklerine dönüştürmede genellikle ampirik bağıntılar ve düzeltmeler kullanılmaktadır (Coduto, 2001).

2.1.1 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

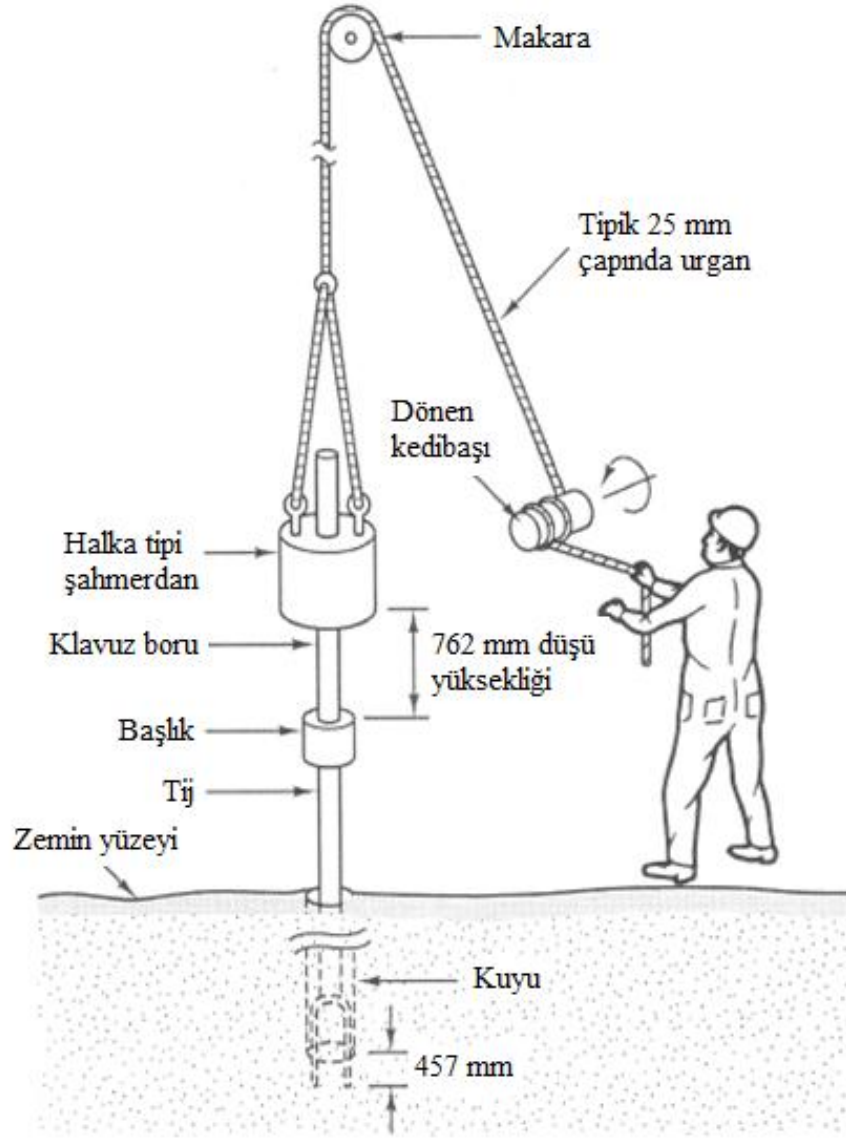
1920'lerin sonunda geliştirilen Standart Penetrasyon Deneyi, günümüzde en yaygın olarak kullanılan dinamik sonda deneyidir. SPT deneyinde kullanılan örnek alıcı sayesinde, zeminin çakmaya karşı direncinin belirlenmesinin yanında, zeminden temsili numune almak da mümkün olmaktadır.

SPT deneyi, önceden açılmış sondaj kuyusu içinde uygulanır. Genellikle, sondaj kazısına 1-2 m'de bir ara verilerek kuyu tabanı temizlenir. Şekil 2.1'de boyutları verilmiş olan örnek alıcı (SPT kaşığı veya sonda), iç içe geçen çelik tijler yardımı ile sondaj kuyusuna indirilir. Bu işlemin ardından, Şekil 2.2'de gösterilen şekilde halat ve kedibaşı düzeneği veya otomatik düşürme düzeneği ile 63,5 kg'lık şahmerdan 76 cm yükseklikten serbest olarak düşürülür. Örnek alıcı, önce zemine 15 cm çakılarak kuyu tabanındaki örselenmiş zemin geçilir. Ardından, sonda 30 cm daha zemine çakılır. Bu son 30 cm'lik penetrasyon için gerekli vuruş sayısına Standart Penetrasyon Direnci veya SPT sayısı (SPT-N) adı verilir. Çakma işleminin tamamlanmasının ardından, örnek alıcı kuyudan çıkarılır ve zemin numunesi saklanır (ASTM D 1586).

SPT deneyi tamamlandıktan sonra, sonuçlar sondaj derinliği-SPT sayısı arasındaki ilişkiyi gösterecek şekilde grafiğe aktarılır. Deney esnasında ilk 15 cm'lik çakmayı sağlamak için yapılan vuruş sayısı, 50'den fazla veya 30 cm toplam çakma için 100'den fazla ise bu kısımdaki SPT-N değeri refü olarak alınır ve sondaj loguna kaydedilir (Coduto, 2001).



Şekil 2.1 : SPT örnek alıcısı (ASTM D 1586).



Şekil 2.2 : SPT deneyinin halat ve kedibaşı ile arazide uygulanması.

SPT deneyi, en iyi kum zeminlerde uygulanmakla beraber, ince çakıl, silt ve kil zemin türleri içinde uygundur. Deney, taşlı, iri çakıllı ve çok sert zeminler için uygun değildir. Bununla birlikte SPT deney sonuçları, arazi ve zemin şartlarından çok deney ekip ve ekipmanlarına bağlı değişkenlik gösterebilmektedir. Deney sonuçları, sondaj yönteminden, şahmerdan çeşidinden, tij uzunluğu ve eğriliğinden, numune alıcısındaki deformasyonlardan v.b. birçok değişkenden etkilenebilmektedir. Bu nedenle, deney prosedüründeki değişkenlerin SPT verileri üzerindeki etkisi, çeşitli düzeltme faktörleri kullanılarak azaltılmaktadır.

Skempton (1986), deney prosedüründeki etkilerin dikkate alındığı düzeltilmiş SPT sayısı için;

$$N_{60} = \frac{N * E_M * C_B * C_S * C_R}{0,60} \quad (2.1)$$

bağıntısını geliştirmiştir. Burada;

N_{60} : Arazi prosedürlerine göre düzeltilmiş SPT N değeri

N : Arazide ölçülen SPT sayısı

E_M : Şahmerdan etkinlik oranı

C_B : Kuyu çapı düzeltmesi

C_S : Örnek alıcı düzeltmesi

C_R : Tij uzunluğu düzeltmesi

değerlerini göstermektedir.

Dünya genelinde, deney esnasında kullanılan şahmerdan tipleri birbirlerinden farklılık göstermekle beraber, hiçbirinde etkinlik oranı %100 değildir. SPT deneyi esnasında uygulanan sabit enerji oranına göre, şahmerdan etkinlik oranının %60 olarak kullanılması uygun görülmektedir (Skempton, 1986). Ayrıca sondaj kuyu çapı, numune alıcı ve tij düzeltmeleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge2.1 : Sondaj kuyu çapı, numune alıcı ve tij düzeltmeleri (Skempton, 1986).

Düzeltilme Tipi	Değişken Boyutları	Düzeltilme Değeri
Kuyu çapı düzeltmesi, C_B	65 - 115 mm	1,00
	150 mm	1,05
	200 mm	1,15
Örnek alıcı düzeltmesi; C_S	Standart örnek alıcı	1,00
	Astarsız örnek alıcı	1,20
Tij uzunluğu düzeltmesi; C_R	0 - 4 m	0,75
	4 - 6 m	0,85
	6 - 10 m	0,95
	> 10 m	1,00

SPT deneyinin yeraltı su seviyesi altındaki ince kum, siltli kum ve silt zeminlerde uygulanması durumunda muhtemel boşluk suyu basıncı artışlarının dikkate alınması gerekebilir. Böyle durumlarda;

$$N_{düzeltildi} = 15 + \frac{N - 15}{2} \quad (2.2)$$

düzeltilmesi yapılır.

Ayrıca, uniform zeminlerde daha derin kısımlardaki SPT sayısının, yüzeye yakın yerlere göre daha yüksek değerler aldığı gözlemlenmiştir. Buna neden olan ve derinlikle artan düşey efektif gerilme etkilerini dikkate almak için, derinlik düzeltilmesi yapılması uygun olacaktır. Bahsi geçen derinlik düzeltilmesi aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır (Liao ve Whitman, 1985).

$$N'_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100}{\sigma'_z}} \quad (2.3)$$

Burada;

N'_{60} : Derinlik düzeltilmesi dikkate alınmış SPT sayısını

N_{60} : Arazi prosedürlerine göre düzenlenmiş SPT N değerini

σ'_z : Deney yapılan derinlikteki düşey efektif gerilme değerini

temsil etmektedir.

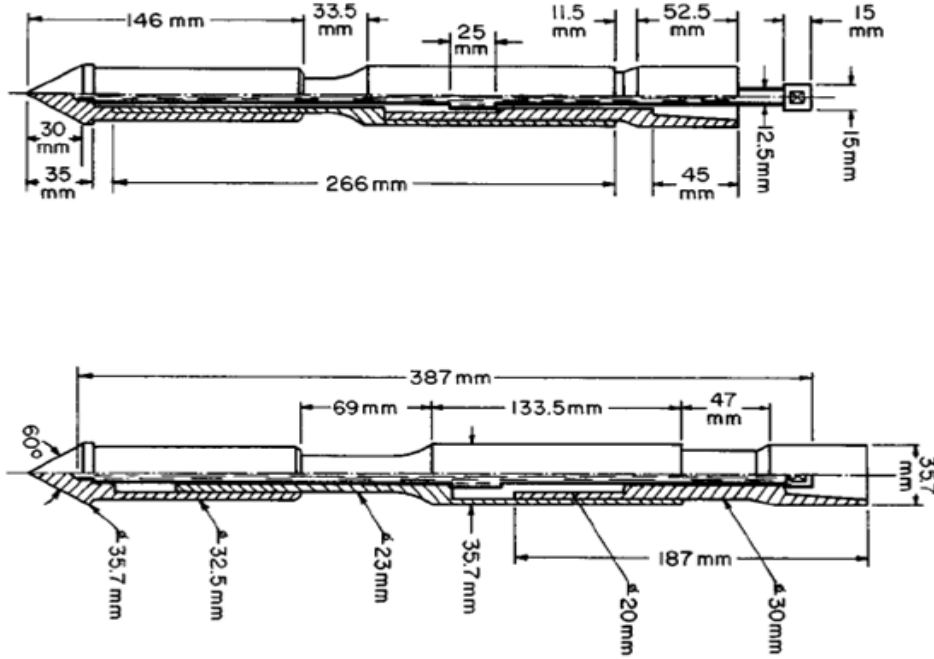
Deney sonuçları üzerinde etkili olan ekipman düzeltilmeleri, çoğu zaman uygun olmakla birlikte, boşluk suyu basıncı ve düşey efektif gerilme etkilerinin dikkate alındığı düzeltilmelerin, her durumda uygun olup olmadığı kesinlik kazanmamıştır. Bu iki düzeltilmenin, SPT-N değerleri ile analiz yapılacağı durumlarda, detaylı şekilde irdelenmesi gerekmektedir.

2.1.2 Konik Penetrasyon Deneyi (CPT)

Başlıca statik sonda deneyi olan Konik Penetrasyon Deneyi (CPT) ile ilgili ilk çalışmalar 1950'lerde Batı Avrupa'da gerçekleştirilmiştir. CPT deneyi farklı ülkelerde değişik tarzlarda kullanılmakla beraber, mevcut standart Hollanda'da kullanılan yöntemler dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bu nedenle, CPT deneyi Hollanda konisi deneyi olarak da adlandırılmaktadır (Coduto, 2001).

CPT deneyinde, boyutları birbiriyle aynı olan mekanik ve elektrik koni çeşitleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu koniler, taban alanı 10 cm^2 olan ve yatayla 60° açı yapan koni şekilli bir uçla, yine 10 cm^2 yüzey alanına sahip 13,35 cm uzunluktaki silindirik bir koldan oluşmaktadır.

Şekil 2.3’de boyutları detaylı olarak verilmiş olan koni, hidrolik düzenek yardımı ile 10-20 mm/sn hızla zemine itilir ve bu esnada penetrasyona karşı direnç kaydedilir. Meydana gelen penetrasyon direnci, konik uç direnci q_c ile çeper sürtünme direnci f_s ’nin toplamından oluşmaktadır. Burada, uç direnci q_c , koni üzerine etkiyen toplam kuvvetin yüzey alanına (10 cm^2) bölümünden; çeper sürtünmesi f_s ise, kol yüzeyine etkiyen toplam sürtünmenin kol yüzey alanına (150 cm^2) bölünmesinden elde edilir.



Şekil 2.3 : CPT koni boyut ve detayları.

Mekanik konide, uç direnci ve çeper sürtünmesi 20 cm aralıklarla ölçülebilirken; elektrik konide, deformasyon ölçerler yardımıyla ölçümler sürekli olarak yapılabilir. Bunun yanında, CPT deney yöntemi, çakıllı zeminlerde ve aşırı boşluk suyu basıncı nedeniyle suya doymuş kohezyonlu zeminlerde yeterince doğru sonuçlar verememektedir. Günümüzde aşırı boşluk suyu basıncı etkisini ortadan kaldırmak amacıyla, piyezokoni olarak adlandırılan ve üzerinde boşluk suyu basıncını ölçen sensörler ihtiva eden koniler bulunmaktadır.

CPT deneyi, SPT deneyine göre zemin profilini derinlemesine daha hassas biçimde ortaya koyabilmesine rağmen, deney esnasında numune alınamaması dezavantaj olarak görülebilir. Ayrıca, penetrasyon maliyeti sondaj kuyusu açmaktan daha düşük olsada, deney için özel ve detaylı ekipman gereksinimi nedeniyle toplamda daha yüksek maliyetler oluşmasına neden olmaktadır.

2.1.3 Presiyometre Deneyi (PMT)

Presiyometre deneyi, ilk olarak Louis Menard tarafından 1956 yılında geliştirilmiş olup, temel prensibi zeminin basınç/deformasyon ilişkisini belirleyebilmektir. Bunun için, prob adı verilen ve iki lastik koruyucu hücre ile bunların arasında lastik bir ölçme hücresinden (presiyometre) oluşan bir sonda kullanılır.

Önceden açılmış sondaj kuyusuna, presiyometre deney düzeneği çelik tijler yardımıyla indirilir. Altta ve üstte bulunan koruyucu hücreler, basınçlı gaz yardımı ile şişirilerek, ölçme hücresinin düşey doğrultuda hareket etmesi engellenir. Ardından, ölçme hücresi basınçlı su ile şişirilir. Bu esnada, gazın ve suyun basınları kaydedilir. Hücrenin, zeminin yan yüzeylerine temasından sonra hücreye gönderilen suyun hacminden, yanıl deformasyonlar hesaplanır. Deney, yan yüzeylerde kırılma meydana gelene kadar devam ettirilir. Presiyometre deneyi ile zeminin limit basınç değeri ve presiyometre deformasyon modülü elde edilir. Limit basınç değeri için, kırılma anına yakın son birkaç basınç okumasından, presiyometre deformasyon modülü içinse, deney boyunca elde edilen basınç/deformasyon ilişkisinden faydalanılır.

Deney sonuçları, özellikle çok yumuşak kil ve çok gevşek kum zeminlerde açılan sondaj kuyularında meydana gelen örselenmelerden olumsuz etkilenebilir. Bu durum tamamen gözardı edilmemekle beraber, son yıllarda geliştirilen kendi kuyusunu delebilen presiyometre deney düzenekleri sayesinde hata miktarları çok aza indirilebilmektedir.

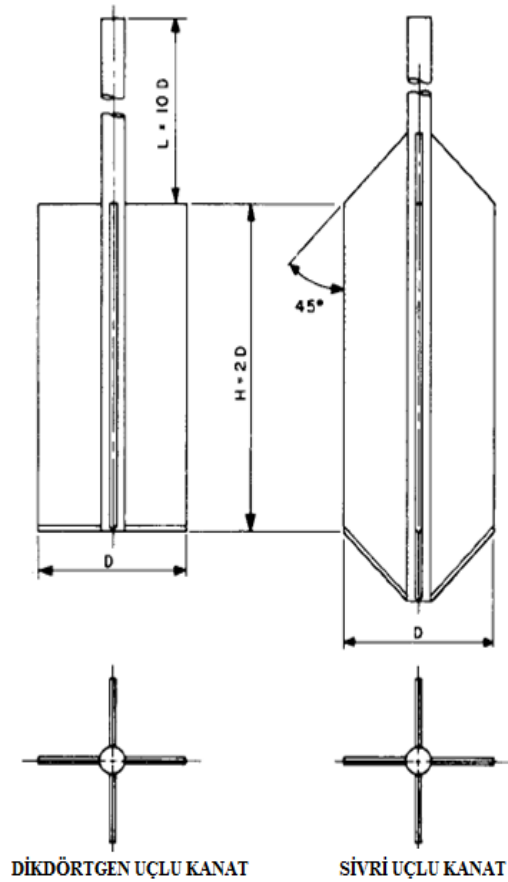
2.1.4 Plaka Yükleme Deneyi

Zeminin taşıma gücü ve sıkışma özelliklerinin yerinde belirlenebilmesini sağlayan bir arazi deneyidir. Deney, yapılması planlanan temel alt kotunda dairesel veya kare çelik plakaların yüklenmesi şeklinde tatbik edilir. Deney çukuru, plaka plan boyutlarının 4 katı olacak şekilde açılır ve plakanın yüklenebilmesi için ankraj kazıkları veya yükleme sehpası kullanılır. Yük kademeleri tahmin edilen taşıma gücünün 1/5 oranında seçilerek, en az 1 saat sürecek şekilde uygulanır. Yükleme ardından, benzer şekilde kademeli olarak yük boşaltması yapılır. Yükleme, kurulan deney düzeneğinin kapasitesi ya da toplam oturma miktarı 25 mm'yi bulana kadar devam ettirilir (Özüdoğru ve diğ., 1997).

Deney sonuçlarına göre tasarım yaparken, bazı husulara dikkat edilmesi gerekmektedir. Her ne kadar kohezyonlu zeminlerde taşıma gücü temel boyutlarına göre değişmese de, kohezyonsuz zeminlerde temel boyutlarının taşıma gücüne etkisi ihmal edilemeyecek düzeydedir. Plaka yükleme deneyi, küçük boyutlu bir plaka yardımı ile yapıldığından; geniş oturum alanı olan bir temel için zemin özelliklerinin tayininde yeterli olmadığı durumlar olabilir. Ayrıca, deney süresinin kısa olması nedeniyle kaydedilen toplam oturma, konsolidasyon oturmasını temsil etmemektedir. Bu nedenlerden ötürü, plaka yükleme deneyi sonuçları diğer yöntemler kullanılarak kontrol edilmelidir.

2.1.5 Arazi Veyn Deneyi (VST)

Arazi Veyn deneyi, 1920’lerde John Olsson tarafından geliştirilmiş olup, Şekil 2.4’te detayı verilmiş olan kanatlı kesicinin zemine sürülerek, zeminde kesme meydana gelinceye kadar döndürülmesi şeklinde yapılır. Deney süresinin kısa olmasından dolayı drenajsız kayma dayanımı ölçülebilmektedir.



Şekil 2.4 : Arazi Veyn deneyi kanatlı kesici detayı (ASTM D 2573).

Kanatlı kesicinin zemine sürülmesi esnasında örselenmeleri en aza indirmek amacıyla, kanatlı kesicinin ince olması gerekmektedir. Bunun, deney düzeneğinin sağlamlığını azaltmasından dolayı, yalnızca yumuşak veya orta sert kohezyonlu zeminlerde uygulanabilen bir deneydir (Özüdoğru ve diğ., 1997).

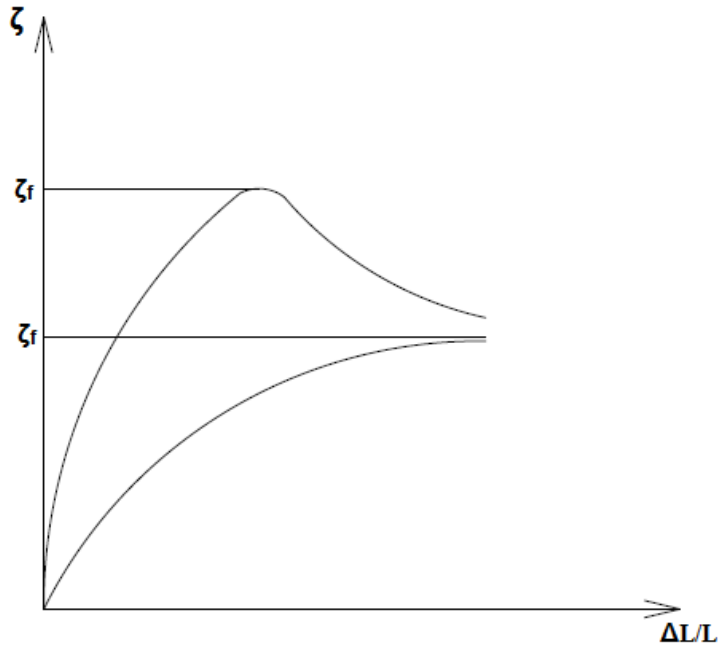
2.2 Laboratuvar Deneyleri

Laboratuvar deneyleri, zeminlerin endeks özelliklerinin (dane çapları ve dağılımı, kıvam limitleri v.s.) elde edilmesi, çeşitli sistemlere göre sınıflandırılması, sıkışma ve konsolidasyon durumunun gözlemlenmesi, gerilme şekil değiştirme özelliklerinin ve yapısal mukavemetlerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. Tezin konusu gereği burada, zeminin gerilme-şekil değiştirme davranışını ve kayma mukavemetini belirlemede kullanılan laboratuvar deneyleri incelenecektir.

Günümüzde zeminlerin mukavemet özelliklerini laboratuvarında belirlemek için, “Kesme Kutusu Deneyi”, “Serbest Basınç Deneyi”, “Üç Eksenli Basınç Deneyleri”, “Laboratuvar Veyn Deneyi” ve “Düşen Koni Deneyi” en çok tercih edilen yöntemlerdendir. Bahsi geçen mühendislik özelliklerinin doğru şekilde tayin edilebilmesi için en temel kural, deney koşulları ile arazi koşulları arasında gerekli tutarlılığın sağlanabilmesidir. Bu nedenle, zeminin arazide yüklenmeden önceki durumunun, sonradan yapılacak yüklemenin türü ile tatbik süresinin ve arazideki drenaj koşullarının iyi analiz edilerek; uygulanacak laboratuvar deney yönteminin buna göre tercih edilmesi gerekmektedir.

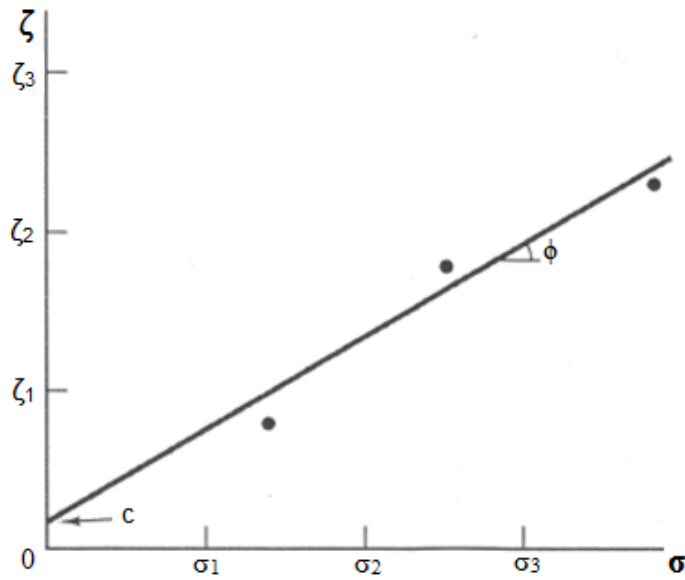
2.2.1 Kesme Kutusu Deneyi

Kesme kutusu deneyi, dikdörtgen veya dairesel kesitli ve birbirinden bağımsız hareket edebilen iki parçalı rijit bir kutudan oluşan bir deney düzeneği yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Kutu içine zemin numunesi tabakalar halinde yerleştirildikten sonra, numune üzerine normal kuvvet uygulanarak zeminin konsolide olması ve deney süresince normal gerilmelerin kontrol altında tutulması sağlanır. Ardından, kutunun üst başlığı sabit olacak şekilde, alt parçası yatay bir düzlem boyunca hareket ettirilerek; numune bu düzlem boyunca kırılmaya zorlanır. Belirli bir normal kuvvet altında, uygulanan kesme kuvveti–yatay deformasyon değerleri kaydedilir ve bu değerler kullanılarak Şekil 2.5’teki gibi eğriler elde edilir.



Şekil 2.5 : Kesme kutusu deneyi kesme kuvveti ile yatay deformasyon değişimi.

Deney esnasında ulaşılabilen en büyük kayma gerilmesi veya göçme kabul edilebilecek deformasyona yol açan kayma gerilmesi değeri, zeminin kayma mukavemeti olarak adlandırılır. Deney, değişik normal gerilme değerleri altında uygulanarak, Şekil 2.6’da belirtilen zemin mukavemet zarfları elde edilir.

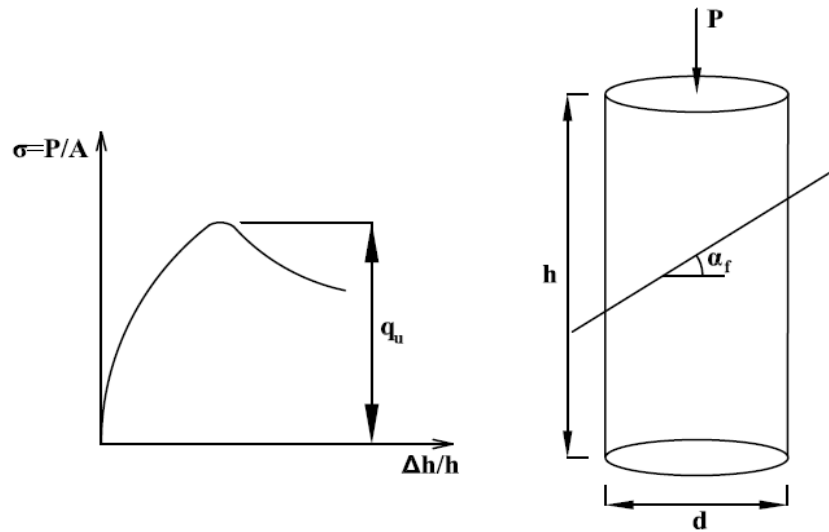


Şekil 2.6 : Kesme kutusu deneyi zemin mukavemet zarfı.

Kesme kutusu deneyinde, drenaj koşullarını zemin tipine göre ayarlayabilmenin tek yolu yükleme hızını ayarlamaktır. Buna göre, normal yükleme hızlarında permeabilitesi yüksek olan kumlarda drenajlı durum, düşük permeabiliteli killerde ise drenajsız koşullar hakim olmaktadır. Kil zeminler için çok düşük hızlı yükleme durumlarında drenajlı koşullar geçerli olmaktadır. Deney uygulanırken, kesme sınırına gelindiğinde boşluk suyu basıncı artışının ölçülememesi deneyin bir diğer kısıtlayıcı yanını oluşturmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, kesme kutusu deneyi daha çok kum zeminlerin kayma mukavemeti parametrelerini belirlemede kullanılır. Kum zeminler için elde edilen kayma mukavemeti açısı değerleri, drenajlı durumlar için elde edilmekle beraber arazi koşulları ile uyumlu oldukları kabul edilmektedir (Özaydın, 1999).

2.2.2 Serbest Basınç Deneyi

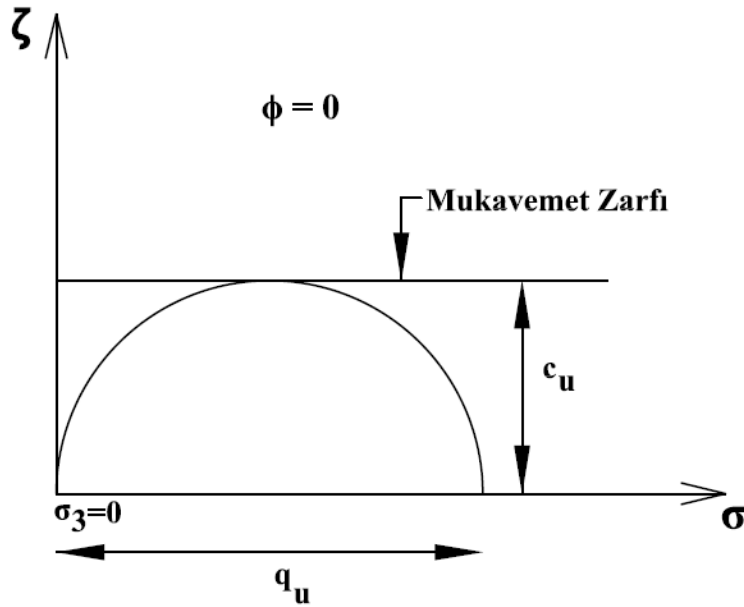
Serbest basınç deneyi, silindirik bir zemin numunesi üzerine düşey yönde eksenel yük uygulanması ile tatbik edilmektedir. Uygulanan düşey yükler ile numunede meydana gelen boyut kısaltmaları kaydedilerek; Şekil 2.7'deki gibi düşey gerilme-şekil değiştirme grafikleri elde edilir. Deney esnasında kaydedilen en büyük gerilme değeri veya göçme kabul edilebilecek şekil değiştirmelere denk gelen gerilme değeri zeminin serbest basınç mukavemetini (q_u) göstermektedir.



Şekil 2.7 : Serbest basınç deneyi gerilme-şekil değiştirme değişimi.

Serbest basınç deneyi örselenmemiş numuneler üzerinde tatbik edilmektedir. Ayrıca, deney esnasında numune etrafında herhangi bir destek olmamasından dolayı zemin numunesinin kendini tutabilmesi gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı, serbest basınç deneyi kohezyonlu zeminler için uygun bir laboratuvar yöntemi olup, kohezyonsuz zeminlerde uygulanamamaktadır.

Deney esnasında drenaj durumu kontrol edilemediğinden ve boşluk suyu basınçları ölçülemediğinden, hızlı yükleme yapılarak zeminin drenajsız kayma mukavemeti belirlenmektedir. Şekil 2.8’da serbest basınç deneyinde göçme anında oluşan gerilme durumunu gösteren kayma mukavemeti zarfı ile Mohr dairesi ilişkisi gösterilmiştir (Özaydın, 1999).

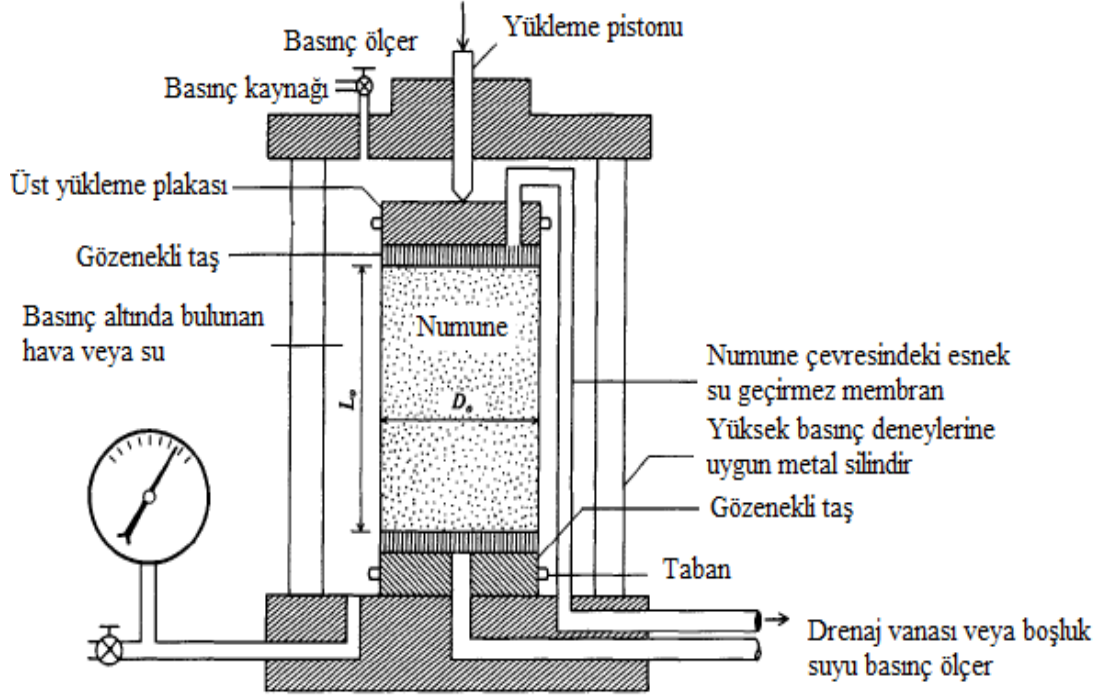


Şekil 2.8 : Serbest basınç deneyi Mohr dairesi ve mukavemet zarfı.

2.2.3 Üç Eksenli Basınç Deneyi

Üç eksenli basınç deneyinde, silindirik bir zemin numunesi Şekil 2.9’da gösterilmiş olan deney düzeneği içindeki hücreye konulur ve ardından hava veya su yardımıyla numune üzerinde hidrostatik basınç oluşturulur. Numunenin etrafına geçirilen lastik kılıf ile hücre içindeki suyla direk temas engellenmektedir. Böylece, numune içinde veya dışında farklı basınç değerleri oluşturmak mümkün olmaktadır. Deney esnasında, bir piston vasıtasıyla numune düşey yönde eksenel gerilmelere maruz

bırakılmaktadır. Bu esnada, numune üst ve alt başlıklarına bağlı bulunan kanallar kullanılarak deneyin drenaj durumu kontrol altında tutulabilmektedir.



Şekil 2.9 : Üç eksenli basınç deney düzeneği (Bowles, 1996).

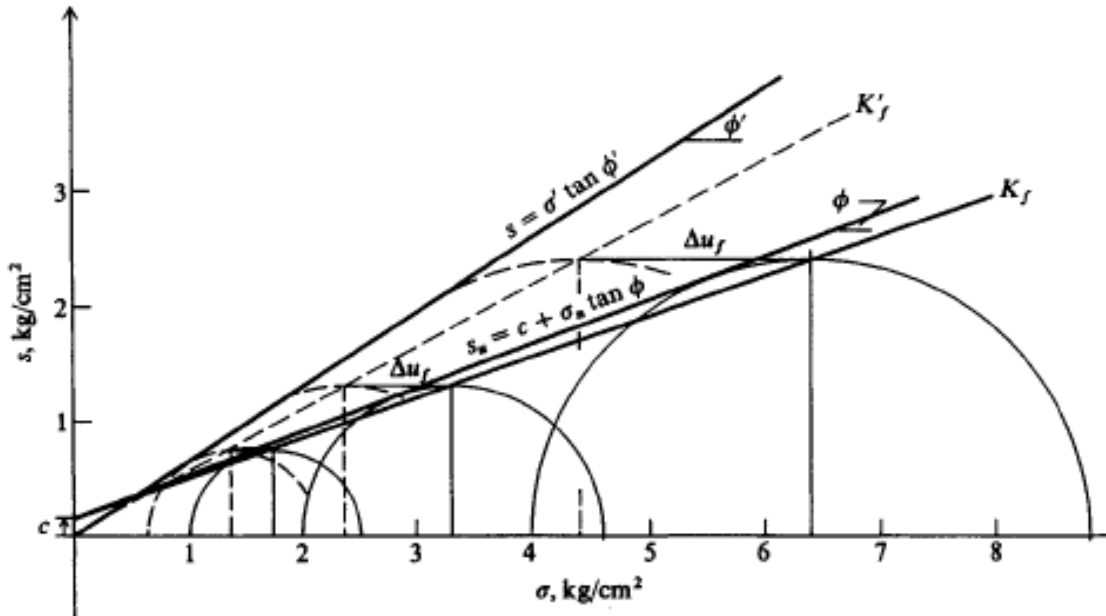
Zeminin arazideki şartlarını en yakın şekilde modelleme imkanı sunmasından dolayı üç eksenli basınç deneyi, en gelişmiş laboratuvar deneylerinden biridir. Bu deney yöntemi ile zeminin doğal ortamındaki kayma mukavemetini çok yaklaşık olarak belirlemek mümkün olmaktadır. Bunu sağlayabilmek amacıyla, deney esnasında kontrol edilen ve/veya ölçülebilen bazı parametreler mevcuttur. Birinci olarak, numune arazi gerilmeleri altında konsolide edilmekte ve suya doygunluk derecesi kontrol edilebilmektedir. İkincisi, çevresel gerilmeler tatbik ettirilerek; numune üzerinde arazideki yükleme koşulları oluşturulabilir. Bir diğer avantajı ise, eksenel yükleme esnasında drenajlı veya drenajsız koşullar oluşturulabilir. Ayrıca, drenajsız yüklemelerde boşluk suyu basıncı değişimleri ölçülebilenken, drenajlı durumlarda meydana gelen hacimsel değişimler kaydedilebilmektedir. Üç eksenli basınç deneyinde, drenaj durumu kontrol edilerek üç farklı şekilde deneyi gerçekleştirmek mümkün olabilmektedir.

Konsolidasyonsuz-Drenajsız (UU) deneylerde, numune üzerinde hücresel basınç uygulanırken, eksenel yükleme altında suyun çıkışına izin verilmemektedir.

Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) deneylerde, başlangıçta hidrostatik basınç uygulanırken, zeminden su çıkışına izin verilerek numunenin konsolide olması sağlanır. Ardından, eksenel yükleme aşaması drenajsız olarak sürdürülür.

Son olarak, Konsolidasyonlu-Drenajlı (CD) deneyinin tüm aşamalarında numunedeki suyun drenajına izin verilmektedir. Drenajlı deneyler sırasında önemli olan husus, yükleme hızının zeminin permeabilitesine uygun seçilerek, zemin içindeki suyun rahatlıkla drene edilmesi sağlanmalıdır. Bu şekilde, oluşabilecek muhtemel boşluk suyu basıncı artışlarının önüne geçilmiş olunacaktır.

Silindirik zemin numunesinde göçme meydana gelene kadar deney prosedürü devam ettirilir. Şekil 2.10'de göçme anındaki gerilme durumunu gösteren Mohr dairesi ve zemin kırılma zarfı verilmiştir. Üç eksenli basınç deneyinin sonunda kırılma zarfının elde edilebilmesi için deneyin birden fazla uygulanması gerekmektedir. Konsolidasyonsuz-Drenajsız (UU) deneylerde, boşluk suyu basıncı değişimleri ölçülebildiğinden, toplam gerilme değerlerinin yanında efektif gerilme değerlerini de belirlemek mümkündür. Bu sayede, zeminin kayma mukavemeti parametreleri iki durum için elde edilebilir.



Şekil 2.10 : Üç eksenli basınç deneyi Mohr dairesi ve kırılma zarfı (Bowles, 1996).

2.2.4 Laboratuvar Veyn Deneyi

Özellikle, yumuşak killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemede kullanılan bir deney yöntemidir. Deney düzeneği numune içine batırıldıktan sonra, zemin kesilene kadar düzeneğe dönmeye zorlanır. Zemin kırıldığı andaki burulma momenti kaydedilir ve ampirik formüller yardımıyla kayma mukavemeti belirlenebilir. Arazi veyn deneyinin laboratuvar ölçeklerinde uygulanması olarakta nitelenebilecek bu yöntemde farklı olarak, yükleme hızları çok daha yüksektir. Bu nedenle, arazide bulunan kayma mukavemeti sonuçları ile laboratuvarında bulunan sonuçlar arasında çeşitli düzeltmeler sıkça kullanılmaktadır.

2.2.5 Düşen Koni Deneyi

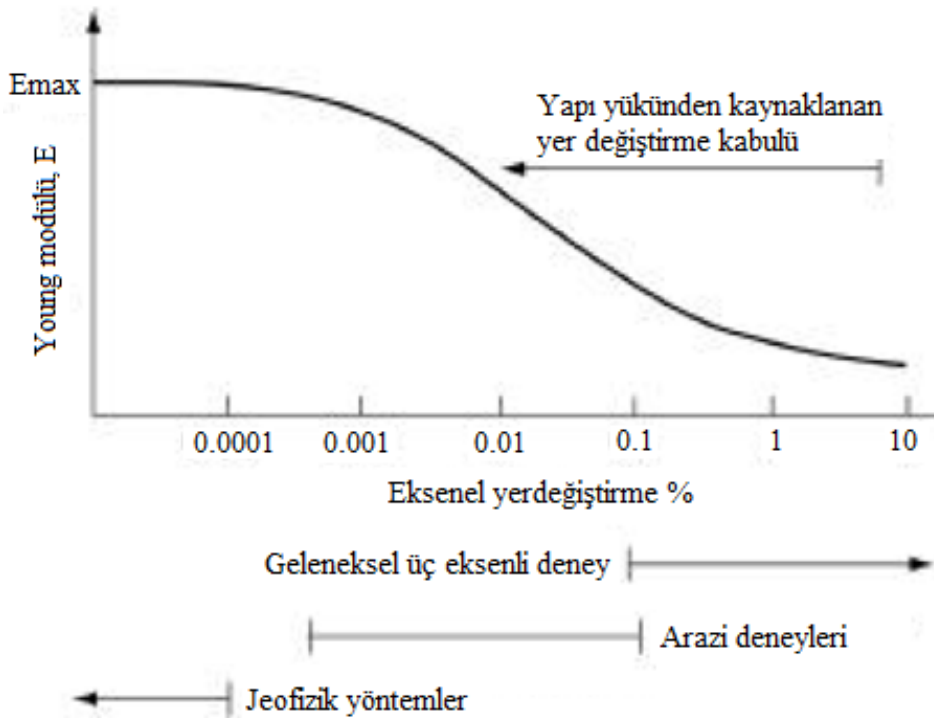
Düşen koni deneyinde, standart bir koni belirli bir yükseklikten sabit enerji ile numunenin üzerine bırakılır. Koninin zemin içindeki penetrasyon miktarı kaydedilir. Bu değerler, önceden geliştirilmiş tablolar yardımıyla zeminin kayma mukavemetini belirlemede kullanılırlar. Veyn deneyine benzer olarak, düşen koni deneyi de daha çok yumuşak kil zeminler için uygun bir yöntemdir.

2.3 Jeofizik Yöntemler

Önceleri inşaat mühendisliğinde yer altı haritalarının çıkarılmasında kullanılan jeofizik yöntemler (yeraltı radarı), günümüzde zemin parametrelerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir. İlk olarak Terzaghi (1943) ve Hvorslev (1949), vibrasyon etkili makine temellerinin incelenmesi konusunda jeofizik yöntemlerle ilgilenmişlerdir. Jones (1958), İngiltere’de bulunan Ulaşım Araştırma Laboratuvarında yol yüzeyi altındaki malzemelerin tayininde jeofizik yöntemleri kullanmak istemişse de, o dönemde osilatör bulunmamasından dolayı bu konudaki deneylerini tamamlayamamıştır (Menzies, 2001).

Arazide geniş alanlarda ölçüm yapabilmeye imkan vermesi, sondaj yapımına ve numune alımına ihtiyaç olmaması jeofizik yöntemlerin önemli avantajlarındandır. Ayrıca, bu yöntemler kullanılarak zemin parametrelerinin düşük deformasyonlar altında elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda, zemin mukavemetinin deformasyon miktarlarından doğrudan etkilendiği tespit edilmiştir. Jardine (1978) tarafından düşük deformasyon değerlerinde (%0.01 ile %0.1 arasında) gerçekleştirilen üç eksenli deneylerde, zemin mukavemetinin büyük deformasyon değerlerine (%1) göre daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Özellikle, yeraltı yapılarının zeminlerde oluşturduğu deformasyon değerlerinin %0.1'den düşük olduğu düşünüldüğünde, yapı analizlerinde doğru yaklaşımların gerçekleştirilebilmesi için düşük deformasyon durumundaki zeminin mukavemet değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 2.11'de çeşitli deney yöntemlerinin hangi deformasyon değerlerinde ölçüm yaptığı ve bu deformasyon değerlerinde elde edilen Young Modül değerleri verilmiştir. Zeminlerin %0.001 deformasyon değerinin altındaki bölgelerde elastik davranış sergilediği kabulü yapılmaktadır. Şekil 2.11'de de görüldüğü üzere jeofizik yöntemler kullanılarak zemin parametreleri elastik sınır değerler içinde elde edilebilmektedir. Bununla birlikte ağır tokmaklar kullanılarak %0.1 deformasyon seviyelerinde jeofizik ölçümler gerçekleştirmek mümkün olsa da, ekonomik olmaması ve deneyim yetersizliklerinden dolayı sıkça kullanılmamaktadır (Menzies, 2001).



Şekil 2.11 : Deney yöntemleri ve ölçüm gerçekleştirilen deformasyon değerleri.

Jeofizik yöntemler kullanılan kaynak tipine göre “Sismik Yöntem” ve “Elektiriksel Direnç (Rezistivite) Yöntemi” olarak ikiye ayrılmaktadır.

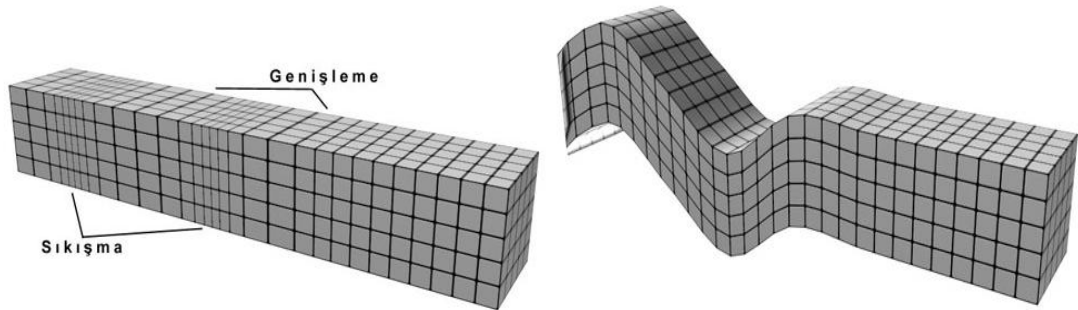
2.3.1 Sismik Yöntem

Yeryüzünde herhangi bir noktada şok veya darbe etkisi yaratılırsa, bunun sonucunda yüzeyde ve ortam içinde yayılan sismik dalgalar meydana gelmektedir. Ortam içinde yayılan dalgalar basınç ve kayma dalgaları, yüzeyde yayılan dalgalar ise Rayleigh ve Love dalgaları olarak bilinirler. Bu dalgalar, zeminin yoğunluk, bağlanma özellikleri, poisson oranı, suya doygunluk derecesi gibi etkenlerden dolayı farklı hızlarda hareket etmektedirler. Genel olarak, sismik yöntemde zemin içinden geçen dalgaların hızları belirlenerek zemin özellikleri hakkında veriler elde edilmektedir.

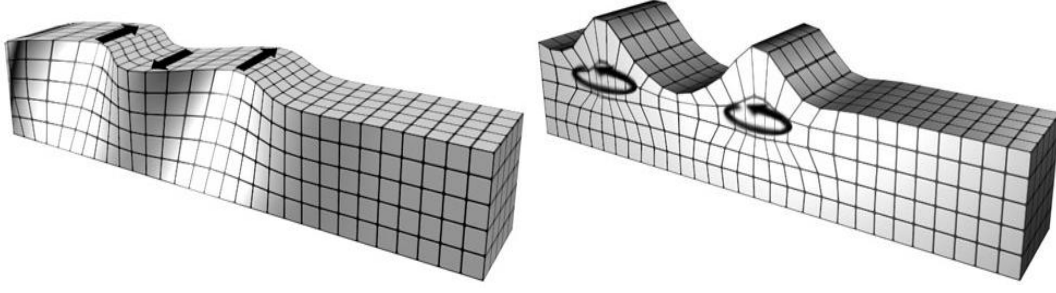
Bir ortam içinde üretilen dalga yayılma yönü ile yerdeğiştirme yönü aynı ise bu dalga tipine basınç dalgası (P-dalgası) adı verilmektedir. Basınç dalgaları ortamda çekme ve basınç oluşturur. Ortamda parçacık hareketine dik olarak yayılan dalga kayma dalgası (S-dalgası) olarak adlandırılır. Kayma dalgaları, ortamda şekil değişikliği meydana getirirken hacimsel değişikliğe neden olmamaktadır. Şekil 2.12’de basınç ve kayma dalgalarının ortam içindeki hareketleri gösterilmiştir.

Yüksek hızlı tabakaların üzerinde düşük hızlı tabakalar bulunması durumunda yatay düzlem üzerinde dalga yayılma yönüne dik olarak Love dalgaları oluşmaktadır. Love dalgası hızı dalga boyuna bağlı olmakla birlikte, genelde düşük hızlı tabakanın kayma dalgası hızına eşittir.

Rayleigh dalgasında ise, yatay yerdeğiştirme olmaksızın dalga düşey düzlemde yayılmaktadır. Parçacık hareketleri yüzeyde eliptiktir. Rayleigh dalgasının genliği zemin yüzeyinden derinlere inildikçe azalmaktadır (İyisan, 1994). Şekil 2.13 Love ve Rayleigh dalgalarının ortamda yayılış şekillerini göstermektedir.



Şekil 2.12 : P ve S dalgalarının ortamda yayılma biçimleri.



Şekil 2.13 : Love ve Rayleigh dalgalarının ortamda yayılma biçimleri.

Sismik yöntem ekipmanları olarak, dalga oluşturucu darbe çekici veya patlayıcı bir düzenek ve kaynaktan belirli bir mesafede dalga ölçümünü gerçekleştirecek alıcılar kullanılmaktadır. Jeofon ismi verilen bu alıcılar, mekanik titreşimleri ölçerek bunları elektrik sinyallerine dönüştüren elektromanyetik cihazlardır. Jeofonlar, ölçüm yapılan araziye darbe noktasından itibaren düz bir hat üzerine belli mesafelerde konumlandırılır. Sismik dalga hızları, kaynak ile alıcı arasındaki mesafenin, dalganın alıcıya varış süresine bölünmesi ile elde edilir. Buna göre, kayma dalgası hızı V_s , basınç dalgası hızı V_p , kaynak ile alıcı arasındaki mesafe l , t_s ile t_p sırasıyla kayma dalgasının alıcıya varış süresi ve basınç dalgasının alıcıya varış süresi kullanılarak aşağıdaki şekilde elde edilmektedir.

$$V_s = \frac{l}{t_s} \quad (2.4)$$

$$V_p = \frac{l}{t_p} \quad (2.5)$$

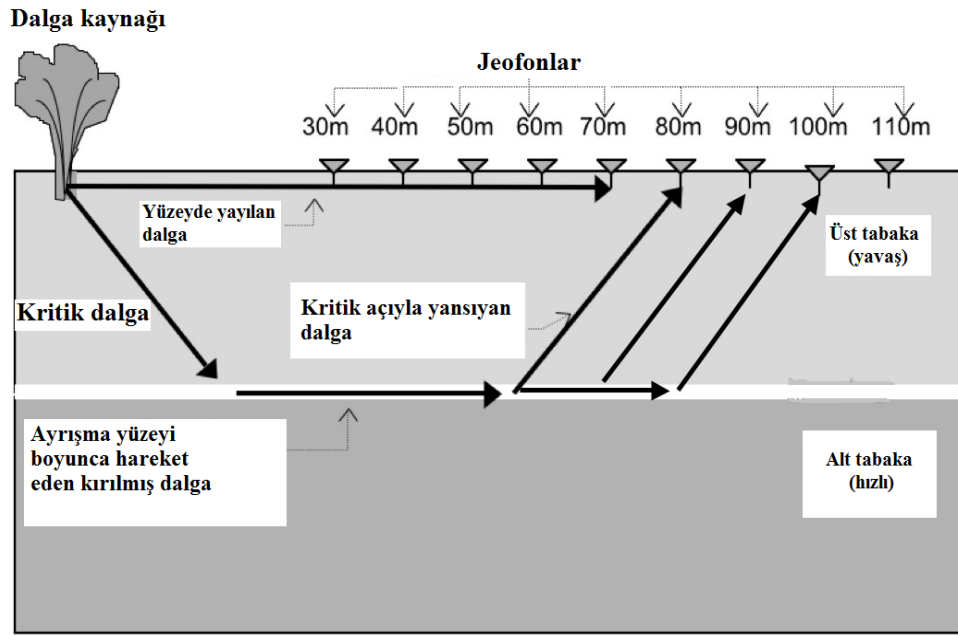
Love dalga hızları da yukarıdaki eşitliklere benzer şekilde hesaplanabilmektedir. Rayleigh dalga hızı V_R ise, frekans f ve dalga boyu L ile bağlantılı olup aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$V_R = \frac{l}{t_R} \quad (2.6)$$

Sismik yöntemler, kaynağın ve alıcıların geometrik konumlarına göre Kuyu İçi ve Yüzey Sismik yöntemler olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

2.3.1.1 Yüzey Sismik Yöntemler

Yüzey sismik yöntemlerde, kaynak ve alıcılar zemin yüzeyinde bulunurlar. Yöntem sonucunda elde edilen tabaka hızları kullanılarak, doğal veya insan yapımı zeminin özellikleri hakkında veriler elde edilir. Yüzey sismik yöntemlerde dört farklı analiz metodu mevcuttur. Bu yöntemler, “Yüzey Kırılma”, “Yüzey Yansıma”, “Yüzey Dalgaların Spektral Analizi” ve “Devamlı Yüzey Dalga (Harmonik Dalga) Yöntemi” olarak bilinirler. Şekil 2.14, bahsi geçen yöntemlerde ölçülen dalgaların, zemin içinde yayılma biçimlerini göstermektedir.



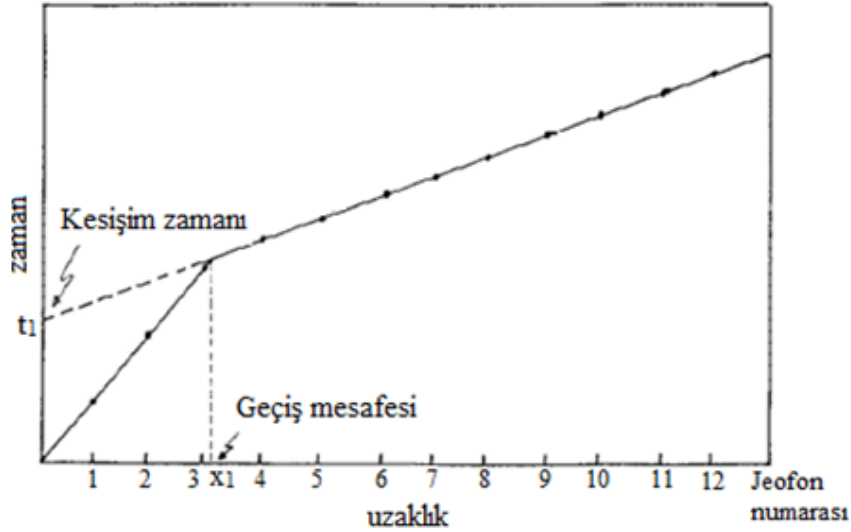
Şekil 2.14 : Sismik yöntemlerde dalgaların zemin içinde yayılış biçimleri.

Yüzey kırılma ve yüzey yansıma yöntemleri, genellikle fizibilite çalışmaları, yeraltı su seviyesinin tespiti, ana kayanın konumu ve niteliğinin elde edilmesi amaçlarıyla kullanılır. Özellikle elde edilen P-dalga hızları kaya kalitesi konusunda iyi bir göstergedir. Çizelge 2.2’de P-dalga hızları ile zemin cinsi arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Bu yöntemlerde, düşük hızlı tabakaların altında, sert ve yüksek hızlı tabakaların bulunması durumunda kaynaktan çıkan dalgaların bir kısmı yüzeyde hareket ederken, diğerleri derinlemesine ilerleyerek sert tabakaya girerler. Sert tabakanın üst kısmında hareket eden dalgalar, yumuşak tabaka ile temas yüzeyinden yukarıya iletilerek kırılmış dalga halini alırlar.

Kaynak ile alıcı arasındaki mesafeler arttıkça, kırılan dalgalar yüzeyde ilerleyen dalgalara göre alıcıya daha önce varırlar. Bunun nedeni, dalgaların sert tabakada yumuşak tabakada olduğundan daha hızlı ilerlemesidir. Üst ve alt tabakalardaki sismik hızlar kaydedilerek, Şekil 2.15'dekine benzer zaman-uzaklık grafikleri elde edilir. Burada başlangıç doğrusunun eğimi üst katmandaki sismik hızı, kırılma anından sonraki doğrunun eğimi ise alt katmandaki sert tabakanın sismik hızını vermektedir.

Çizelge 2.2 : P-dalgası hızı ile zemin cinsleri arasındaki ilişki (ASTM D 5777).

Materyal Tipi	P-dalga hızı (m/s)
Çakıl veya kuru kum	460-915
Doygun Kum	1120-1830
Doygun Kil	915-2750
Su	1430-1665
Deniz suyu	1460-1525
Kumtaşı	1830-3960
Tortulu şist	2750-4270
Kireçtaşı	1830-3960
Kalker	2134-6100
Granite	4575-5800
Metamorfik kayaç	3050-7000



Şekil 2.15 : Sismik yöntem dalga varış süresi-uzaklık grafiği (ASTM D 5777).

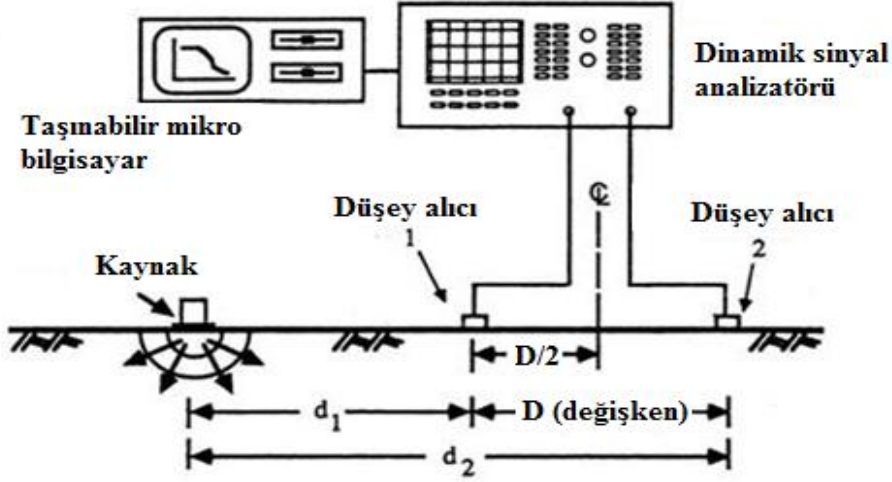
Zeminlerde yüzey kırılma ve yüzey yansıma yöntemlerinin kullanımına engel durumlar mevcut olabilmektedir. Özellikle, yumuşak bir tabakanın üzerinde daha sert bir tabakanın bulunması durumunda, yumuşak katmanda ölçülebilir bir kırılma oluşmayacaktır. Bu da, zeminin kalın ve tek bir tabakadan oluşan sert zemin olduğunun sanılmasına yol açabilecektir.

Yine beton, asfalt, buz gibi sert materyallerle kaplanmış yüzeylerde uygulanan deneylerde benzer sıkıntılarla karşılaşılabilir. Ayrıca, zemini oluşturan katmanlarda, düzensizlikler ve süreksizlikler bulunması durumunda elde edilen sonuçların yanlış yorumlanması söz konusu olabilir. Bu nedenle, deney sonuçlarının deneyimli ekipler tarafından yorumlanması ve sondaj veya gözlem çukurları yardımıyla sonuçların irdelenmesi uygun olabilir (McCarthy, 2007).

Yüzey dalgaların spektral analizi, SASW yöntemi olarak adlandırılmaktadır. SASW yöntemi, arazide Ballard ve McLean (1975), Nazarian ve Stokoe (1984), Addo ve Robertson (1992) ve Matthews ve diğ. (1996) tarafından geliştirilmiştir. Şekil 2.16, SAWS uygulamasına ait ekipman kullanımını ve standart prosedürleri göstermektedir. Bu yöntemde yüzeysel inceleme yapılacaksa, kaynak olarak ağırlığı 20kg'dan az olan düşey darbeli çekiçler kullanılmaktadır. Ancak, daha derin inceleme yapılacaksa, ağırlığı bir kaç yüz kilogramları bulan çekiçler kullanılmaktadır. Genellikle kullanılan kaynaklardan dolayı Love dalgaları kaydedilemede, SASW yöntemi ile dalga hızı S-dalga hızından biraz daha az olan Rayleigh dalgaları kayıt altına alınmaktadır. SASW incelemelerinde, faz ölçere, sismografa ya da spektrum analizatörüne bağlanmış alıcılar kaynaktan itibaren bir önceki açıklığın iki katı mesafede olacak şekilde araziye yerleştirilirler. Çekiç darbeleriyle oluşturulan dalgaların faz farkları bu alıcılar tarafından kaydedilir. Eğer alıcılar faz ölçer veya spektrum analizatörüne bağlı ise veriler doğrudan kaydedilirken, alıcılar sismografa bağlıysa Hızlı Fourier Dönüşümleri kullanılarak frekans-hız ilişkileri saptanabilir. V_R dalga hızı, f frekans, L_R dalga boyu, Φ iki alıcı arasındaki faz farkı ve d alıcılar arasındaki uzaklık kullanılarak aşağıdaki şekilde elde edilmektedir (Clayton ve diğ., 1995).

$$L_R = 2\pi / \frac{\Phi}{d} \quad (2.7)$$

$$V_R = f * L_R \quad (2.8)$$

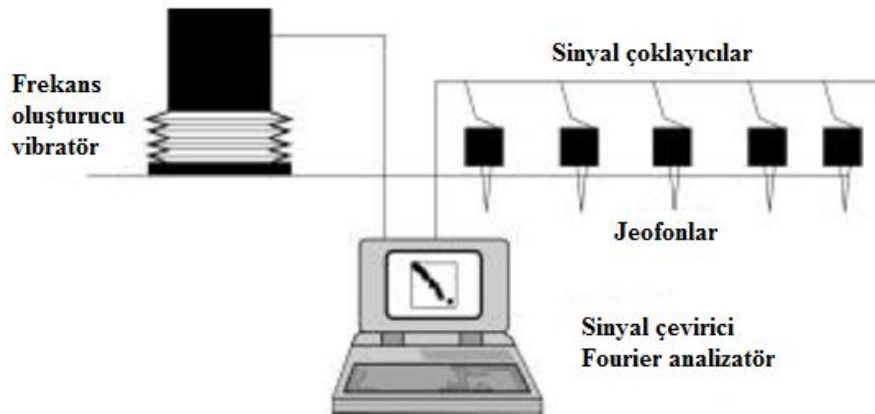


Şekil 2.16 : SAWS uygulamasına ait şematik gösterimi.

Harmonik dalga yöntemi (CSW) uygulaması, yüzey dalgalarının spektral analizi yöntemine benzemektedir. Deneyin şematik gösterimi Şekil 2.17’de verilmiştir. Bu yöntemde kaynak olarak yüzeye yerleştirilen ve belli bir frekansta devamlı dalga üreten elektromanyetik vibratörler veya mekanik ağırlıklar kullanılır. Yüzeye yakın incelemelerde mekanik tipteki düşük frekanslı ağırlıklar, derin incelemelerde ise yüksek frekanslı elektromanyetik vibratörler tercih edilir. Bahsi geçen kaynaklar tarafından oluşturulan dalgalar, düşey alıcılar yardımı ile izlenmekte ve ardışık iki alıcı arasındaki mesafe L_R dalga boyu kabul edilerek R-dalga hızı V_R aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (İyisan, 1994).

$$V_R = f * L_R \quad (2.9)$$

Bu işlem değişik frekans değerleri kullanılarak tekrar edilir ve sonucunda hız-frekans grafiği elde edilir.

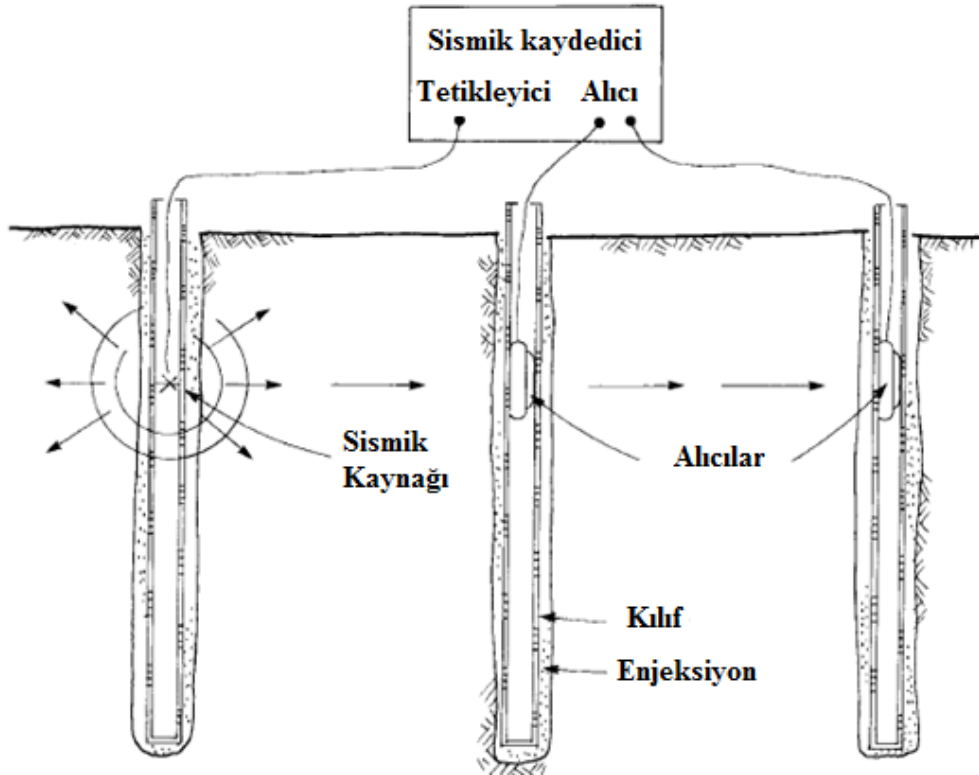


Şekil 2.17 : Harmonik dalga yöntemi (CSW) şematik gösterimi (Menzies, 2001).

2.3.1.2 Kuyu İçi Sismik Yöntemler

Kuyu İçi sismik yöntemler, alıcı ve kaynağın konumlarına göre “Karşıt Kuyu”, “Yukarı Kuyu” ve “Aşağı Kuyu” yöntemlerinden oluşmaktadır. Ayrıca, aşağı kuyu yönteminin farklı bir türevi olan “Sismik Koni Penetrasyon Deneyi” de sismik hızların tayininde kullanılan bir diğer yöntemdir.

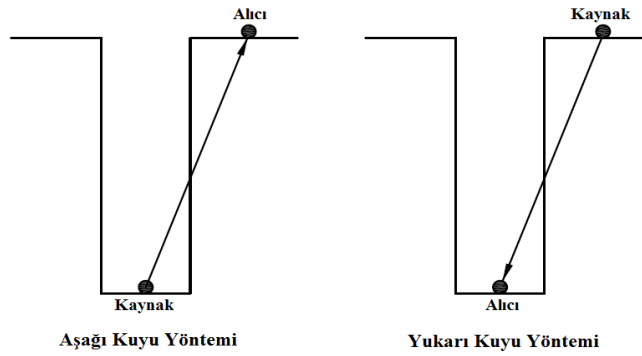
Karşıt Kuyu yöntemi prosedürü ASTM D 4428 tarafından standart hale getirilmiştir. Buna göre, deney Şekil 2.18’de de gösterildiği üzere 3m aralıklarla genişliği 16,5 cm’yi geçmeyecek şekilde açılan üç adet kuyu içinde gerçekleştirilir. Eğer S-dalga hızı 450 m/s’nin üzerinde olacaksa bu aralıklar 4,5 m’ye genişletilebilir. Deneyi muhafaza kılıflı veya muhafazasız uygulamak mümkündür. Muhafaza kılıflı uygulamada, kuyunun açılmasından sonra yaklaşık 10 cm çapında PVC veya alüminyum muhafaza borusu indirilir ve kuyu çimento harcı ile doldurulur. Çimento harcı, deneyin uygulanacağı zemin cinsine göre seçilmelidir ve muhafaza borusuna ve zemin çeperlerine temasına özen gösterilmelidir. Kaynak ve alıcılar, hazırlanan bu düzenek içine yerleştirilir. Kaynaktan çıkan dalgaların yatayda aynı seviyede bulunan alıcılara ulaşma süresi kaydedilir.



Şekil 2.18 : Karşıt Kuyu sismik deney düzeneği (ASTM D 4428).

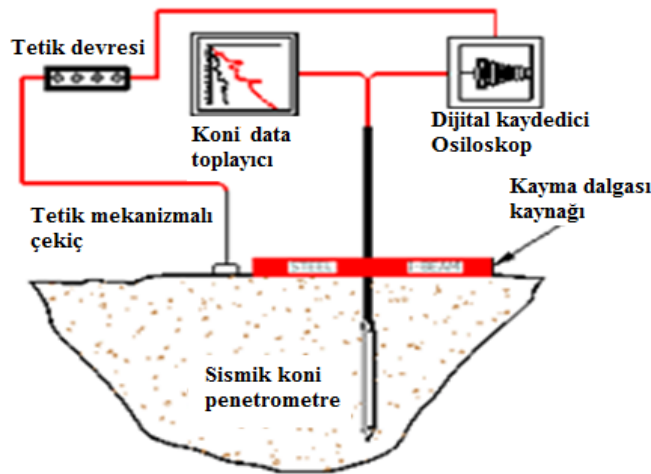
Yukarı Kuyu yönteminde kaynak bir kuyu içinde bulunurken, alıcı yüzeye yerleştirilir. P-dalga kaynağı olarak patlayıcı kullanılırken, S-dalgası oluşturmak için mekanik kaynaklar kullanılmaktadır. Yüzeyde bulunan alıcılar yardımıyla, kaynak tarafından oluşturulan dalgaların varış süreleri ölçülür ve buradan dalga hızları elde edilir.

Aşağı Kuyu yönteminde, Yukarı Kuyu yönteminin tersine kaynak yüzeyde iken alıcı veya alıcılar kuyu tabanına yerleştirilir. Yukarı Kuyu yönteminde olduğu gibi kaynak tarafından üretilen dalgaların alıcılara varış süresi ölçülür. Aşağı ve Yukarı Kuyu sismik yöntemlerinin şematik gösterimleri Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.19 : Aşağı ve Yukarı Kuyu sismik yöntemlerinin şematik gösterimleri.

Sismik Koni Penetrasyon deneyi olarak bilinen yöntem, Aşağı Kuyu sismik yöntemi ve Konik Penetrasyon deneylerinin birlikte uygulanmasını olanaklı hale getirmektedir. Şekil 2.20’de şematik olarak verilen deneyin, sondaj kuyusu gerektirmemesi ve detaylı hız profillerinin teminini olanaklı kılması en önemli avantajlarındandır.



Şekil 2.20 : Sismik Koni Penetrasyon deneyi şematik gösterimi.

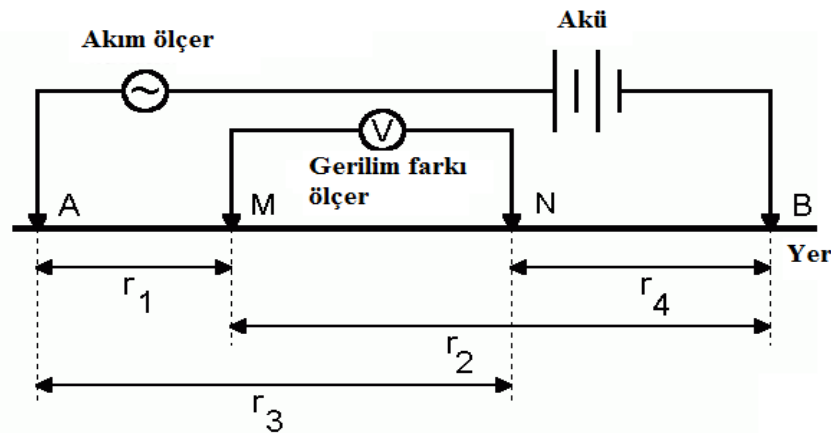
2.3.2 Elektriksel Direnç (Rezistivite) Yöntemi

Her materyalin elektriksel direncinin farklı olduğu düşünülüğünde, Elektriksel Direnç (Rezistivite) yöntemi sayesinde farklı direnç özellikleri sergileyen zeminlerin tanımlanması mümkün olmaktadır. Zemin direncini belirlemek için, arazide elektrotlar kullanılarak elektrik akımı oluşturulur ve bu alan içine belirli mesafelerde yerleştirilen voltmetreler yardımıyla meydana gelen elektrik potansiyel (voltaj) değişiklikleri kaydedilir. Zeminin ortalama elektriksel direnci R , aşağıdaki bağıntı kullanılarak elde edilir.

$$R = 2\pi * D * \frac{V}{I} \quad (2.10)$$

Burada, D uzaklığı, V potansiyel farkı ve I akım şiddetini temsil etmektedir.

Sistem elektrot aralıkları sabit olacak şekilde yatay doğrultuda ötelenerek uygulanırsa buna elektriksel profil çıkarma adı verilir. Bu yöntem ile yatay doğrultuda yeraltında bulunan malzemelerin belirlenmesi sağlanır. Diğer bir metod olan ve elektrik sondajı olarakta adlandırılan yöntemde ise, sistemin simetri eksenini sabit tutularak elektrotlar arasındaki mesafeler düzenli olarak arttırılır. Elektrotlar arasındaki mesafeler arttırıldıkça zeminin derinlemesine dirençlilik değerleri elde edilir ve bu sayede zeminin katmanları hakkında bilgi edinilir. Bu yöntem ile sert tabakalar altındaki yumuşak ve yumuşak tabakalar altında bulunan sert tabakaların tayin edilmesi mümkün olmaktadır. Şekil 2.21’de şematik gösterimi verilmiş olan elektriksel direnç yöntemi ile zemin cinsi, yeraltı su seviyesi, tabakalar ve kalınlıkları v.b. tahmin edilebilir.



Şekil 2.21 : Elektriksel direnç (Rezistivite) yöntemi şematik gösterimi.

3. YÜZEYSEL TEMELLERDE TAŞIMA GÜCÜ

Temel taşıma gücü, temelin göçmeden taşıyabileceği maksimum taban basıncı anlamında kullanılmaktadır. Temellerin taşıma gücü, zeminin birim hacim ağırlığına, kayma mukavemeti ve deformasyon özelliklerine, zeminin arazideki gerilme durumuna, hidrolik şartlara, temelin derinlik, büyüklük, taban şekli ve pürüzlülüğü gibi geometrik özelliklerine, temele uygulanan yük değerlerine ve inşaat metodlarına göre değişim göstermektedir (Kumbasar ve Kip, 1999).

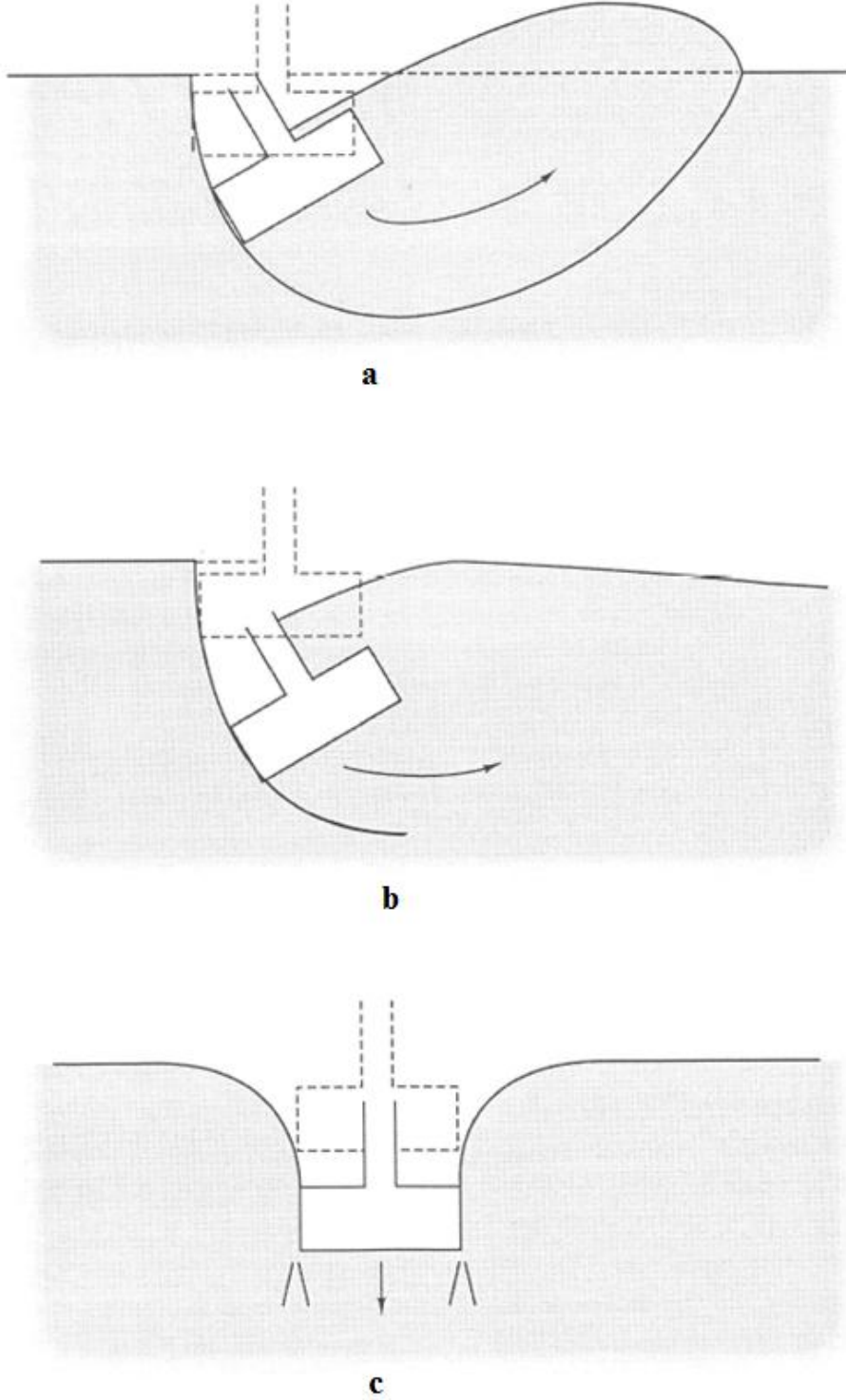
Yüzeysel temeller, üst yapı yüklerini yüzeye yakın derinliklerde zemine iletirler ve bu esnada basınç ve kayma gerilmeleri oluştururlar. Bu gerilmelerin büyüklükleri, uygulanan yüke ve temelin geometrik özelliklerine bağlıdır. Temel altında oluşan basıncın yeteri kadar büyük olması veya temel boyutlarının küçük olması durumunda, kayma gerilmeleri zeminin dayanımını aşabilir. Bu durumda, taşıma gücü yenilmeleri ile karşılaşılır. Yapılan araştırmalarda, taşıma gücü yenilmelerinin üç şekilde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bunlar, Şekil 3.1’de gösterildiği gibi, genel kesme kırılması, yerel kesme kırılması ve zımbalayıcı kesme kırılması olarak adlandırılırlar (Coduto, 2001).

Taşıma gücü yenilmelerinde, en sık karşılaşılan genel kesme kırılmasıdır. Göreceli sıkışamaz zeminlerde, orta sert kayalarda ve drenajsız olarak hızlı şekilde yüklenen killerde görülürler. Bu göçme tipinde, temele bitişik zemin yüzeyinde kabarmalar oluşur. Kabarmalar iki yanda oluşsa da, yenilme sadece bir kenarda oluşur ve temelde dönmeler gözlemlenir (Coduto, 2001).

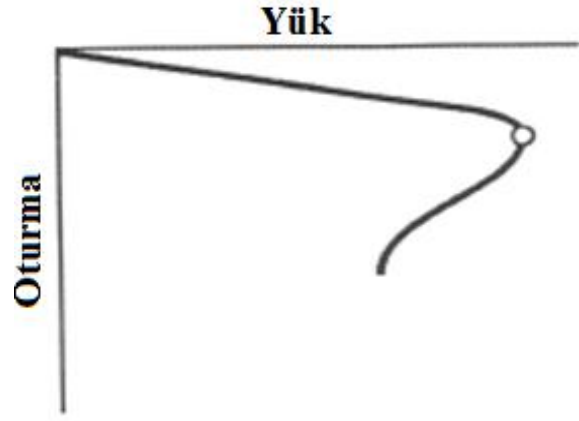
Zımbalayıcı kesme kırılması ise, çok gevşek kumlarda, altında çok zayıf katman bulunan ince sağlam zemin tabakalarında veya drenajlı koşullar altında yüklü zayıf killerde gözlemlenir. Bu durumda, zemin yüzeyinde çok az veya hiç kabarma gözlemlenmez (Coduto, 2001).

Diğer bir göçme tipi olan yerel kesme kırılmasında, genellikle temel genişliğinin yarısı mertebelerinde oturmalar meydana gelir. Temel çevresinde küçük kabarmalar oluşur. Yerel kesme kırılmalarında, ani göçmeler oluşmaz ve temel devamlı derine batmaya devam eder.

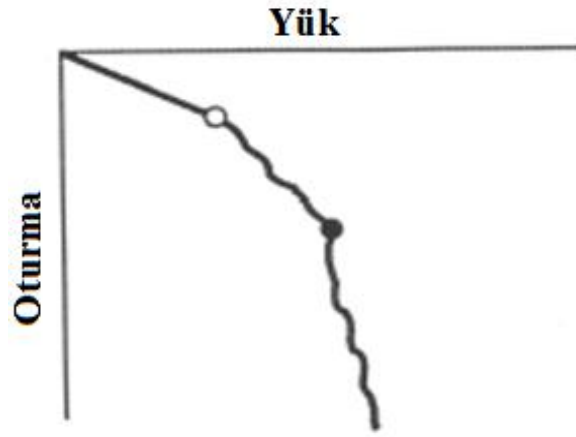
Zımbalayıcı kesme kırılmalarında da benzer şekilde, ani göçme oluşmasa da, genel kesme kırılmalarında bu durumun tersine ani göçmeler meydana gelir. Bu durum, Şekil 3.2’de yük-oturma grafiklerinde gösterilmiştir (Coduto, 2001).



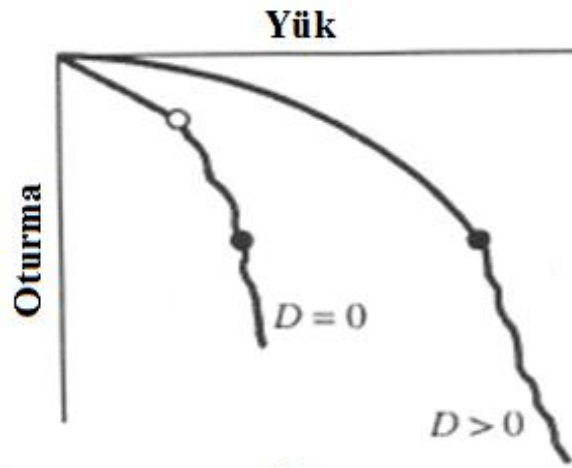
Şekil 3.1 : Taşıma kapasitesi kırılma çeşitleri: a) Genel. b) Yerel. c) Zımbalayıcı. (Coduto, 2001).



a



b



c

Şekil 3.2 : Taşıma kapasitesi kırılma çeşitlerine göre yük-şekil değiştirme eğrileri:
a) Genel. b) Yerel. c) Zımbalayıcı. (Vesic, 1963).

3.1 Taşıma Gücü Hesap Yöntemleri

3.1.1 Klasik Taşıma Gücü Hesap Yöntemleri

Geçen yüzyılda pek çok araştırmacı temellerin taşıma kapasitelerinin elde edilmesi konusunda araştırmalar gerçekleştirmiştir. Temellerin taşıma gücü ile ilgili ilk çalışmalar Rankine (1857) tarafından yapılmıştır. Rankine, temelin köşesinden geçen düşey bir düzlemde oluşan yatay gerilmelerin temel derinliği boyunca meydana gelecek pasif gerilmelere eşit olacağı varsayımını kullanarak bir taşıma gücü formülü geliştirmiştir. Ancak, bu formülde temel boyutlarının etkisinin değerlendirilmemesi ve kohezyonlu zeminlerde yüzeye oturan temeller için taşıma gücünün sıfır kabul edilmesi, ortaya konan sonuçların tüm zemin çeşitleri için kullanımını engellemektedir (Myslivec ve Kysela, 1978).

Devam eden süreçte araştırmacılar, klasik elastisite ve plastisite kuramlarını kullanarak çeşitli taşıma gücü denklemleri ortaya koymuşlardır. Önceki bölümde açıklanan genel kesme kırılması çözümüne ilişkin kuramlar, klasik plastisite kavramı kullanılarak geliştirilmiştir. Plastisite kuramı ile ilgili ilk çalışmalar Prandtl (1920) tarafından yapılmıştır. Prandtl, yapışma ve iç sürtünme özellikleri taşıyan ve ağırlığı olmayan bir metal ile bunun yüzeyine dayanan uzun, dar bir metal parçasının ilişkisini incelemiştir. Taşıma gücü ile ilgilenen diğer araştırmacılar, bu bulguları temel problemlerine göre geliştirerek üst yapıyı taşıyan sert temelleri incelemişlerdir (McCarthy, 2007).

3.1.1.1 Terzaghi Taşıma Gücü Hesabı

Temellerin taşıma gücü hesaplamaları ile ilgili ilk çalışmalardan olan ve günümüzde yaygın olarak kabul edilen formüller, Terzaghi (1943) tarafından geliştirilmiştir. Terzaghi teorisini geliştirirken, zeminin taşıma gücü limit değerine ulaştığı andaki davranışını Şekil 3.3’de gösterildiği gibi kabul etmiştir. Buna göre, hemen temelin altında kalan I. bölge, temel ile birlikte düşey yönde hareket eden kama bölümüdür. II. bölge ise, ırsal kayma bölümünü temsil eden logaritmik spiral bir eğridir. Son olarak, zeminin düzlemsel yüzeyler boyunca hareket ettiği doğrusal kayma bölümünü temsil eden III. Bölge gösterilmiştir.

Terzaghi çalışmalarında, temel derinliği boyunca zeminin kayma dayanımını ihmal ederek, kayma yüzeyi üzerindeki zemini sürüşarj etkisi olarak almıştır. Bu yöntem yüzeyssel temeller için kabul edilebilir bulunmaktadır (Coduto, 2001).

Şekil 3.3 : Terzaghi taşıma kapasitesi sınır durum gösterimi (Bowles, 1996).

1. Temel derinliği D olmak üzere, temel genişliği B'den daha küçük olmalıdır (Yüzeysel temel şartı $D \leq B$).
2. Temel tabanı, temel ve zemin arasında kayma oluşmayacak şekilde pürüzlü olmalıdır.
3. Zemin, homojen yarı sonsuz uniform bir kütledir.
4. Taşıma gücü limit değerlerine ulaşıldığında, zeminde genel kesme kırılması oluşur.
5. Zeminde konsolidasyon oturması oluşmaz.
6. Temel zemine göre çok rijittir.
7. Temele etkiyen yükler, basınç şeklinde olup, eksantrisite mevcut değildir.

$$q_n = c' * N_c * s_c + \sigma_z' * N_q + 0,5 * \gamma' * B * N_\gamma * s_\gamma \quad (3.1)$$

Burada;

q_n : Zeminin nihai taşıma gücünü

c' : Temel altındaki zemin efektif kohezyonunu

σ_z' : Temel derinliğindeki efektif düşey gerilmesini

γ' : Zemin efektif birim hacim ağırlığını

B : Temel genişliğini

N_c, N_q ve N_γ : Terzaghi taşıma gücü faktörlerini

s_c ve s_γ : Temel geometri katsayılarını

temsil etmektedir. Terzaghi'nin taşıma gücü formülü, efektif gerilmeler için geliştirilmiş olsa da, bu formül toplam gerilme analizinde de kullanılabilir. Terzaghi taşıma gücü faktörleri olan N_c, N_q ve N_γ , aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Bunların, değişik içsel sürtünme açılarına göre değerleri Çizelge 3.2'de tablo halinde gösterilmektedir.

$$N_c = (N_q - 1) * \cot \Phi \quad (3.2)$$

$$N_q = \frac{a^2}{2 * \cos^2(45 + \frac{\Phi}{2})} \quad (3.3)$$

$$a = e^{(0,75\pi - \frac{\Phi}{2}) * \tan \Phi} \quad (3.4)$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \Phi}{2} * (\frac{K_{py}}{\cos^2 \Phi} - 1) \quad (3.5)$$

Burada, Φ zeminin içsel sürtünme açısı, K_{py} ise Terzaghi tarafından grafik yöntemler kullanarak elde ettiği bir katsayı olup Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Terzaghi temel geometri katsayıları.

Temel Geometrisi	s_c	s_γ
Şerit temel	1,0	1,0
Kare temel	1,3	0,8
Dairesel temel	1,3	0,6

Çizelge 3.2 : Terzaghi N_c, N_q, N_γ ve K_{py} katsayıları (Bowles, 1996).

Φ (derece)	N_c	N_q	N_γ	K_{py}
0	5.7	1.0	0.0	10.8
5	7.3	1.6	0.5	12.2
10	9.6	2.7	1.2	14.7
15	12.9	4.4	2.5	18.6
20	17.7	7.4	5.0	25.0
25	25.1	12.7	9.7	35.0
30	37.2	22.5	19.7	52.0
34	52.6	36.5	36.0	
35	57.8	41.4	42.4	82.0
40	95.7	81.3	100.4	141.0
45	172.3	173.3	297.5	298.0
48	258.3	287.9	780.1	
50	347.5	415.1	1153.2	800.0

3.1.1.2 Meyerhof Taşıma Gücü Hesabı

Meyerhof (1951, 1963), Terzaghi'nin hesaplamalarına benzer bir yaklaşımla, temellerin şekil ve derinlik faktörlerini de dikkate alarak bir taşıma gücü formülü geliştirmiştir. Ayrıca, temelin düşey yüklerin yanı sıra yatay yüklerin de etkisinde olduğu durumlar için yük eğim faktörlerini içeren bir yaklaşımı da mevcuttur. Meyerhof taşıma gücü formülleri, aşağıda verildiği şekilde kullanılmaktadır.

$$q_n = c * N_c * s_c * d_c + \sigma_z * N_q * s_q * d_q + 0,5 * \gamma * B * N_\gamma * s_\gamma * d_\gamma \quad (3.6)$$

$$q_n = c * N_c * i_c * d_c + \sigma_z * N_q * i_q * d_q + 0,5 * \gamma * B * N_\gamma * i_\gamma * d_\gamma \quad (3.7)$$

Burada, Terzaghi taşıma gücü formülüne ek olarak;

d_c, d_q ve d_γ : Derinlik faktörleri

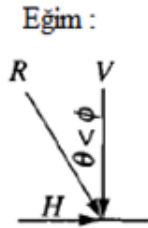
s_c, s_q ve s_γ : Temel şekil faktörleri

i_c, i_q ve i_γ : Yük eğim faktörleri

kullanılmaktadır. Temel şekil, derinlik ve yük eğim faktörleri hesaplama şekilleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Meyerhof s_i , d_i , i_i katsayıları hesaplamaları (Bowles, 1996).

Faktörler	Formüller
Şekil :	$s_c = 1 + 0.2K_p \frac{B}{L}$ <i>tüm ϕ'ler için</i> $s_q = s_\gamma = 1 + 0.1K_p \frac{B}{L}$ $\phi > 10^\circ$ $s_q = s_\gamma = 1$ $\phi = 0$
Derinlik :	$d_c = 1 + 0.2\sqrt{K_p} \frac{D}{B}$ <i>tüm ϕ'ler için</i> $d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{K_p} \frac{D}{B}$ $\phi > 10$ $d_q = d_\gamma = 1$ $\phi = 0$
Eğim :	$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$ <i>tüm ϕ'ler için</i> $i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ}\right)^2$ $\phi > 0$ $i_\gamma = 0$ $\theta > 0$ $\phi = 0$



Burada, L , temelin uzun kenar boyutunu, D , temel taban derinliğini temsil etmektedir. K_p , pasif toprak basıncı katsayısı,

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\Phi}{2}\right) \quad (3.8)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanır. Ayrıca, θ açısı, bileşke yük R 'nin düşeyle yaptığı açıdır. Bu açı değeri, 0 olduğunda Meyerhof formülünde kullanılan tüm yük eğim faktörleri 1 değerini almaktadır (Bowles, 1996).

Meyerhof'un taşıma gücü hesaplarına esas kullandığı zemin kırılma yüzeyine ait şematik gösterim, Şekil 3.4'de verilmiştir. Buna göre, abc üçgeni temel ile hareket eden kama bölgesini, bcd ve cd logaritmik spiral çizgisi ile sınırlanmış bölge, açısız kayma bölgesini, bde üçgeni ise karışık kayma bölgesini temsil etmektedir. be çizgisinin oluşturduğu düzlem, eşdeğer serbest yüzey olarak adlandırılır (Das, 1999).

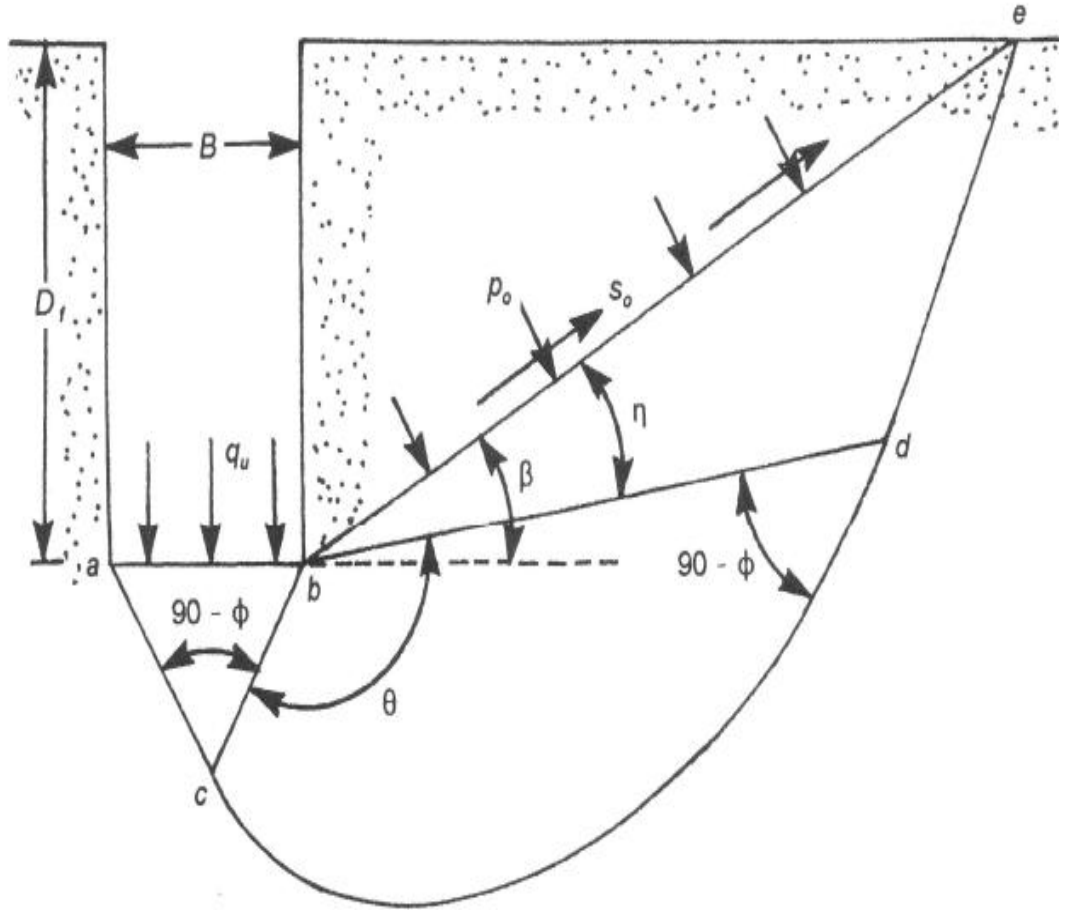
Meyerhof, temel üzerinde meydana gelebilecek eksantrisite etkisini dikkate almak amacıyla, nihai taşıma gücü azaltma katsayısı R_e 'yi kullanmıştır. Eksantrisite, e ve temel genişliği, B olmak üzere, nihai taşıma gücü aşağıdaki formüller ile azaltılmaktadır.

$$q'_n = q_n * R_e \quad (3.9)$$

$$R_e = 1 - 2 * e/B \quad (3.10)$$

$$R_e = 1 - \sqrt{e/B} \quad (3.11)$$

Buna göre, formül (3.10) kohezif zeminler için, formül (3.11) ise, kohezif olmayan zeminlerde azaltma katsayısı olarak kullanılır.



Şekil 3.4 : Meyerhof taşıma kapasitesi sınır durum şematik gösterimi (Das, 1999).

Meyerhof taşıma gücü faktörleri olan N_c , N_q ve N_γ değerlerinin, içsel sürtünme açısına göre değişimleri Çizelge 3.4’de verilmiştir. Ayrıca, bu değerlerin ϕ içsel sürtünme açısı, β açısı ve η açısına bağlı m mobilizasyon açısı ile ilişkileri, sırasıyla Şekil 3.5 (a), (b), (c)’de şematize edilmiştir. Ancak burada, yüzeysel temel analizleri dikkate alındığından, ileriki bölümlerde β ve m değerleri sıfır alınarak N_c , N_q ve N_γ katsayıları analizleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre, Meyerhof’un taşıma gücü katsayıları,

$$N_q = e^{(\pi \cdot \tan \Phi)} * \tan^2(45 + \frac{\Phi}{2}) \quad (3.12)$$

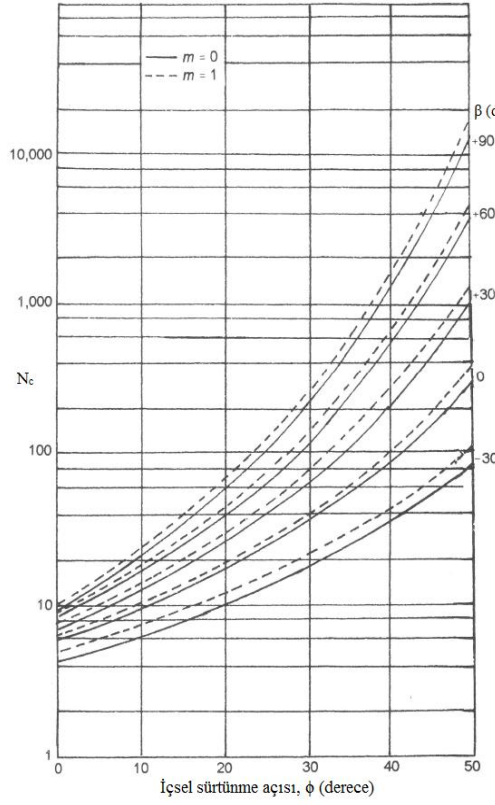
$$N_c = (N_q - 1) * \cot \Phi \quad (3.13)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) * \tan(1,4 * \Phi) \quad (3.14)$$

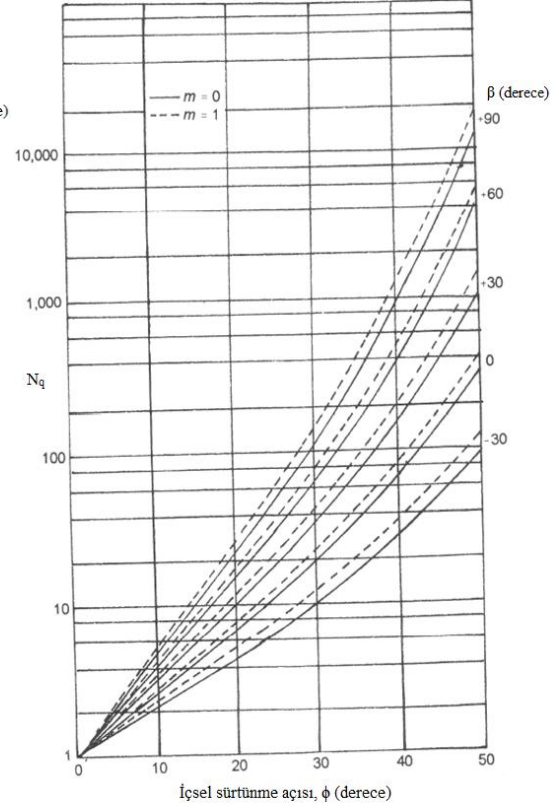
şeklinde hesaplanmaktadır.

Çizelge 3.4 : Meyerhof N_c , N_q , N_γ taşıma gücü katsayıları (Bowles, 1996).

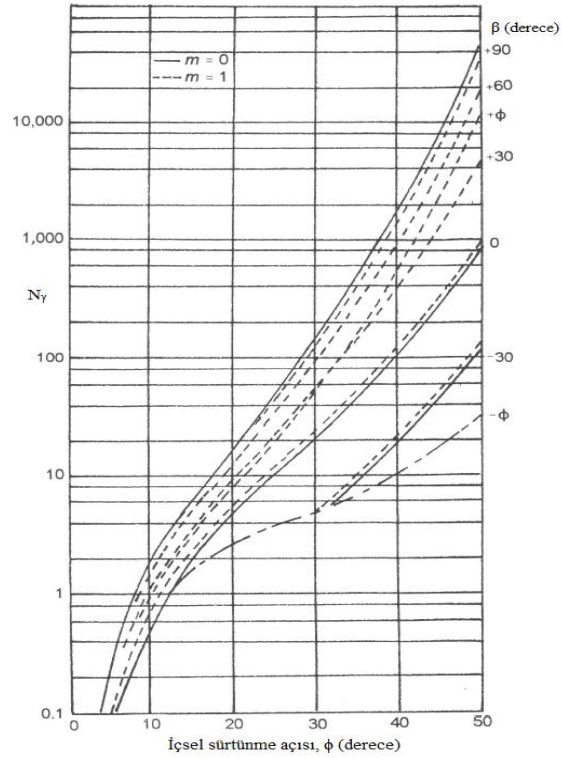
Φ (derece)	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.0	0.0
5	6.49	1.6	0.1
10	8.34	2.5	0.4
15	10.97	3.9	1.1
20	14.83	6.4	2.9
25	20.71	10.7	6.8
26	22.25	11.8	8.0
28	25.79	14.7	11.2
30	30.13	18.4	15.7
32	35.47	23.2	22.0
34	42.14	29.4	31.1
36	50.55	37.7	44.4
38	61.31	48.9	64.0
40	75.25	64.1	93.6
45	133.73	134.7	262.3
50	266.50	318.5	871.7



a)



b)



c)

Şekil 3.5 : β , ϕ ve m değerlerine göre: a) N_c değişimi b) N_q değişimi c) N_y değişimi (Das, 1999)

3.1.1.3 Hansen Taşıma Gücü Hesabı

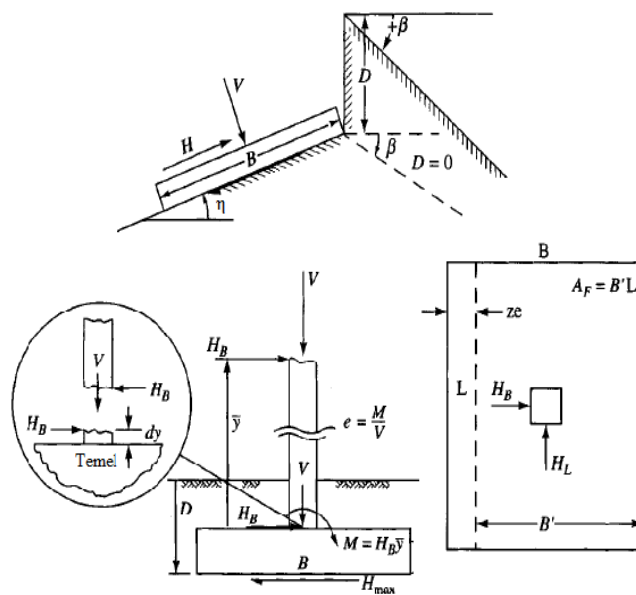
Hansen (1970), Meyerhof (1951) taşıma gücü hesabına paralellik gösteren ve ona ek olarak, yük eğim açısı faktörlerini, zemin eğim faktörlerini ve temel sapma faktörlerini dikkate alan bir formül geliştirmiştir. Burada kullanılan temel sapma faktörü b_i , temel tabanının yatay düzlemden η açısı kadar saptması durumunda ve zemin eğim faktörü g_i de, temelin yan yüzünü destekleyen zeminde β açısı kadar bir eğim bulunması durumunda dikkate alınan değerlerdir. i_i yük eğim faktörleri ise, temele etkiyen yatay ve düşey yük bulunması durumunda oluşacak bileşke yüklerin düşey eksenenden kaçıklığını dikkate alan katsayılarıdır. Buna göre, Hansen taşıma gücü formülü aşağıdaki gibi verilmektedir (Bowles, 1996).

$$q_n = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \sigma_z N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0,5\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (3.15)$$

Formülde kullanılan taşıma gücü katsayıları N_c ve N_q , Meyerhof formülünde kullanılanlarla aynı şekilde hesaplanmaktadır. Farklı olarak, N_γ aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$N_\gamma = 1,5 * (N_q - 1) * \tan\Phi \quad (3.16)$$

b_c , b_q , b_γ temel sapma faktörleri, g_c , g_q , g_γ zemin eğim faktörleri ve i_c , i_q , i_γ yük eğim faktörlerinin hesaplanma yöntemleri, Çizelge 3.5’de gösterilmektedir. Bu hesaplamalara esas şematik gösterim Şekil 3.6’te verilmiştir.



Şekil 3.6 : Hansen taşıma kapasitesi hesabı şematik gösterimi (Bowles, 1996).

Çizelge 3.5 : Hansen b_i , g_i , i_i katsayıları hesap formülleri (Bowles, 1996).

Yük eğim faktörleri	Zemin eğim faktörleri
$i'_c = 0.5 - \sqrt{1 - \frac{H_i}{A_f C_a}}$	$g'_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$
$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$	$g_c = 1.0 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$
$i_q = \left[1 - \frac{0.5 H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^{\alpha_1}$ $2 \leq \alpha_1 \leq 5$	$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \tan \beta)^5$
	Temel sapma faktörleri
$i_\gamma = \left[1 - \frac{0.7 H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^{\alpha_2}$	$b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ} \quad (\phi = 0)$
$i_\gamma = \left[1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ/450^\circ) H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^{\alpha_2}$ $2 \leq \alpha_2 \leq 5$	$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ} \quad (\phi > 0)$
	$b_q = \exp(-2\eta \tan \phi)$
	$b_\gamma = \exp(-2.7\eta \tan \phi)$
	η radyan

Burada;

i'_c , i'_γ : İçsel sürtünme açısı ϕ sıfıra eşitken yük eğim faktörleri

g'_c : İçsel sürtünme açısı ϕ sıfıra eşitken zemin eğim faktörü

b'_c : İçsel sürtünme açısı ϕ sıfıra eşitken temel sapma faktörü

H_i : Temele etkiyen yanal yük

V : Temele etkiyen düşey yük

A_f : Temel efektif alanı

c_a : Taban adezyonu ($0,6c \leq c_a \leq 1,0c$)

η : Tabanın yatayla yaptığı açı

β : Temel yüzüne bitişik zeminin yatayla yaptığı açı

değerlerini temsil etmektedirler.

Hansen taşıma gücü formüllerinde, temel efektif alanı (A_f) olarak adlandırılan bir değer kullanılmaktadır. Temel üzerinde oluşabilecek momentleri ve bunun sonucunda ortaya çıkacak eksantrisite etkilerini dikkate alan bu yaklaşım, dikdörtgen ve dairesel temeller için Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Buna göre, temel efektif boyutları olan B' ve L' ile efektif alan A' değerleri;

$$L' = L - 2e_x \quad (3.17)$$

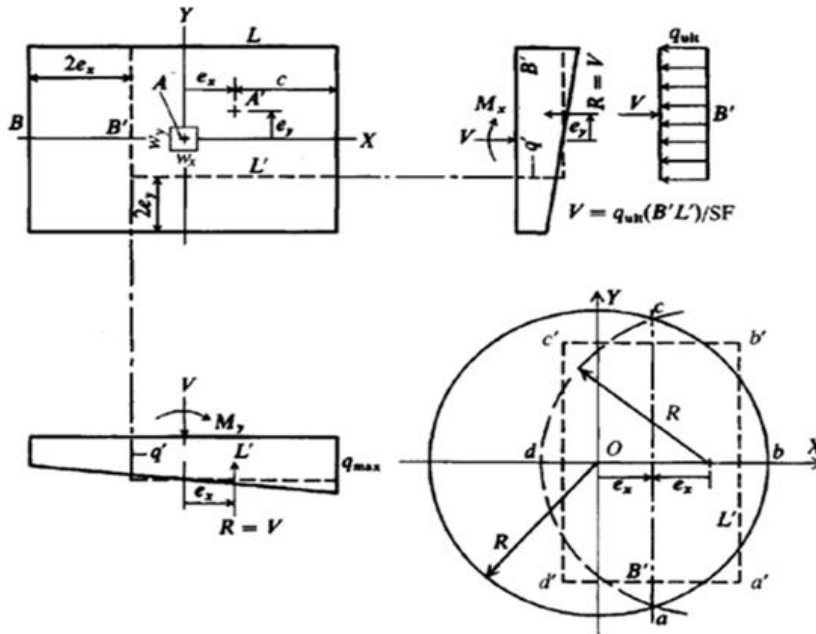
$$B' = B - 2e_y \quad (3.18)$$

$$A' = B' * L' \quad (3.19)$$

bağıntıları kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada, e_x ve e_y , düşey düzlemdeki eksantrisiteleri göstermektedir. Eksantrite değerleri, M_x ve M_y , düzlem üzerindeki momentler ve V , temele etkiyen düşey kuvvet kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$e_x = \frac{M_x}{V} \quad (3.20)$$

$$e_y = \frac{M_y}{V} \quad (3.21)$$



Şekil 3.7 : Dikdörtgen ve dairesel temeller üzerindeki eksantrisite etkisinin şematik gösterimi (Bowles, 1996).

Hansen taşıma gücü hesabında kullanılan şekil ve derinlik faktörleri, Çizelge 3.6’te gösterilmiş olan formüllerle elde edilmektedir.

Çizelge 3.6 : Hansen s_i , d_i katsayıları hesap formülleri (Bowles, 1996).

Şekil faktörleri	Derinlik Faktörleri
$s'_c = 0.2 \frac{B'}{L'} \quad (\phi = 0^\circ)$ $s_c = 1.0 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'}$ $s_c = 1.0$ <i>şerit temeller için</i>	$d'_c = 0.4k \quad (\phi = 0^\circ)$ $d_c = 1.0 + 0.4k$ $k = D/B \quad ; \quad D/B \leq 1$ $k = \tan^{-1}(D/B) \quad ; \quad D/B > 1$ k <i> radyan</i>
$s_q = 1.0 + \frac{B'}{L'} \sin \phi$ <i>tüm ϕ değerleri için aynıdır.</i>	$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$
$s_\gamma = 1.0 - 0.4 \frac{B'}{L'} \geq 0.6$	$d_\gamma = 1.00$ <i>tüm ϕ değerleri için aynıdır.</i>

3.1.1.4 Vesic Taşıma Gücü Hesabı

Vesic (1973, 1975) taşıma gücü hesaplama yöntemi, Hansen (1961) tarafından geliştirilen yöntemle benzerdir. İki yöntem arasındaki farklılıklardan biri, N_γ taşıma gücü faktörüdür. Vesic, b_i temel sapma faktörleri, g_i zemin eğim faktörleri ve i_i yük eğim faktörlerinin hesaplanmalarında da farklı yaklaşımlar geliştirmiştir. Bu formüller Çizelge 3.7’de verilmektedir. Ayrıca, Vesic tarafından geliştirilen taşıma gücü faktörü N_γ hesaplaması aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.

$$N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * \tan \phi \quad (3.22)$$

Vesic ve Hansen tarafından kabul edilen taşıma gücü faktörleri Çizelge 3.8’de toplu olarak gösterilmektedir. Vesic, Hansen’in aksine taşıma gücü hesaplamalarında, eksantrite etkisini dikkate almayarak, temel boyutlarını olduğu gibi kabul etmektedir.

Çizelge 3.7 : Vesic b_i , g_i , i_i katsayıları hesap formülleri (Bowles, 1996).

Yük eğim faktörleri	Zemin eğim faktörleri
$i'_c = 1 - \frac{mH_i}{A_f c_a N_c} \quad (\phi = 0)$	$g'_c = \frac{\beta}{5.14} \quad \beta \text{ radyan}$
$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad (\phi > 0)$	$g_c = i_q - \frac{1 - i_q}{5.14 \tan \phi} \quad \phi > 0$
i_q, m aşağıda tanımlanmıştır.	
$i_q = \left[1.0 - \frac{H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^m$	$g_q = g_\gamma = (1.0 - \tan \beta)^2$
Temel sapma faktörleri	
$i_\gamma = \left[1.0 - \frac{H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^{m+1}$	$b'_c = g'_c \quad (\phi = 0)$
$m = m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$	$b_c = 1 - \frac{2\beta}{5.14 \tan \phi}$
$m = m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B}$	$b_q = b_\gamma = (1.0 - \eta \tan \phi)^2$

Çizelge 3.8 : Hansen ve Vesic N_c , N_q , N_γ taşıma gücü katsayıları (Bowles, 1996).

Φ (derece)	N_c	N_q	$N_{\gamma(H)}$	$N_{\gamma(V)}$
0	5.14	1.0	0.0	0.0
5	6.49	1.6	0.1	0.4
10	8.34	2.5	0.4	1.2
15	10.97	3.9	1.2	2.6
20	14.83	6.4	2.9	5.4
25	20.71	10.7	6.8	10.9
26	22.25	11.8	7.9	12.5
28	25.79	14.7	10.9	16.7
30	30.13	18.4	15.1	22.4
32	35.47	23.2	20.8	30.2
34	42.14	29.4	28.7	41.0
36	50.55	37.7	40.0	56.2
38	61.31	48.9	56.1	77.9
40	75.25	64.1	79.4	109.3
45	133.73	134.7	200.5	271.3
50	266.50	318.5	567.4	761.3

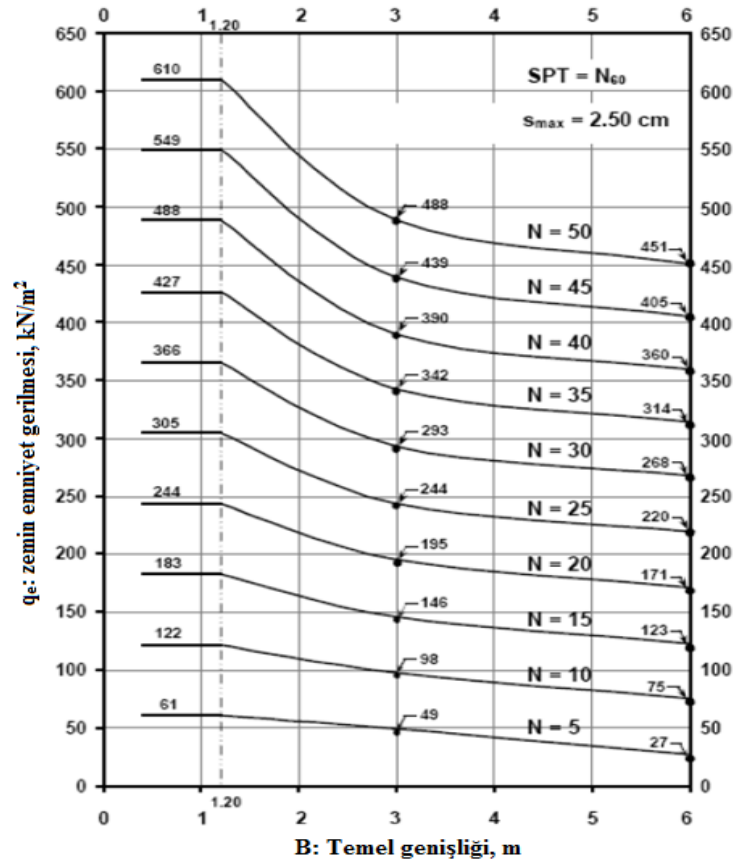
3.1.2 Arazi Deneyleri ile Taşıma Gücü Hesap Yöntemleri

Arazi deneyleri, ekonomik olmaları ve süreden tasarruf imkanı sağlamaları bakımından, temel tasarım kriterlerinin yerinde belirlenmesi amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca, zeminin numune alımı konusunda elverişli olmadığı durumlarda, zemin parametrelerinin doğrudan yerinde tespit edilmesi gerekebilir. Bu durumda, arazi deneyleri kullanılarak temellerin taşıma gücünün belirlenebilmesi için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir.

3.1.2.1 SPT Deneyi ile Taşıma Gücü Hesabı

3.1.2.1.1 Terzaghi ve Peck Yöntemi

Terzaghi ve Peck (1967), temellerde meydana gelebilecek oturmaların 25 milimetreyi geçmediği durumlar için emniyetli taşıma gücü bağıntıları geliştirmişlerdir. Bu bağıntılar, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiş olup, emniyetli taşıma gücü q_e , temel genişliği, B ve SPT-N değerleri arasındaki ilişki Şekil 3.8’de verilmektedir.



Şekil 3.8 : Terzaghi ve Peck emniyetli taşıma gücü q_e 'nin B ve SPT-N ile değişimi (Bowles, 1996).

Terzaghi ve Peck'e ait emniyetli taşıma gücü hesaplamalarının, bu konuda yapılan ilk çalışmalardan olması ve analizlerin deneysel gözlemler yardımıyla ortaya konması nedeniyle, oldukça güvenli tarafta kaldığı söylenebilir (McCarthy, 2007).

3.1.2.1.2 Meyerhof Yöntemi

Meyerhof (1974), SPT-N değerlerine bağlı olarak tekil temeller için emniyetli taşıma gücü formülleri geliştirmiştir. Terzaghi ve Peck tarafından yapılan çalışmalara benzer şekilde, Meyerhof'ta temelde meydana gelebilecek oturmayı 25 milimetre ile sınırlı tutmaktadır. Ayrıca, hesaplamalarını SPT enerji seviyesi E_R , %50-55 civarında olduğu durumlar için gerçekleştirmiştir (Bowles, 1996). Buna göre, emniyetli taşıma gücü aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$q_e = 12 * N * K_d \quad B < 1,2m \quad (3.23)$$

$$q_e = 8 * N * ((B + 0,305)/B)^2 * K_d \quad B > 1,2m \quad (3.24)$$

$$K_d = 1 + 0,33 * D/B \leq 1,33 \quad (3.25)$$

Burada;

q_e : Emniyetli taşıma gücü

N : SPT darbe sayısı

D : Temel derinliği

B : Temel genişliği

olarak kullanılmaktadır.

Meyerhof, genişliği büyük olan radye temeller altında etkilenen bölge derinliğini ve artan oturma miktarlarını dikkate alarak, radye temeller için emniyetli taşıma gücü formülünü aşağıdaki gibi vermektedir (Bowles, 1996).

$$q_e = 12,5 * N * K_d \quad (3.26)$$

3.1.2.1.3 Bowles Yöntemi

Bowles (1996), Meyerhof (1974) ile Terzaghi ve Peck (1967) tarafından geliştirilen, SPT-N sayılarına göre hesaplanan temel taşıma güçlerinin, çok güvenli tarafta kalarak elde edildiğini kabul etmektedir. Bu nedenle, benzer deney verileri ile daha yüksek taşıma gücü hesabının yapılabildiği aşağıdaki formülleri geliştirmiştir.

$$q_e = N/F_1 * K_d \quad B < F_4 \quad (3.27)$$

$$q_e = \frac{N}{F_2} * \left(\frac{B + F_3}{B} \right)^2 * K_d \quad B > F_4 \quad (3.28)$$

K_d katsayısının hesaplanması, Meyerhof formülündekine benzer şekilde yapılmaktadır. F_1 , F_2 , F_3 ve F_4 katsayıları ise Çizelge 3.9'de verilmektedir.

Çizelge 3.9 : Bowles F_1 , F_2 , F_3 ve F_4 taşıma gücü katsayıları (Bowles, 1996)

	N_{55}	N_{70}
F_1	0.05	0.04
F_2	0.08	0.06
F_3	0.3	0.3
F_4	1.2	1.2

Bowles, F_1 , F_2 , F_3 ve F_4 katsayılarını Meyerhof gibi SPT enerji seviyesi %55 değeri için vermektedir. Buna ek olarak, günümüzde daha yüksek enerji seviyeli deneyler gerçekleştirilebildiğini dikkate alarak, enerji seviyesi %70 olan durumlar için de katsayıları düzenlemiştir.

Formüllerde kullanılan SPT-N değerleri, temel derinliğinin $0,5B$ üzerindeki ve $2B$ altındaki SPT-N değerlerinin ortalaması olarak kabul edilmektedir. Ancak, $2B$ mesafesinin altında daha yumuşak bir zemin tabakasının bulunması durumunda, bu durum N sayısına yansıtılmadığı takdirde oturma problemleri ile karşılaşılması muhtemeldir (Bowles, 1996).

SPT-N sayıları kullanılarak, Bowles tarafından hesaplanan emniyetli taşıma güçlerinin temel genişliği ile değişimi Şekil 3.9'de verilmektedir.

Önceki taşıma gücü hesap yöntemlerinde belirtildiği gibi, Bowles da çalışmalarında oturmanın 25 milimetreyi geçmediği varsayımında bulunmaktadır. Bunun yanında, daha büyük oturma değerleri için emniyetli taşıma gücünün aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabileceğini belirtmektedir.

$$q'_e = \frac{\Delta H_j}{\Delta H_0} * q_e \quad (3.29)$$

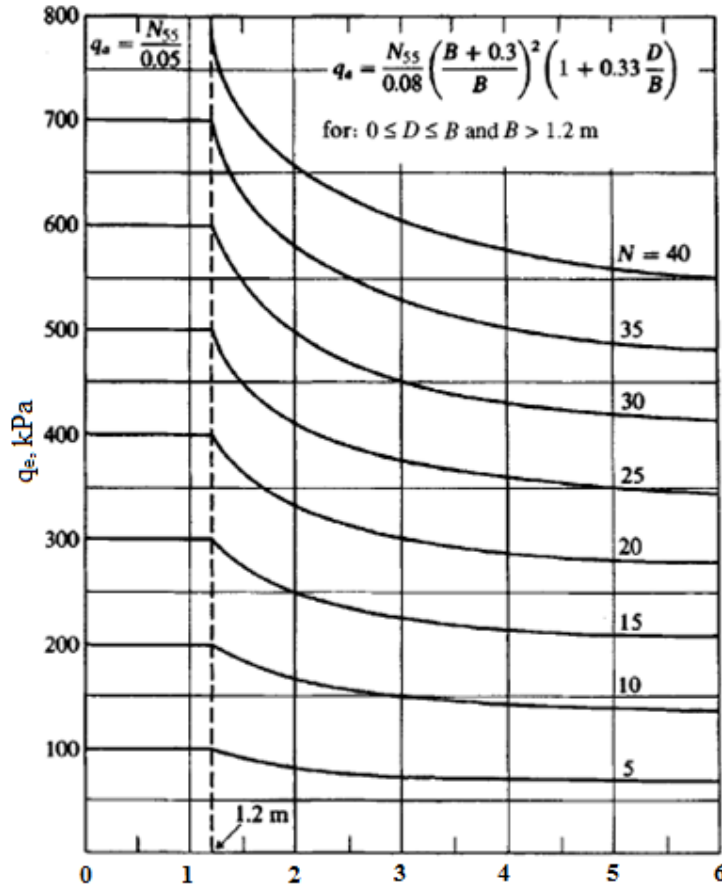
Burada,

q'_e : 25mm'den büyük oturma miktarları için düzeltilmiş emniyetli taşıma gücünü

ΔH_j : Gerçek oturma değerini

ΔH_0 : 25mm oturma değerini

temsil etmektedir.



Şekil 3.9 : Bowles emniyetli taşıma gücü q_e 'nin B ve SPT-N ile değişimi (Bowles, 1996).

3.1.2.1.4 Parry Yöntemi

Parry (1977), kohezyonsuz granüler zeminler için emniyetli taşıma gücü bağıntısını aşağıdaki şekilde vermektedir.

$$q_e = 30 * N_{55} \quad (3.30)$$

Bağıntıda kullanılan N_{55} sayısı, temel tabanından $0,75B$ derinliğine kadar yapılan deney sonuçlarının ortalaması alınarak hesaplanmaktadır.

3.1.2.2 CPT Deneyi ile Taşıma Gücü Hesabı

3.1.2.2.1 Schmertmann Yöntemi

Schmertmann (1978), kohezyonsuz zeminler için aşağıdaki nihai taşıma gücü formüllerini vermektedir (Bowles,1996).

$$q_n = 28 - 0,0052 * (300 - q_c)^{1,5} \quad \text{Şerit temeller} \quad (3.31)$$

$$q_n = 48 - 0,009 * (300 - q_c)^{1,5} \quad \text{Kare temeller} \quad (3.32)$$

Kohezyonlu zeminler için ise;

$$q_n = 2 + 0,28q_c \quad \text{Şerit temeller} \quad (3.33)$$

$$q_n = 5 + 0,34q_c \quad \text{Kare temeller} \quad (3.34)$$

formülleri ile nihai taşıma gücü hesaplanmaktadır. Burada q_c , konik penetrasyon uç direncini göstermektedir.

3.1.2.2.2 Meyerhof Yöntemi

Kum zeminlere oturan yüzeysel temellerin nihai taşıma gücü hesaplamaları için Meyerhof (1956), CPT deney sonuçlarına bağlı aşağıdaki ampirik bağıntıyı geliştirmiştir.

$$q_n = q_c * \left(\frac{B}{C}\right) * \left(1 + \frac{D}{B}\right) \quad (3.35)$$

Burada C , ampirik bir sabit olup 12,2 değeri esas alınmaktadır. Ayrıca, formülde kullanılan q_c , konik penetrasyon uç direnci, temel altından B kadar mesafede ölçülen değerlerin ortalamasıdır. Meyerhof, zemin emniyeti güvenlik faktörünü 3 olarak kabul etmektedir (Lunne ve diğ., 1997).

3.1.2.2.3 Tand ve diğ. Yöntemi

Tand ve diğ. (1995), tarafından tamamen gözlemsel analizlere dayanılarak bir nihai taşıma gücü bağıntısı geliştirilmiştir. Özellikle, orta sıklıktaki kumlarda uygulanan CPT deney sonuçlarını temel alan formül, aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$q_n = R_k * q_c + \sigma_{v0} \quad (3.36)$$

Burada R_k , temel derinlik ve şekil özelliklerine bağlı bir katsayıdır. σ_{v0} ise, temel seviyesindeki yanıl gerilmeyi temsil etmektedir (Lunne ve diğ., 1997).

3.1.2.3 Plaka Yükleme Deneyi ile Taşıma Gücü Hesabı

3.1.2.3.1 Klasik Yöntem

Arazi plaka yükleme deneyi, ASTM D 1194 ile standartlaştırılmıştır. Arazi deneyleri bölümünde, deneyin uygulanma şekli ile ilgili geniş bilgi verilmiştir. Bu yöntemde, kullanılan çelik plakalar, gerçek temel boyutlarında ve uygulanan yük miktarı da, yapı yüküne eşit olduğu taktirde, tüm zemin çeşitleri için nihai taşıma güçleri doğrudan elde edilebilir. Ancak, deney düzeneklerinin sınırlı kapasitede olmasından dolayı, kohezyonsuz zeminlerde bu şartı yerine getirmek mümkün değildir. Kohezyonlu zeminlerde (killer), taşıma gücü temel boyutlarından bağımsız olduğundan taşıma gücü;

$$q_n = q_{nplaka} \quad (3.37)$$

bağıntısı ile elde edilebilir. Burada, q_{nplaka} deneyden elde edilen en büyük yükleme miktarıdır. Kohezyonsuz zeminlerde ise, taşıma gücü aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$q_n = M + N_\gamma B_{temel} / B_{plaka} \quad (3.38)$$

Burada, M , taşıma gücü formüllerinde N_c ve N_q terimleri ile hesap edilen bölümü göstermektedir. Pratikte, kohezyonsuz zeminlerde kohezyon sıfır ve N_q , derinlik faktörü ihmal edilebilir olduğundan nihai taşıma gücü;

$$q_n = q_{nplaka} * B_{temel} / B_{plaka} \quad (3.39)$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir (Bowles, 1996).

3.1.2.3.2 Housel Yöntemi

Housel (1929), farklı plaka boyutları ile en az iki deney yapılarak emniyetli taşıma gücünün elde edilebilmesi için aşağıdaki formülü geliştirmiştir.

$$P_s = A * q_1 + p * q_2 \quad (3.40)$$

Burada;

P_s : Uygulanan deney yükünü

A : Plaka alanını

p : Plaka çevresini

q_1 : plaka içinde oluşacak taşıma basıncını

q_2 : plaka köşesindeki kayma gerilmesini

temsil etmektedir. Yapılan deneyler sonucu, elde edilen yükleme miktarları ve temel boyutları kullanılarak q_1 ve q_2 hesaplanır. Bu değerler ve mevcut temel boyutları dikkate alınarak, temelin taşıyabileceği izin verilebilir yük miktarı belirlenir (Bowles, 1996).

3.1.2.4 Presiyometre Deneyi ile Taşıma Gücü Hesabı

Presiyometre ile taşıma gücü hesabı aşağıdaki şekilde yapılmaktadır (McCarthy,2007).

$$q_n = \sigma_z + k_{bc} * (p_{maks} - \sigma_h) \quad (3.41)$$

Burada;

q_n : Zeminin nihai taşıma gücü

σ_z : Temel seviyesindeki düşey gerilme

σ_h : Temel seviyesindeki yatay zemin gerilmesi

k_{bc} : Temel şekil ve derinliğini dikkate alan katsayı

p_{maks} : Prob sınır basıncı

olarak verilmektedir. k_{bc} , değerleri farklı zemin tipleri için Çizelge 3.10'da görülmektedir.

Çizelge 3.10 : Presiyometre taşıma gücü için, k_{bc} değerleri (McCarthy,2007).

Şerit temeller için, k_{bc} değerleri									
Zemin Tipi	Kum			Silt			Kil		
D/B oranı	0	2	4	0	2	4	0	2	4
p_{maks}									
500	0,8	1,5	1,8	0,8	1,4	1,6	0,8	1,3	1,5
1000	0,8	1,7	2,2	0,8	1,5	1,8	0,8	1,4	1,7
3000	0,8	2,0	2,6	0,8	1,7	2,0	0,8	1,5	1,8
6000	0,8	2,3	3,0						
Kare ve Yuvarlak temeller için, k_{bc} değerleri									
500	0,8	2,2	3,0	0,8	2,1	2,5	0,8	1,9	
1000	0,8	3,0	4,0	0,8	2,3	2,8	0,8	2,2	2,5
3000	0,8	3,7	4,8	0,8	2,5	3,1	0,8	2,4	2,9
6000		0,8	3,9	5,4					

3.1.3 Jeofizik Yöntemler ile Taşıma Gücü Hesap Yöntemleri

Jeofizik yöntemler, laboratuvar ve arazi inceleme yöntemlerine göre daha hızlı ve ekonomik olmaları nedeniyle günümüzde sıklıkla tercih edilmektedir. Zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde, jeofizik yöntemlerle ilgili birçok ampirik çalışma mevcuttur. Özellikle, sismik yöntemler ile bulunan kayma ve basınç dalga hızları ile zeminin taşıma kapasitesi arasındaki ilişkiler, çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmaktadır.

3.1.3.1 Imai ve Yoshimura Taşıma Gücü Hesabı

Imai ve Yoshimura (1976), Japonya'da gerçekleştirdikleri araştırmalar sonucunda nihai taşıma gücü ile kayma dalgası hızı, V_S ve basınç dalgası hızı, V_P arasındaki ilişkiyi aşağıdaki şekilde vermektedir.

$$V_S = 138,3 * q_n^{0,417} \quad (3.42)$$

$$q_n = 10 * V_P^3 \quad (3.43)$$

Burada, dalga hızları km/s cinsinden boyutlandırılmaktadır.

3.1.3.2 Keçeli Taşıma Gücü Hesabı

Keçeli (1990, 2000), zeminin elastik davranış gösterdiğini kabul ederek, nihai taşıma gücü hesabı için aşağıdaki formülü vermektedir.

$$q_n = \frac{T * V_p * \gamma}{40} \quad (3.44)$$

Burada;

T : Zemin hakim titreşim periyodunu

V_p : Basınç dalga hızını

γ : Zemin birim hacim ağırlığını

göstermektedir. Keçeli zemin hakim periyodunu en sağlam kayaç tiplerine göre incelemiş olup, bunların görece zayıf zeminler içinde benzer sonuçlar vereceğini belirtmektedir. Yukarıda verilen formül, 0,4s ve 0,3s hakim titreşim periyodlarına göre irdelenerek sonuçları, Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12’de çeşitli zemin tipleri için verilmiştir.

Çizelge 3.11 : T=0,4s için sismik hızlardan elde edilen nihai taşıma güçleri (Keçeli,1990).

Zemin Cinsi	V _p (m/sn)	V _s (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	q _n (kg/cm ²)
Gabro	4500-6450	2250-3420	2.7-3.5	123.5-225.8
Bazalt	4500-6400	2250-3200	2.7-3.3	121.5-211.2
Diyorit	4500-5760	2250-3060	2.72-2.99	122.4-172.2
Granit	3300-5640	1750-2870	2.5-2.81	82.5-158.4
Şist	3200-5200	1454-2363	2.4-2.9	76.8-150.8
Kireçtaşı	1200-5970	600-2880	1.74-2.9	20.8-173.1
Çamurtaşı	600-1900	300-700	1.6-2.4	9.6-45.6
Sel çakılı	900-2200	250-600	1.8-2.2	16.2-48.4
Çakıl, kuru kum	500-1000	200-300	1.4-2.3	7-23
Gevşek kum	600-1800	150-500	1.3-1.8	7.8-32.4
Alüvyon çakılı	400-1900	100-430	1.5-2.4	6-45.6
Sel kili	500-1800	100-350	1.3-1.8	6.5-32.4
Balçık zemin	100-600	50-200	1.2-1.8	1.2-10.8
Alüvyon kili	300-600	70-130	1.4-2	4.2-12

Çizelge 3.12 : T=0,3s için sismik hızlardan elde edilen nihai taşıma güçleri (Keçeli,1990).

Zemin Cinsi	V_P (m/sn)	V_S (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm³)	q_n (kg/cm²)
Gabro	4500-6450	2250-3420	2.7-3.5	101-188.5
Bazalt	4500-6400	2250-3200	2.7-3.3	101-176
Diyorit	4500-5760	2250-3060	2.72-2.99	101-134.6
Granit	3300-5640	1750-2870	2.5-2.81	70-132
Şist	3200-5200	1454-2363	2.4-2.9	64-126
Kireçtaşı	1200-5970	600-2880	1.74-2.9	17-145
Çamurtaşı	600-1900	300-700	1.6-2.4	8-38
Sel çakılı	900-2200	250-600	1.8-2.2	13-40
Çakıl, kuru kum	500-1000	200-300	1.4-2.3	6-19
Gevşek kum	600-1800	150-500	1.3-1.8	6.5-27
Alüvyon çakılı	400-1900	100-430	1.5-2.4	5-38
Sel kili	500-1800	100-350	1.3-1.8	5-15
Balçık zemin	100-600	50-200	1.2-1.8	35-10
Alüvyon kili	300-600	70-130	1.4-2	1-9

Keçeli, temelin zemin yüzeyinden D kadar derinde olması durumunda, bu etkinin şürşarj etkisi olarak formüle eklenmesini önermektedir. Ayrıca, yeraltı su seviyesi temel tabanından yukarıda olduğunda, nihai taşıma gücü %40-60 oranında azaltılmaktadır. Ancak, emniyetli taşıma gücü hesabında kullanılan güvenlik faktörü, P-dalgasının S-dalgasına oranı olarak kullanılacaksa herhangi bir azaltma yapmaya gerek kalmamaktadır (Keçeli, 2000).

3.1.3.3 Tezcan ve diğ. Taşıma Gücü Hesabı

Tezcan ve diğ. (2006, 2010), yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda kayma dalgası hızlarını kullanarak, nihai taşıma gücü formülünü aşağıdaki gibi vermektedir.

$$q_n = 0,1 * \gamma * V_S \quad (3.45)$$

Terzaghi ve Peck'in (1967) SPT deneyi ile taşıma gücü hesaplamasında dikkate aldıkları temel genişliği–zemin emniyet gerilmesi ilişkisi, Tezcan ve diğ. (2010) tarafından da benimsenmektedir. Bu nedenle, temel genişliğinin 0 ila 12 metre arasında değiştiği durumlarda, β azaltma katsayısı kullanılarak nihai taşıma gücü,

$$q_n = 0,1 * \gamma * V_S * \beta \quad (3.46)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada, β 'nın alabileceği değerler Çizelge 3.13'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.13 : β azaltma katsayısı-B temel genişliği ilişkisi.

β	Değişken Temel Boyutları
1,00	$0 \leq B \leq 1,20$ m
$1,13 - 0,11B$	$1,20 \text{ m} < B \leq 3,00$ m
$0,83 - 0,01B$	$3,00 \text{ m} < B \leq 12,00$ m

Tezcan ve diğ., zeminin suya doygunluk derecesinin değişiminin, kayma dalgası hızı ile hesaplanan nihai taşıma gücünü etkilemeyeceğini belirtmektedir. Buna ek olarak, formülde kullanılan zemin birim hacim ağırlığı γ 'nın, basınç dalgası hızı V_p ile aşağıdaki şekilde hesaplanabileceği kabulü yapılmaktadır.

$$\gamma = \gamma_0 + 0,002 * V_p \quad (3.47)$$

$$\gamma = 3,2 * V_p^{0,25} \quad (3.48)$$

Burada γ_0 , birim ağırlığın referans değerini temsil etmekte olup, değişik zemin tipleri için aldığı değerler Çizelge 3.14'de toplu olarak verilmektedir.

Çizelge 3.14 : Zemin cinsi ile referans birim ağırlık ilişkisi (Tezcan ve diğ., 2010).

Zemin Cinsi	γ_0 (kN/m ³)
Gevşek kum, silt ve killi zeminler	16
Sıkı kum ve çakıllı zeminler	17
Kil taşı, kireç taşı ve konglomera cinsi kayalar	18
Çatlaklı kumtaşı, tuf, grovak ve şist tipi çatlaklı kayalar	19
Sağlam kayalar	20

Ayrıca, zemin emniyetli taşıma gücü, q_e 'yi elde edebilmek için kayma dalgası hızına göre güvenlik katsayısı n ve buna bağlı formüller, Çizelge 3.15'deki gibi kullanılmaktadır.

Çizelge 3.15 : V_s hızına göre, n ve q_e değişimi (Tezcan ve diğ., 2010).

Zemin Cinsi	V_s - aralığı [m/s]	n	q_e [kN/ m ²]
Sert kaya	$V_s \geq 4000$	1.4	$0.071 \gamma V_s$
Zayıf kaya	$750 \leq V_s \leq 4000$	$4.6-0.0008 V_s$	$0.1 \gamma V_s / n$
Diğer zemin tipleri	$750 \geq V_s$	4.0	$0.025 \gamma V_s \beta$

3.1.3.4 Türker Taşıma Gücü Hesabı

Türker'in (1998) nihai taşıma gücü formülü ile ilgili ilk çalışmaları, Keçeli (1990) bağıntılarına benzemektedir. İlerleyen dönemde Türker (2004), zemin hakim titreşim periyodu T 'yi, 0,33 saniye sabit kabul ederek;

$$q_n = \frac{T * V_p * \gamma}{40} + D * \gamma \quad (3.49)$$

formülünü geliştirmiştir.

3.1.3.5 Kurtuluş Taşıma Gücü Hesabı

Kurtuluş (2000), çeşitli sondaj verileri ve kayma dalgası hızlarını kullanarak, nihai taşıma gücü formülü geliştirmiştir. Ayrıca, Krinitzsk (1993) tarafından önerilen, temel derinlik ve genişlik etkilerini dikkate alan arttırım faktörünü P de aynı formülde kullanmaktadır (Pişen ve Pekşen, 2009). Buna göre nihai taşıma gücü aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$q_n = \frac{P * V_s}{200} \quad (3.50)$$

$$P = 1 + 0,33D/B \quad (3.51)$$

Kurtuluş (2009), zemin emniyet gerilmesi hesaplamalarında ise, güvenlik faktörünü 3 olarak dikkate almaktadır.

4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tezcan ve Özdemir (2011), çeşitli şantiyelerde yapılmış 550'nin üzerinde arazi, laboratuvar ve sismik deney sonucunu kullanarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan sondajlarda, SPT deneyleri tatbik edilerek, laboratuvar deneyleri için örselenmemiş numuneler alınmıştır. Bu veriler ile bulunan emniyetli taşıma güçlerini, P ve S dalga hızları kullanılarak elde ettikleri izin verilebilir taşıma güçleriyle kıyaslamışlardır. İnceleme sahalarından üç tanesinde de, arazi yükleme deneyleri yapıldığı belirtilmektedir. Deneylerde, 12,7 mm oturma seviyesine karşılık gelen gerilmenin, emniyetli taşıma gücü olduğu varsayımıyla analiz gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi neticesinde, kayma ve basınç dalgası hızları kullanılarak, zemine ait nihai ve emniyetli taşıma gücünün, yatak katsayısının, çeşitli elastik parametrelerin ve birim hacim ağırlığının doğrulukla hesaplanabileceği belirtilmektedir.

Keçeli (2000) tarafından yapılan çalışmada, sismik hızlardan elde edilen kabul edilebilir taşıma gücü değerleri, Brazilian, nokta yükleme laboratuvar deneyleri ve standart penetrasyon deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda, deneylerden ayrı ayrı elde edilen emniyetli taşıma güçlerinin uyumlu olduğu sonucuna varılmaktadır.

Pişen ve Pekşen (2009), 3 farklı alanda uyguladıkları arazi, laboratuvar ve sismik deney sonuçlarını kullanarak, zemin emniyetli taşıma gücü kıyaslaması yapmışlardır. Bu çalışmada, SPT deneyi, laboratuvar deneyi ve sismik yöntemlerin, birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları değerlendirilerek sonuçlar incelenmektedir.

İyisan (1994), sismik yöntemler yardımıyla zeminin elastik davranış gösterdiği sınırlar içerisinde, elastisite modülü, kayma modülü, poisson oranı ve sönüm oranı gibi özelliklerin elde edilebileceğini belirtmektedir. Bu çalışmada ayrıca, SPT, CPT ve Dinamik Sonda deney sonuçları ile sismik deney sonuçları arasında çeşitli korelasyonlar verilmektedir.

Tatham (1982), kayalardaki çatlaklar, boşluklar ve bunların geometrik özellikleri ile V_P/V_S oranı arasındaki ilişkileri incelemiştir. Araştırmaları sonucunda, basınç ve kayma dalgası hız oranlarının kayada bulunan süreksizlikler ile bağlantılı olduğunu belirtmektedir.

Matthews (1993), çatlaklı kireçtaşının sağlamlık oranını belirlemek için kullandığı jeofizik yöntem ve geniş ölçekli plaka yükleme deneyi sonuçlarının uyumlu olduğunu belirtmektedir.

Sieffert ve Gress (2000) yaptıkları çalışmada, Avrupa Ülkelerinde kullanılan taşıma gücü hesap yöntemlerini incelemiştir. İçsel sürtünme açısı ve kohezyon verileri kullanılarak yapılan analizlerde, ülkelerin tercih ettikleri hesap yöntemlerine göre, şekil, yük eğim, temel eğim gibi faktörler de dikkate alınmaktadır. Sayısal taşıma kapasitesi değerleri, üç farklı laboratuvar deney metodu yardımıyla bulunan sonuçlarla kıyaslanmaktadır.

Castagna ve diğ. (1985), klastik silikat kayaçlardan olan çamurtaşı ve kumtaşlarının suya doygunluk dereceleri ile V_P ve V_S dalga hızları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu kayaçların ihtiva ettikleri silikat ve kil minarel oranlarının sismik hızlar üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Yapılan çalışmada belirtildiği üzere, kuru ve suya doymun klastik silikat kayaçlarda kayma ve basınç dalga hızları arasında lineer bir ilişki bulunmaktadır. Buna göre, kuru kumtaşında V_P/V_S oranı sabit olmakla birlikte, suya doymun kumtaşı ve çamurtaşında V_P hızı arttıkça V_P/V_S oranının azaldığı belirtilmektedir. Ayrıca, su muhteva eden klastik kayaçların içerdiği saf kuartz ve kil mineral miktarlarının, basınç ve kayma dalgası hızları üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmaktadır.

Philips ve diğ. (1989) kumtaşlarında, efektif basınç, porozite ve kil içeriğinin basınç ve kayma dalgası hızları üzerindeki etkisini deneysel olarak inlemiştir. 64 farklı suya doymun kumtaşında yapılan deneylerde, efektif basınç ve sismik dalga hızları ilişkisi kaydedilmiştir. Porozite ve kil içeriğinden bağımsız olarak, farklı kayaç tiplerinde, V_P ve V_S hızlarının efektif basınç ile doğrudan ilişkili olduğu gösterilmektedir. Yine aynı çalışmada, V_P ve V_S dalga hızları ile porozite, kil içeriği ve efektif basınç arasında ampirik bağıntılar verilmektedir.

5. NİHAİ TAŞIMA GÜCÜ ANALİZLERİ

Türkiye genelinde 50 adet zemin araştırması sonucunda elde edilen veriler ile önceki bölümlerde açıklanan nihai taşıma gücü hesap yöntemleri kullanılarak, analizler gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalara esas temel geometrisi şerit (mütemadi) olarak seçilmiştir. Ayrıca, tüm analizlerde temel genişliği 3 m, temel uzunluğu ise 10 m olarak alınmıştır. Temel derinlikleri, zeminden alınan numune kotları dikkate alınarak düzenlenmiştir. Bununla birlikte, yeraltı su seviyeleri sondaj loglarında belirtilen derinliklerde kabul edilmiştir.

Laboratuvarda yapılan mukavemet deneyleri sonucunda elde edilen parametreler, Terzaghi (1943), Meyerhof (1951,1963), Hansen (1970) ve Vesic (1973,1975) tarafından verilen taşıma gücü bağıntılarında kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. İncelenen zeminlere ait, içsel sürtünme açısı, kohezyon ve birim hacim ağırlığı parametreleri ilgili laboratuvar deney sonuçlarından temin edilmiştir. Zemin sınıflamaları ise, Atterberg Limit Deney sonuçları, Elek ve Hidrometre Analiz sonuçları kullanılarak yapılmıştır. Temel derinliğinin, yeraltı su seviyesi altında kaldığı durumlarda, efektif değerler dikkate alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Nihai taşıma gücü analizlerinde, Terzaghi (1943) formüllerinde bulunan temel geometri katsayıları, şerit temeller için verilen değerler dikkate alınarak kullanılmıştır. Meyerhof (1951,1963), Hansen (1970) ve Vesic (1973,1975) formülleri kullanılırken, şekil ve derinlik faktörleri gözönüne alınmıştır. Ancak, Terzaghi formülü kullanılarak elde edilen nihai taşıma gücü değerleriyle kıyaslama yapabilmek amacıyla, yapı yüklemesinin düşey ekseninde olduğu ve temele etkiyen yatay yükleme mevcut olmadığı kabulü ile yük eğim faktörü ve eksantrisite etkileri hesaba katılmamıştır. Buna ek olarak, Hansen ve Vesic formüllerinde bulunan zemin eğim ve temel taban sapma faktörleri de kullanılmamıştır.

Arazide yapılan Standart Penetrasyon Deney sonuçlarından elde edilen SPT-N değerleri, Terzaghi ve Peck (1967), Meyerhof (1974), Bowles (1996) ve Parry (1977) tarafından verilen ampirik formüllerde kullanılarak emniyetli taşıma gücü değerleri elde edilmiştir. Diğer yöntemler kullanılarak elde edilen nihai taşıma güçleri ile kıyaslama yapabilmek amacıyla, bu değerler güvenlik katsayısı 3 alınarak büyütülmüştür. Analize esas SPT-N sayıları, temel seviyesinden itibaren 0,5B yukarıdaki ve 2B aşağıdaki SPT-N değerlerinin ortalaması olarak dikkate alınmıştır. SPT-N değerleri, şahmerdan etkinlik oranı, kuyu çapı, örnek alıcı ve tij uzunluğu düzeltmeleri dikkate alınarak hesaplarda kullanılmıştır. Ayrıca, yeraltı su seviyesi altında kalan ince daneli kum zeminler için boşluk suyu basıncı düzeltmeleri yapılmıştır. Son olarak, temel derinliğinin görece fazla olduğu yerlerde derinlik düzeltmeleri de uygulanmıştır.

Presiyometre deneyinden elde edilen prob sınır basınç değerleri kullanılarak nihai taşıma gücü verileri elde edilmiştir. Bu değerler hesaplanırken, inceleme derinliğindeki jeolojik yüklerde dikkate alınmıştır.

Arazide yapılan sismik deneyler sonucunda temel oturum seviyesinden elde edilen S, kayma dalgası hızları ve P, basınç dalgası hızları, Imai ve Yoshimura (1976), Keçeli (1990, 2000), Türker (1998), Kurtuluş (2000), Tezcan ve diğ. (2006, 2010) tarafından verilen nihai taşıma gücü hesaplamalarında kullanılmıştır. Keçeli ve Türker tarafından geliştirilen formüllerde bulunan birim hacim ağırlık değerleri, laboratuvar deney sonuçlarından elde edilmiştir. Tezcan ve diğ. tarafından verilen formüllerde bulunan birim hacim ağırlık değerleri ise, yine aynı çalışmada verilmiş olan formüllerle, P-dalga hızları kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca, Keçeli tarafından belirtildiği üzere, yeraltı suyu seviyesi altında nihai taşıma gücü %50 oranında azaltılmıştır.

50 adet inşaat sahasından elde edilen 44 adet kayma mukavemeti laboratuvar sonuçları, 46 adet SPT deney sonuçları, 7 adet presiyometre deney sonuçları ve 48 adet sismik deney sonuçları, yukarıda belirtilen analiz yöntemlerinde kullanılarak nihai taşıma gücü değerleri ayrı ayrı elde edilmiştir. Numune numarası dikkate alınarak hazırlanmış mevcut deney sonuçlarına ait liste Çizelge 5.1’de verilmektedir. Bu deneyler sonucunda elde edilen ve analiz yöntemlerinde dikkate alınmış olan zemin değerleri ise sırasıyla Çizelge A.1.1, Çizelge A.1.2 ve Çizelge A.1.3’de toplu şekilde gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 : Arazi, laboratuvar ve sismik deney sonuçları mevcudiyet listesi.

Numune No	Laboratuvar Kayma Mukavemeti Deneyi Sonuçları	SPT Deney Sonuçları	Presiyometre Deney Sonuçları	Sismik Deney Sonuçları
S1	VAR	VAR	YOK	VAR
S2	VAR	YOK	YOK	VAR
S3	VAR	VAR	YOK	VAR
S4	VAR	VAR	YOK	VAR
S5	VAR	VAR	YOK	VAR
S6	VAR	VAR	YOK	VAR
S7	VAR	VAR	YOK	VAR
S8	VAR	VAR	YOK	VAR
S9	VAR	VAR	YOK	VAR
S10	VAR	VAR	YOK	YOK
S11	VAR	VAR	YOK	VAR
S12	VAR	VAR	YOK	VAR
S13	VAR	VAR	YOK	VAR
S14	VAR	VAR	YOK	VAR
S15	VAR	VAR	YOK	VAR
S16	VAR	VAR	YOK	VAR
S17	VAR	VAR	YOK	VAR
S18	VAR	VAR	YOK	VAR
S19	VAR	VAR	YOK	VAR
S20	VAR	VAR	YOK	VAR
S21	VAR	VAR	YOK	VAR
S22	VAR	VAR	YOK	VAR
S23	VAR	VAR	YOK	VAR
S24	VAR	VAR	YOK	VAR
S25	VAR	VAR	YOK	VAR
S26	VAR	VAR	YOK	VAR
S27	VAR	VAR	YOK	YOK
S28	VAR	VAR	YOK	VAR
S29	VAR	VAR	YOK	VAR
S30	VAR	VAR	YOK	VAR
S31	VAR	VAR	YOK	VAR
S32	VAR	VAR	YOK	VAR
S33	VAR	VAR	YOK	VAR
S34	VAR	VAR	YOK	VAR
S35	VAR	VAR	YOK	VAR
S36	VAR	VAR	YOK	VAR
S37	VAR	VAR	YOK	VAR
S38	VAR	VAR	YOK	VAR
S39	VAR	VAR	YOK	VAR
S40	VAR	VAR	YOK	VAR
S41	VAR	VAR	YOK	VAR
S42	VAR	VAR	YOK	VAR
S43	VAR	VAR	YOK	VAR
S44	YOK	YOK	VAR	VAR
S45	YOK	YOK	VAR	VAR
S46	YOK	YOK	VAR	VAR
S47	YOK	VAR	VAR	VAR
S48	YOK	VAR	VAR	VAR
S49	YOK	VAR	VAR	VAR
S50	VAR	VAR	VAR	VAR

6. NİHAİ TAŞIMA GÜCÜ ANALİZ SONUÇLARI

Klasik yöntemler, SPT-N değerleri, presiyometre sonuçları ve sismik yöntemler kullanılarak elde edilen nihai taşıma gücü değerleri Çizelge A.2.1, Çizelge A.2.2 ve Çizelge A.2.3’de toplu olarak gösterilmektedir. Klasik yöntemler kapsamında, Terzaghi (1943), Meyerhof (1951,1963), Hansen (1970) ve Vesic (1973,1975) tarafından verilen formüller kullanılmıştır. SPT-N değerleri, Terzaghi ve Peck (1967), Meyerhof (1974), Bowles (1996) ve Parry (1977) tarafından verilen ampirik formüller ile değerlendirilmiştir. Presiyometre deneyinden elde edilen prob limit değerleri ile incelenen zeminler için nihai taşıma güçleri belirlenmiştir. Sismik yöntemler için Imai ve Yoshimura (1976), Keçeli (1990, 2000), Türker (1998), Kurtuluş (2000), Tezcan ve diğ. (2006, 2010) tarafından geliştirilen analiz yöntemleri ile nihai taşıma güçleri belirlenmiştir. Nihai taşıma güçlerinin birimleri kN/m^2 olarak verilmiş olup, formüllerde kullanılan veriler bunu sağlayacak şekilde düzenlenmiştir.

Çeşitli inşaat sahalarından elde edilen toplam 50 adet sonuç kullanılarak, 41 adet klasik yöntemler, SPT-N veri değerlendirmeleri ve sismik yöntemler ile elde edilen nihai taşıma güçlerinin birlikte kıyaslaması yapılmıştır. Ayrıca, 46 adet klasik yöntemler ile SPT-N veri değerlendirmesi, 42 adet klasik yöntemler ile sismik yöntemler değerlendirmesi, 7 adet presiyometre analizi ile sismik yöntemler değerlendirmesi, 4 adet de presiyometre analizi ile SPT-N değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuçlar arasında, %10’luk sınırlar dahilinde, yaklaşıklık bulunduğu durumlar sırasıyla Çizelge A.2.1 ile Çizelge A.2.3 arasında işaretlenmiştir.

Buna göre, yukarıda bahsedilen analiz yöntemleri kullanılarak elde edilmiş olan nihai taşıma gücü değerleri, numune sırası esas alınarak EK A.2 bölümünde Şekil A.2.1 ile Şekil A.2.50 arasında kıyaslamalı olarak gösterilmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Temellerin, üst yapıdan gelen yükleri güvenli şekilde zemine aktarabilmesinin şartlarından biri olan ve bu şartın sağlanamadığı durumlarda yapıda kalıcı hasarların meydana gelebileceği taşıma gücü şartı son derece önemlidir. Üst yapının ve temellerin güvenilir ve ekonomik tasarlanabilmesi için, nihai taşıma gücü parametrelerinin doğru tespit edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda araştırmacılar, çeşitli yöntemlerden yararlanarak zeminlere ait nihai taşıma güçlerinin belirlenebilmesi için bazı korelasyonlar ortaya koymaktadır. Özellikle, laboratuvar mukavemet deneyleri, arazi deneyleri (sondalar) ve jeofizik yöntemlere ait sonuçlar kullanılarak elde edilen nihai taşıma gücü değerlerinin, zeminlerin gerçek durumunu çok iyi şekilde temsil etmesi gerekmektedir.

Bu hususlar dikkate alınarak, çeşitli inşaat alanlarından elde edilen 50 adet zemin incelemesi sonuçları ile Klasik Yöntemler başlığı altında laboratuvar mukavemet verileri Terzaghi (1943), Meyerhof (1951,1963), Hansen (1970) ve Vesic (1973,1975) tarafından verilen formüllerle, SPT-N değerleri Terzaghi ve Peck (1967), Meyerhof (1974), Bowles (1996) ve Parry (1977) analiz yöntemleri ile, Presiyometre deneyi sonuçları ile, incelenen zeminlere etkiyen jeolojik yüklerde dikkate alınarak, arazi sismik deneylerinden elde edilen dalga hızları Imai ve Yoshimura (1976), Keçeli (1990, 2000), Türker (1998), Kurtuluş (2000), Tezcan ve diğ. (2006, 2010) formüllerinde kullanılarak, nihai taşıma güçleri elde edilerek kıyaslanmıştır. İncelemeler sonucunda elde edilen veriler, istatistiksel sonuçları da içerecek şekilde, zemin tipleri dikkate alınarak aşağıdaki şekilde verilmektedir.

- Klasik yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlar birbirleriyle uyumluluk göstermektedir. Özellikle, Terzaghi tarafından verilen nihai taşıma güçleri, Meyerhof formülleri ile elde edilen değerlere çok yakın sonuçlar vermektedir. Vesic ve Hansen analiz yöntemleri ile hesap edilen değerler de, son derece uyumluluk göstermekle beraber, diğer klasik yöntem sonuçlarına göre nispeten yüksek nihai taşıma gücü değerleri elde edilmektedir.

Ancak, yüksek plasiteli kil zeminlerde, içsel sürtünme açısının sıfır olması nedeniyle, incelenen temel tipleri için elde edilen Vesic ve Hansen taşıma gücü değerleri diğerlerinin yarısı mertebelerine inmektedir. Bunun nedeni, her iki formülde bulunan derinlik faktörlerinin etkisi olarak açıklanabilir.

- Standart Penetrasyon Deney sonuçları dikkate alınarak yapılan analiz sonuçlarına göre, görece düşük SPT-N değerlerinde Terzaghi ve Peck ile Meyerhof tarafından verilen nihai taşıma güçleri uyumluluk göstermektedir. Ancak, düzeltilmiş SPT-N değerleri 25'i aştığında iki sonuç arasında gözle görülür farklar oluşmaktadır. Bununla birlikte, Terzaghi ve Peck ile Meyerhof taşıma gücü formüllerinin fazla güvenli tarafta kaldığı yaklaşımıyla verilen Bowles formüllerine göre elde edilen taşıma güçleri, yaklaşık %50 oranında daha yüksek sonuçlar vermektedir. Bu yaklaşımlar içinde en yüksek sonuçlar ise, Parry formülü kullanılarak elde edilmektedir.
- Sismik yöntemlerde Imai ve Yoshimura formüllerinden elde edilen taşıma gücü değerlerinin kendi içinde büyük farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak, formülde nihai taşıma gücünün basınç dalgası hızının küpü ile orantılı olarak verilmesi gösterilebilir. Basınç dalgası hızlarını kullanarak taşıma gücü hesabı yapan Keçeli ve Türker sonuçlarının, diğer sonuçlara göre son derece yüksek mertebelerde değerler verdiği gözlenmektedir. Sismik dalga hızları ile hesabı gerçekleştirilen Tezcan ve diğ. yönteminde elde edilen nihai taşıma güçlerinin diğer yöntemlerle elde edilen değerlere daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Bir diğer, kayma dalgası hızı ile hesap yapılan Kurtuluş yönteminde, diğer sismik yöntemler ile elde edilen değerlerden düşük nihai taşıma güçleri bulunmaktadır.
- Klasik yöntemler, SPT-N analizleri ve sismik yöntemler ile yapılan nihai taşıma gücü analiz sonuçları 41 adet numune üzerinde kıyaslanmıştır. Kıyaslama yapılırken sonuçların birbirlerine %10'luk yakınlık düzeyi dikkate alınmıştır. Buna göre, klasik yöntemler ile SPT-N analiz sonuçları %90,2 oranında uyumlu bulunmaktadır. Klasik yöntemler ile sismik yöntemler ile elde edilen nihai taşıma gücü değerleri arasında ise %36,6 uyumluluk mevcuttur. Yöntem bazında değerlendirildiğinde, klasik yöntemler ile Meyerhof SPT-N analizi arasında %54, Terzaghi ve Peck hesap yöntemi ile %24'lük bir uyum gözlemlenmektedir.

Ayrıca bu iki yöntemin toplamda %72 gibi yüksek bir uyum değeri aldığı belirlenmiştir. Bowles methodu ile %13 seviyelerinde yakınlık elde edilmiştir.

- Klasik yöntemler ile hesaplanan nihai taşıma gücü değerlerinin, Imai ve Yoshimura, Keçeli ve Türker yöntemleri ile elde edilen sonuçlarla ayrı ayrı %7,1, Tezcan ve diğ. yöntemi ile %16,7'lik uyum gösterdiği görülmektedir.
- 7 adet Presiyometre deney sonucu ile yapılan nihai taşıma gücü değerleri ile yapılan kıyaslamada, Meyerhof SPT-N analiz yöntemi ile %75'lik uyum belirlenmiştir. Sismik yöntemlerle yapılan değerlendirmede ise, Keçeli, Tezcan ve diğ. ve Türker ile ayrı ayrı %14,3'lük uyum bulunmuştur.

Yukarıda yapılan değerlendirmeler, direk gözleme dayanan ve kontrollü deney imkanı sağlaması bakımından klasik yöntemler ile elde edilen sonuçlar temel alınarak yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda, klasik yöntemler ile arazide yapılan SPT ve Presiyometre deney sonuçlarının oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Sismik yöntemlerin ise, bu yöntemler ile elde edilen sonuçlara göre daha büyük aralıklarda değişkenlik gösterdiğini söylemek mümkündür.

Yöntem bazında değerlendirme yapıldığı taktirde, seçilen temel tip ve boyutlarında, klasik yöntemlerin, içsel sürtünme açısı sıfırdan farklı değerler alması durumunda birbirleri ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. İçsel sürtünme açısının olmadığı kohezyonlu zeminlerde, benzer temel tipleri için, Terzaghi ve Meyerhof yöntemleri ile hesaplama yapılmasının daha iyi sonuç vereceği düşünülmektedir. Ancak, yük eğim, temel sapma ve zemin eğim faktörlerini içeren Vesic ve Hansen formülleri ile daha detaylı nihai taşıma gücü analizi gerçekleştirmenin mümkün olduğu da aşikârdır.

Klasik yöntemlerle hesaplanan nihai taşıma gücü değerlerinin, özellikle Meyerhof tarafından verilen SPT deney sonuçları analizi ile son derece uyumlu olduğu görülmektedir. Presiyometre verileri ile yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlar da, Meyerhof SPT-N analizleriyle çok uyumludur. Buna ek olarak, düzeltilmiş SPT vuruş sayısının 25'i geçmediği değerler için Meyerhof ile Terzaghi ve Peck tarafından verilen sonuçların yakın olduğu belirlenmiştir. Bowles tarafından geliştirilen SPT-N analizi sonuçlarının ise, değerlendirilen temel boyut ve tipi için yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür.

Benzer olarak, Parry taşıma gücü analiz metodu da yüksek taşıma gücü değerleri vermektedir.

Sismik yöntemler kullanılarak bulunan nihai taşıma güçlerinin, kendi içinde ve diğer metotlar kullanılarak elde edilen değerlerle yeterince uyumlu olmadığı görülmektedir. Sismik yöntemler içinde, laboratuvar ve arazi deney sonuçlarıyla analiz yapan yöntemlere en yakın sonuçları, kayma dalgası hızlarını kullanarak hesaplama yapan Tezcan ve diğ.'nin geliştirdiği yöntem olduğu söylenebilir. Ancak, bu nihai taşıma gücü değerlerinin, dikkate alınan %10'luk uyumluluk değerlerinin çoğunlukla dışında kaldığı görülmektedir.

Günümüzde jeofizik yöntemler kullanılarak zemin ve kaya parametrelerinin belirlenmesine yönelik birçok araştırma ve çalışma bulunmaktadır. Gerek diğer yöntemlere göre ekonomik olması, gerekse geniş alanlarda hızlı uygulama imkanı sağlaması bakımından ülkemizde jeofizik yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, incelenen temel tipi ve boyutları için sismik yöntemlerle elde edilen nihai ve emniyetli taşıma gücü değerlerine göre yapısal analiz gerçekleştirmek yerine, bu verileri ön inceleme ve fizibilite aşamalarında değerlendirmek faydalı olacaktır. Bu bağlamda, jeofizik yöntemlerin geniş çaplı arazi incelemelerinde, geoteknik çalışmaları kolaylaştırmak ve maliyetleri düşürmek maksatlı kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Sınırlı sayıda laboratuvar, arazi ve sismik deneyler kullanılarak hesaplanan nihai taşıma gücü değerlerinin kıyaslanması ile gerçekleştirilen bu çalışmanın, sonraki çalışmalardan sağlanacak veriler yardımıyla geliştirilmesi daima mümkün olacaktır. Ayrıca, geoteknik amaçlı olarak değişik temel tipleri, boyutları ve zemin çeşitliliği ile daha fazla inceleme gerçekleştirilmesi arzu edilmektedir.

KAYNAKLAR

- ASTM Designation**, 1996: Standard Practice for Determining the Normalized Penetration Resistance of Sands for Evaluation of Liquefaction Potential, D 6066-96, Philadelphia.
- ASTM Designation**, 1998. *Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil*, D 3441-98, Philadelphia.
- ASTM Designation**, 1999: Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling, D 1586-99, Philadelphia.
- ASTM Designation**, 1999: Standard Test Method for Crosshole Seismic Testing, D 4428/D4428M-00, Philadelphia.
- ASTM Designation**, 2000: Standard guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation, D 5777-00, Philadelphia.
- Bowles, J. E.**, 1996: Foundation Analysis and Design, 5th ed., The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Bozkurt, A., Kurtuluş, C.**, 2009: Jeofizik ve Geoteknik Metotlarla Mühendislik Uygulamaları: Yalova’da Arazi Uygulaması, *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 8. Cilt, 2. Sayı, s. 1-14.
- Castagna, J. P., Batzle, M. L., Eastwood R. L.**, 1985: Relationships between compressional-wave and shear-wave velocities in clastic silicate rocks, *Geophysics*. Vol. 50, No. 4, pp. 571-581.
- Clayton, C. R. I., Matthews, M. C., Simons, N. E.**, 1995: Site Investigation, Second ed., Blackwell Science, Oxford.
- Coduto, D. P.**, 2001: Foundation Design: Principles and Practise, *Prentice-Hall Inc.*
- Çinicioglu, S. F.**, 2005: Zeminlerde statik ve dinamik yükler altında taşıma gücü anlayışı ve hesabı, *Seminer*, IMO İstanbul Şubesi.
- Das, B. M.**, 1999: Shallow Foundations Bearing Capacity and Settlements, *CRC Press*.
- İyisan, R.**, 1994: Geoteknik Özelliklerin Belirlenmesinde Sismik ve Penetrasyon Deneylerinin Karşılaştırılması, Doktora Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.
- Keçeli, A.**, 1990. Sismik Yöntemlerle Müsade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması, *Jeofizik*, 4, p. 83-92.
- Keçeli, A.**, 2000. Sismik Yöntemlerle Kabul Edilebilir veya Emniyetli Taşıma Kapasitesi Saptanması, *Jeofizik*, 14, p. 61-72.
- Kumbasar, V., Kip F.**, 1999: Zemin Mekaniği Problemleri, 6. Baskı, *Çağlayan Kitabevi*, Beyoğlu, İstanbul.
- Lee, J., and Salgado R.**, 2005: *Estimation of Bearing Capacity of Circular Footings on Sands Based on Cone Penetration Test*, ASCE, 131, pp. 442-452.

- Luna, R. and Jadi, H.**, 2000. Determination of Dynamic Soil Properties Using Geophysical Methods, *Proceedings of the First International Conference on the Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure*, St. Louis, MO, December.
- Lunne, T., Robertson, P.K., and Powell, J.J.M.**, 1997. Cone penetration testing in geotechnical, E & FN Spon, London.
- McCarthy, D. F.**, 2007. Zemin mekaniğinin esasları ve temeller; temel geoteknik, 7. Baskı, OYTEV, İstanbul.
- Myslivec, A., and Kysela Z.**, 1978: The Bearing Capacity of Building Foundations, *Developments in Geotechnical Engineering 21*, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Özaydın, K.**, 1999: Zemin Mekaniği, *Birsen Yayınevi*, İstanbul.
- Özüdoğru, K., Tan, O., Aksoy İ. H.**, 1997: Çözümlü Problemlerle Zemin Mekaniği, *Birsen Yayınevi*, İstanbul.
- Philips, D. E. Han, D. H. and Zoback, M. D.**, 1989. Empirical relationships among seismic velocity, effective pressure, porosity and clay content in sandstone, *Geophysics*, Vol. 54, No. 1, pp. 82-89.
- Pişen, S. ve Pekşen, E.**, 2009: Sağ Zeminler İçin Farklı Yöntemlerden Elde Edilen Zemin Emniyet Gerilmesi Değerlerinin Karşılaştırılması, *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 8. Cilt, 2. Sayı, s. 36-46.
- Schmertmann, J. H.**, 1978: Guidelines for Cone Penetration Test: Performance and Design, FHWA-TS-78-209, U.S. Dept. of Transportation, pp. 145.
- Sieffert, J. G. and Bay-Gress C.**, 2000: Comparison of the European Bearing Capacity Calculation Methods For Shallow Foundation, *Geotechnical Engineering, Institution of Civil Engineering*, Vol. 143, p. 65-74.
- Sivrikaya, O. ve Toğrol E.**, 2007: Türkiye’de SPT-N Değeri ile İnce Daneli Zeminlerin Drenajsız Kayma Mukavemeti Arasındaki İlişkiler, *IMO Teknik Dergi*, 4229 -4246, Yazı. 279.
- Tatham, R. H.**, 1982: V_p/V_s and lithology. *Geophysics*, Vol. 47, No. 3, pp. 336-344.
- Terzaghi, K.**, 1947: Theoretical Soil Mechanics, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Terzaghi, K., Peck, R. B.**, 1967. Soil Mechanics in Engineering Practise, Second ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Tezcan, S. S. and Özdemir, Z.**, 2011. A Refined Formula for Allowable Soil Pressure Using Shear Wave Velocities, *The Open Civil Engineering Journal*, 5, pp. 1-8.
- Tezcan, S. S., Keçeli A. ve Özdemir, Z.**, 2010: Zemin ve Kayaçlarda Emniyet Gerilmesinin Sismik Yöntem ile Belirlenmesi, *Tübbav Bilim Dergisi*, Cilt. 3, Sayı. 1, s. 1-10.
- Tezcan, S. S., Buket, Z. S.**, 2001: Insitu soil testing for site investigation, *Türkiye Deprem Vakfı*, TDV / KT 018-66.

- Tomlinson, M.**, 1995. Foundation Design and Construction, 6th Edition, Longman, Edinburg Gate, Harlow.
- Uzuner, B. A.**, 2000. Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Vesic, A. S.**, 1967: *A Study of Bearing Capacity of Deep Foundation*, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia.
- Url-1** <<http://www.epccn.com/gds/support/pdf/India%20Paper.pdf>>, alındığı tarih 03.11.2010.

EKLER

EK A.1 : Analize Esas Zemin Parametreleri

EK A.2 : Hesaplanan Nihai Taşıma Gücü Değerleri Toplu Gösterimleri

EK A.1**Çizelge A.1.1 : S1-S23 numuneleri analize esas zemin parametreleri.**

Numune No	Temel Derinliği (m)	Zemin Cinsi	Kohezyon C (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı, Φ ($^{\circ}$)	Birim Hacim Ağırlığı, γ (kN/m ³)	Y.A.S Seviyesi (m)	N ₃₀	Presiyometre Sınır Basıncı (kN/m ²)	Basınç Dalgası Hızı V _P (m/sn)	Kayma Dalgası Hızı V _S (m/sn)
S1	3	Siltli Kumlu Kil	76,20	5,3	19,0	6,0	28,25	-	1062	559
S2	4	Siltli Kumlu Kil	58,16	8,4	19,0	YOK	-	-	995	435
S3	3	K. Siltli Kil	48,00	9,0	18,70	YOK	47,33	-	625	290
S4	2,5	K. Siltli Kil	32,11	8,0	20,72	YOK	13,33	-	715	410
S5	2,5	K. Siltli Kil	33,85	2,0	19,16	4,5	11,00	-	317	161
S6	2	K. Siltli Kil	84,65	5,0	19,11	7,0	27,00	-	607	310
S7	1,5	K. Siltli Kil	31,79	2,0	20,33	2,0	3,75	-	500	200
S8	1,5	K. Siltli Kil	50,94	5,0	20,27	YOK	18,25	-	681	502
S9	2,5	K. Siltli Kil	36,00	3,0	20,70	1,5	12,50	-	332	140
S10	3	Kumlu Kil	94,00	6,0	20,10	YOK	39,00	-	-	-
S11	3	Kumlu Kil	55,00	6,0	16,70	8,0	15,00	-	465	200
S12	2	Kumlu Kil	76,20	7,0	21,55	YOK	36,70	-	605	240
S13	2	Kumlu Kil	73,67	7,0	19,45	YOK	28,50	-	1380	730
S14	3	Kumlu Kil	62,00	5,0	19,50	YOK	26,50	-	619	229
S15	3	Kumlu Kil	53,00	3,0	18,90	7,0	25,75	-	396	282
S16	3	Y.P. Kil	73,00	0,0	19,80	YOK	24,75	-	600	400
S17	3	Y.P. Kil	55,00	0,0	19,80	YOK	21,75	-	520	380
S18	3	Y.P. Kil	44,71	0,0	18,44	1,5	28,75	-	1616	453
S19	2,5	Y.P. Kil	51,88	0,0	20,18	3,0	18,33	-	540	200
S20	2,5	Y.P. Kil	69,00	0,0	18,18	YOK	34,75	-	462	238
S21	2,5	Y.P. Kil	49,00	0,0	18,70	YOK	23,50	-	300	170
S22	3	Y.P. Kil	48,58	0,0	19,89	6,0	28,50	-	915	400
S23	2	Y.P. Kil	74,74	0,0	19,25	YOK	21,67	-	990	400

Çizelge A.1.2 : S24-S45 numuneleri analize esas zemin parametreleri.

Numune No	Temel Derinliği (m)	Zemin Cinsi	Kohezyon C (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı, Φ (°)	Birim Hacim Ağırlığı, γ (kN/m ³)	Y.A.S Seviyesi (m)	N ₃₀	Presiyometre Sınır Basıncı (kN/m ²)	Basınç Dalgası Hızı V _P (m/sn)	Kayma Dalgası Hızı V _S (m/sn)
S24	1,5	Y.P. Kil	53,82	0,0	15,91	YOK	25,50	-	940	400
S25	2,5	Y.P. Kil	80,39	0,0	20,92	YOK	24,50	-	684	336
S26	4,5	Y.P. Kil	180,00	0,0	20,20	YOK	37,20	-	1349	665
S27	4,5	Y.P. Kil	92,00	0,0	19,80	YOK	44,75	-	-	-
S28	2,5	Ç. Kumlu Kil	83,62	5,0	21,57	YOK	36,00	-	676	335
S29	2,5	Az Çakıllı Kumlu Kil	63,08	8,0	22,43	YOK	32,75	-	679	352
S30	1,5	Az Çakıllı Kumlu Kil	75,78	6,0	19,62	YOK	37,67	-	458	240
S31	3	Az Çakıllı Kumlu Kil	73,73	6,0	21,25	YOK	32,75	-	870	410
S32	2,5	Az Çakıllı Kumlu Kil	79,44	7,0	18,87	YOK	34,50	-	380	260
S33	1,5	Az Çakıllı Kumlu Kil	75,78	6,0	19,63	YOK	37,70	-	385	210
S34	3	Az Çakıllı Kumlu Kil	73,73	6,0	21,25	YOK	39,33	-	870	410
S35	4	Az Çakıllı Kumlu Kil	74,24	6,0	20,71	7,5	21,50	-	694	352
S36	2,5	Siltli Kil	87,16	3,0	21,27	6,0	25,25	-	633	313
S37	2	Siltli Kil	55,00	6,0	20,34	YOK	32,67	-	387	180
S38	3	Siltli Kil	51,00	6,0	19,40	YOK	23,00	-	1006	488
S39	1,5	Çakıllı Kumlu Siltli Kil	55,00	7,0	17,98	YOK	33,30	-	610	330
S40	3	Siltli Kum	14,00	19,0	18,90	YOK	39,67	-	509	304
S41	2,5	Siltli Killi Kum	12,50	19,0	18,74	3,0	29,00	-	381	194
S42	3	Çakıllı Killi Kum	15,83	29,0	21,07	YOK	45,00	-	840	380
S43	3	Çakıl Kum Karışımı	19,26	27,0	19,63	YOK	50,00	-	740	330
S44	3	Moloz Bloklı Siltli Kum	-	-	19,00	YOK	-	975	346	180
S45	3	Moloz Bloklı Siltli Kum	-	-	19,00	YOK	-	650	385	241

Çizelge A.1.3 : S46-S50 numuneleri analize esas zemin parametreleri.

Numune No	Temel Derinliği (m)	Zemin Cinsi	Kohezyon C (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı, Φ ($^{\circ}$)	Birim Hacim Ağırlığı, γ (kN/m ³)			Y.A.S Seviyesi (m)	N_{30}	Presiyometre Sınır Basıncı (kN/m ²)	Basınç Dalgası Hızı V_p (m/sn)	Kayma Dalgası Hızı V_s (m/sn)
S46	3	Moloz Bloklu Siltli Kum	-	-	19,00	YOK	-	775		412		270
S47	1,5	Çakıllı Kumlu Kil	-	-	18,00	YOK	35	800		830		390
S48	1,5	Çakıllı Kumlu Kil	-	-	18,00	YOK	48	1010		860		385
S49	6	Çakıllı Killi Siltli Kum	-	-	17,67	3,0	16	380		1305		410
S50	6	Az Çakıllı Kumlu Siltli Kil	33,5	5,0	19,24	2,2	10	570		890		185

EK A.2

Çizelge A.2.1 : S1-S13 nihai taşıma gücü toplu sonuçları.

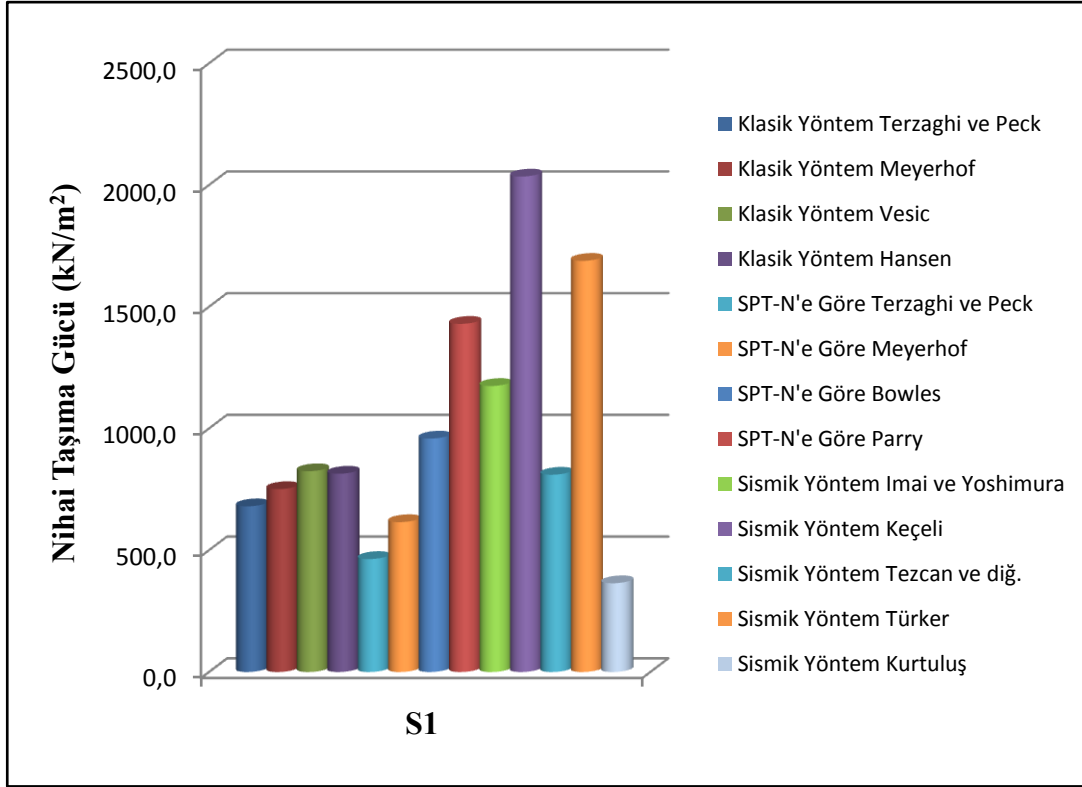
Numune No	Zemin Cinsi	Klasik Yöntem				SPT-N'e Göre				PMT	Sismik Yöntem				
		Terzaghi ve Peck	Meyerhof	Vesic	Hansen	Terzaghi ve Peck	Meyerhof	Bowles	Parry		Imai ve Yoshimura	Keçeli	Tezcan ve diğ.	Türker	Kurtuluş
S1	S.Kumlu Kil	680,7*	751,4*	824,8**	814,7**	464,2	615,6*	959,0	1430,2	-	1175,0	2035,4	810,5**	1689,0	364,7
S2	S.Kumlu Kil	714,8*	801,9	840,1	823,1	-	-	-	-	-	966,4	1929,1	626,1*	1604,6	307,2
S3	Kumlu Siltli Kil	603,1	642,3	720,2**	702,0**	779,7**	1031,4	1606,7	2396,1	-	239,5	1201,6	400,2	1000,9	189,2
S4	Kumlu Siltli Kil	419,0*	424,0*	476,2*	458,7*	220,5	290,5	433,8*	674,8	-	358,6*	1504,1	571,7	1249,8	256,4
S5	Kumlu Siltli Kil	276,9*	295,5*	319,1**	315,5**	181,9	239,7*	358,0**	556,9	-	31,2	642,8	214,2*	538,6	100,7
S6	Kumlu Siltli Kil	698,0*	736,1*	774,6*	765,1*	443,5	588,4	870,4	1366,9	-	219,4	1175,4	426,9	976,3	185,5
S7	Kumlu Siltli Kil	243,0*	247,1*	257,0*	253,2*	198,5	261,5*	356,8	607,5	-	122,6	1027,1	272,0*	852,6	114,3
S8	Kumlu Siltli Kil	438,7*	442,6*	461,2*	451,1*	301,7	397,7*	542,7	923,9	-	309,8	1384,0	697,3	1147,0	286,9
S9	Kumlu Siltli Kil	283,4*	278,5*	327,7*	323,8*	206,7	272,4*	406,8	632,8	-	35,9	362,5*	186,6	607,0	87,6
S10	Kumlu Kil	854,7*	947,2	1036,4	1024,3	642,0	849,9*	1323,9	1974,4	-	-	-	-	-	-
S11	Kumlu Kil	531,5*	580,4*	640,8	630,7	248,1	326,9	509,2*	759,4	-	98,6	810,9	270,9	677,6	130,5
S12	Kumlu Kil	732,0*	761,7*	805,6*	790,1*	603,9	799,7*	1142,8	1857,9	-	217,2	1321,3	330,4	1097,5	143,6
S13	Kumlu Kil	700,5*	730,9*	771,5	757,5	468,3	621,1*	887,4	1442,8	-	2578,1	2671,3	1095,6	2210,5	436,8

Çizelge A.2.2 : S14-S33 nihai taşıma gücü toplu sonuçları.

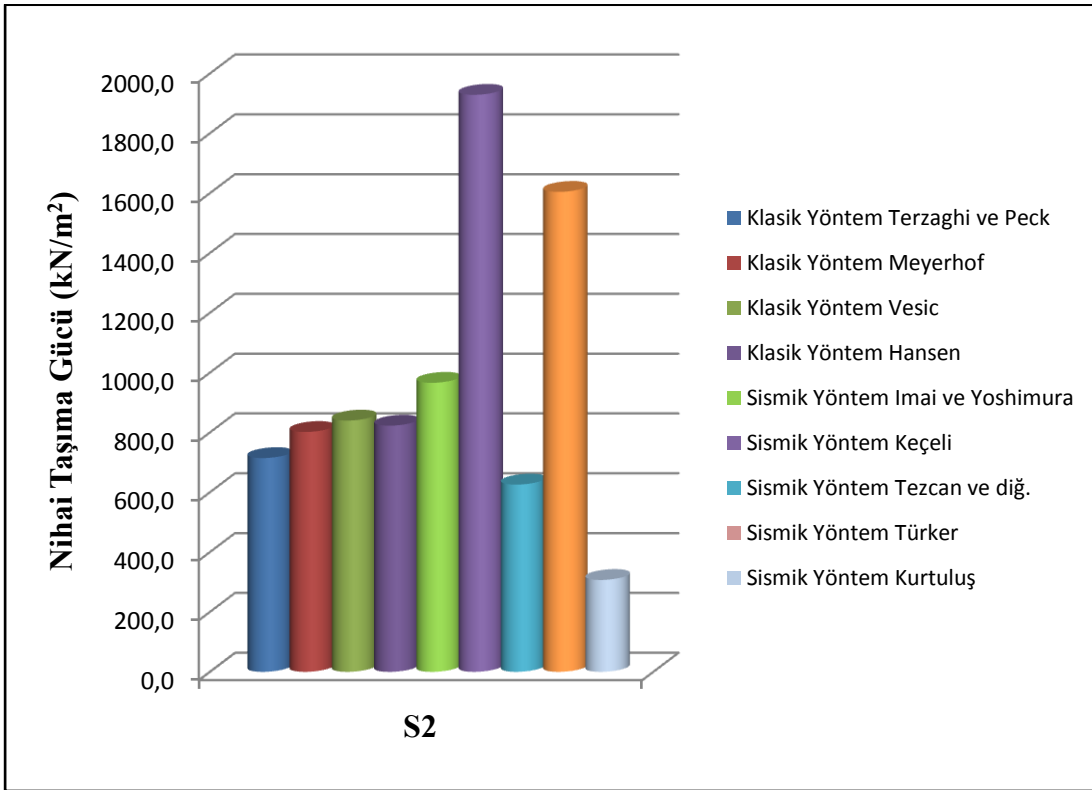
Numune No	Zemin Cinsi	Klasik Yöntem				SPT-N'e Göre				PMT	Sismik Yöntem				
		Terzaghi ve Peck	Meyerhof	Vesic	Hansen	Terzaghi ve Peck	Meyerhof	Bowles	Parry		Imai ve Yoshimura	Keçeli	Tezcan ve diğ.	Türker	Kurtuluş
S14	Kumlu Kil	565,4*	618,9*	682,6	673,0	435,4	577,5*	899,6	1341,6	-	232,7	1241,5	315,8	1034,3	194,4
S15	Kumlu Kil	435,4*	478,7*	526,3**	520,9**	423,0*	561,1**	874,1	1303,6	-	60,9	789,8	378,8	661,4	184,0
S16	Y.P. Kil	475,5*	536,7**	209,5	209,5	406,9*	539,3**	840,2	1253,0	-	211,9	1223,7	550,4**	1019,7	260,9
S17	Y.P. Kil	372,9*	419,0**	172,5	172,5	358,4*	474,0**	738,3	1101,1	-	137,9	1068,3	518,0	891,6	247,9
S18	Y.P. Kil	310,2*	347,6	147,2	147,2	472,5	626,5	976,0	1455,5	-	4139,9	1488,8	697,0	2466,0	295,5*
S19	Y.P. Kil	346,2*	380,2**	139,3	139,3	303,0*	399,4**	596,5	928,0	-	154,5	1118,5	273,3	931,4	125,1
S20	Y.P. Kil	438,8*	484,0*	163,7	163,7	571,7	757,3	1130,8	1759,2	-	96,7	868,5	322,2	724,4	148,8
S21	Y.P. Kil	326,1*	358,2*	130,7	130,7	386,7*	512,1	764,7	1189,7	-	26,5	596,2	225,8	499,9	106,3
S22	Y.P. Kil	336,6*	377,3*	159,6	159,6	468,3	621,1	967,5	1442,8	-	751,5	1843,9	570,6	1531,5	260,9
S23	Y.P. Kil	464,5*	500,0*	140,9	140,9	357,1	472,2*	674,8	1097,0	-	951,9	1907,3	575,4	1580,1	239,4
S24	Y.P. Kil	336,0*	351,8*	84,6	84,6	419,0*	555,7	758,2	1290,9	-	814,8	1826,9	572,2	1512,2	228,6
S25	Y.P. Kil	510,5*	563,3*	190,0	190,0	402,9	533,9*	797,3	1240,3	-	313,9	1455,0	466,9*	1209,4	210,1
S26	Y.P. Kil	1116,9*	1365,8	646,0	646,0	694,2	1032,7*	1608,7	2134,4	-	2408,3	2762,4	994,7*	2294,6	487,6
S27	Y.P. Kil	835,9*	990,8	1007,3	997,5	835,8*	1242,3	1935,2	2567,5	-	-	-	-	-	-
S28	Ç.K. Kil	718,0*	773,9*	833,6	822,9	592,4	784,5*	1171,5	1822,5	-	303,0	1483,3	465,0	1233,0	209,5
S29	Ç.Kumlu Kil	697,2*	733,2*	799,7	780,8	538,6	713,7*	1065,8	1658,0	-	307,1	1549,1	488,8	1287,6	220,1
S30	Ç.Kumlu Kil	657,4*	669,7	690,8	678,9	620,0*	820,9	1120,1	1907,0	-	94,2	910,4	324,8	756,1	137,1
S31	Ç.Kumlu Kil	705,3*	772,1	851,1	838,2	538,6	713,7*	1111,7	1658,0	-	646,0*	1876,2	581,9	1558,8	267,5
S32	Ç.Kumlu Kil	763,5*	820,5	882,2	868,6	567,5	751,8*	1122,7	1746,6	-	53,8	749,7*	348,6	626,6	162,6
S33	Ç.Kumlu Kil	657,5*	669,7*	690,8*	678,9*	620,6*	821,5	1121,0	1908,6	-	56,0	770,3	281,7	640,5*	120,0

Çizelge A.2.3 : S34-S50 nihai taşıma gücü toplu sonuçları.

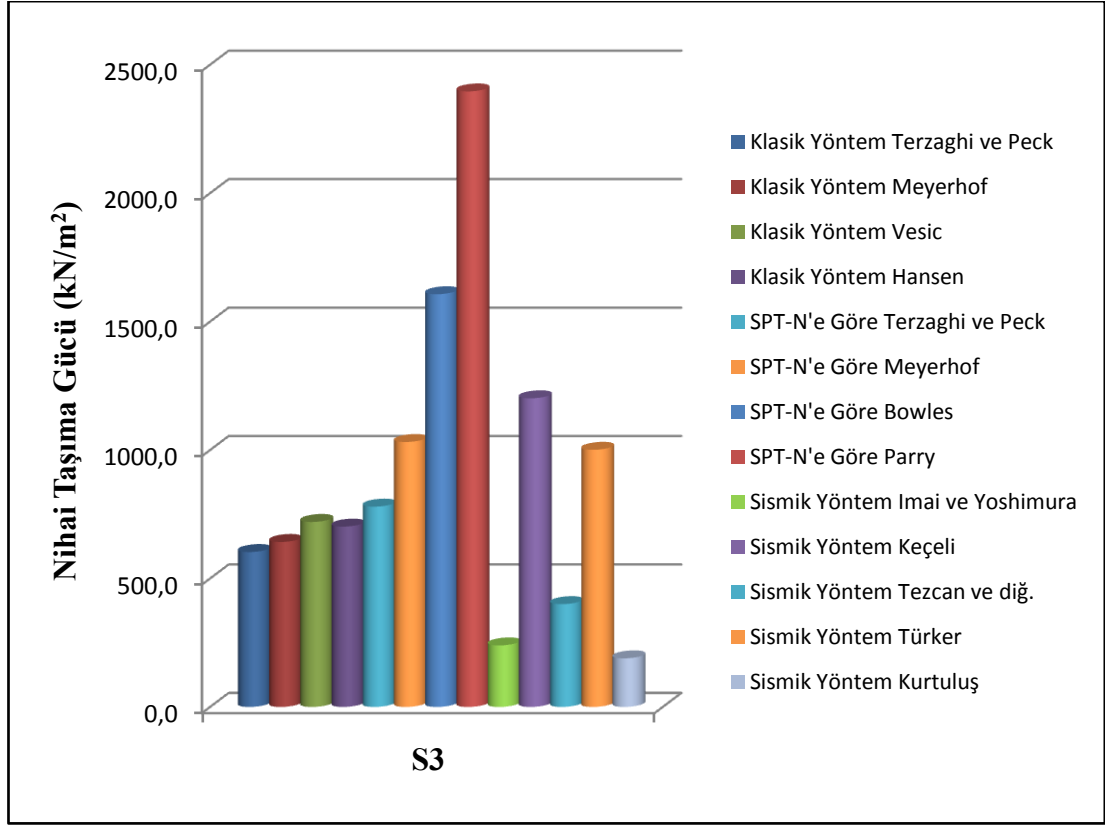
Numune No	Zemin Cinsi	Klasik Yöntem				SPT-N'e Göre				PMT	Sismik Yöntem				
		Terzaghi	Meyerhof	Vesic	Hansen	Terzaghi ve Peck	Meyerhof	Bowles	Parry		Imai ve Yoshimura	Keçeli	Tezcan ve diğ.	Türker	Kurtuluş
S34	Ç.Kumlu Kil	705,3**	772,1**	851,1*	838,2*	647,3	857,1*	1335,1	1991,1	-	646,0**	1876,2	581,9	1558,8	267,5
S35	Ç.K.Kil	743,4*	849,5**	878,5**	866,0**	354,2	507,3	790,2*	1088,4	-	327,9	1491,2	489,6	1244,5	248,6
S36	Siltli Kil	672,2	748,3	819,5**	813,4**	415,7	550,2	857,1**	1278,3	-	248,8	1383,4	432,3	1152,3	204,2
S37	Siltli Kil	517,9*	535,1*	570,0	555,7*	537,4*	711,9	1017,3	1653,9	-	56,9	812,1	241,5	677,0	107,7
S38	Siltli Kil	517,8*	559,0*	621,4	609,7	378,7	501,2*	780,8	1164,4	-	998,8	1971,7	703,2	1636,6	318,4
S39	Ç.Kumlu Siltli Kil	522,8*	526,6*	546,7*	533,8*	547,7*	725,7	990,2	1685,8	-	222,7	1102,4	454,6	914,1	188,6
S40	Siltli Kum	736,4	758,4	866,2*	808,8*	652,9	864,5*	1346,6	2008,3	-	129,4	999,4	413,9	834,2*	198,3
S41	S.K.Kum	644,5*	641,3*	725,9	669,5*	476,6	632,0*	943,7	1468,1	-	54,3	746,4	260,1	623,8*	121,3
S42	Ç.Killi Kum	2352,8*	2545,6*	2724,2	2515,4*	906,6	1198,5	1867,0	2784,4*	-	581,4	1798,3	537,5	1494,4	247,9
S43	Çakıl Kum	1886,7	2035,7*	2188,9	2038,6*	989,3	1307,5	2036,8*	3037,5	-	397,5	1482,8	461,5	1233,4	215,3
S44	Molozlu S. Kum	-	-	-	-	-	-	-	-	1010,9	40,6	672,9	240,4	560,0	102,9
S45	Molozlu S. Kum	-	-	-	-	-	-	-	-	657,9*	56,0	745,6	323,3	620,0*	137,7
S46	Molozlu S. Kum	-	-	-	-	-	-	-	-	791,2*	68,6	795,9*	363,4	661,5	154,3
S47	Ç.K. Kil	-	-	-	-	652,9	864,4*	1179,5	2008,1	766,0*	560,9	1492,1	551,0	1235,6	222,9
S48	Ç.K. Kil	-	-	-	-	790,8	1046,0*	1427,3	2430,0	973,4*	624,0	1545,1	545,8	1279,3	220,0
S49	Ç.K.Siltli Kum	-	-	-	-	299,8	493,2*	768,3	918,0	589,0*	2180,2	1183,1	610,4*	1970,3	333,8
S50	Ç.K.Siltli Kum	387,2*	343,4*	468,9	460,2	187,4	308,2*	480,2	573,8	775,5	691,6	896,5	263,1	1499,1	150,6



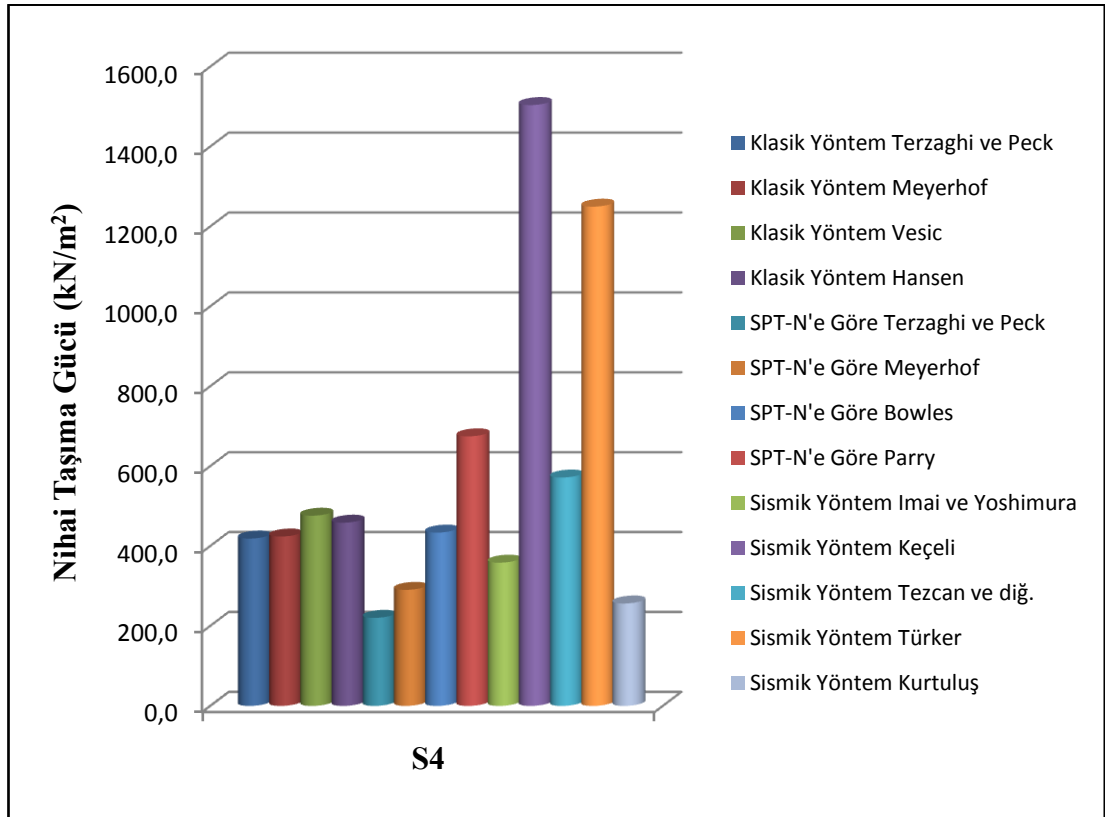
Şekil A.2.1 : S1 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



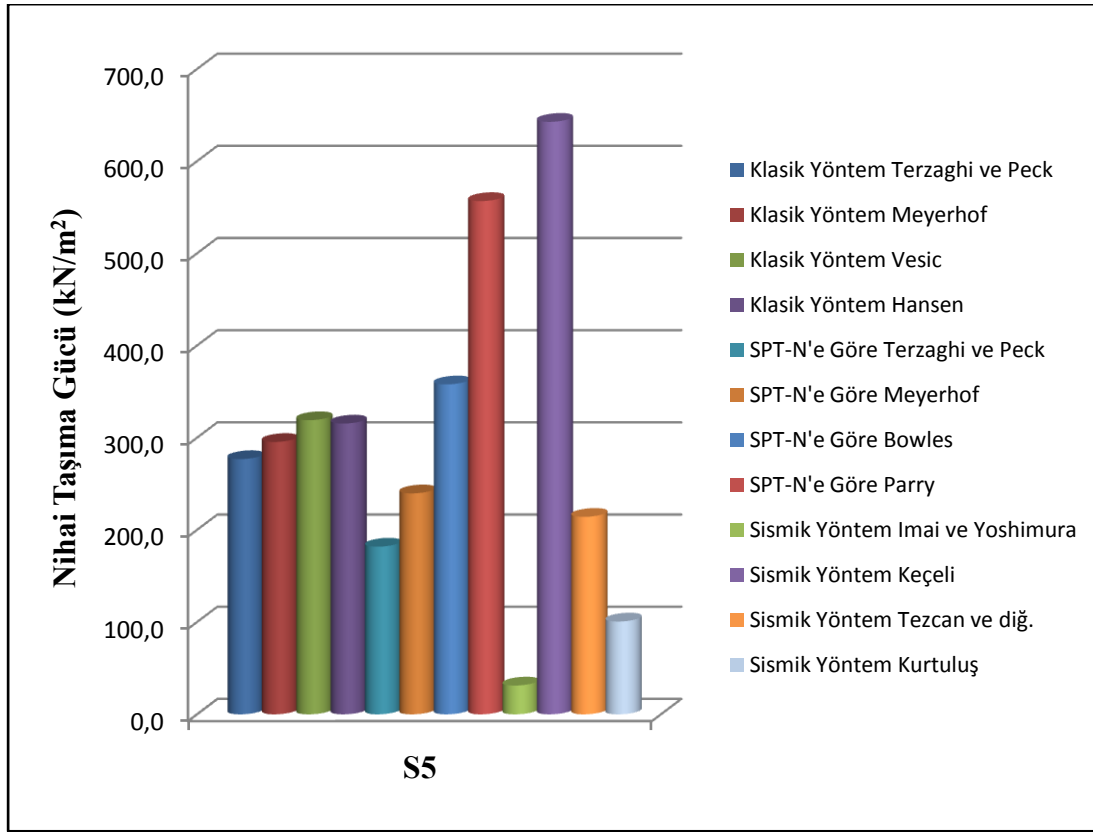
Şekil A.2.2 : S2 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



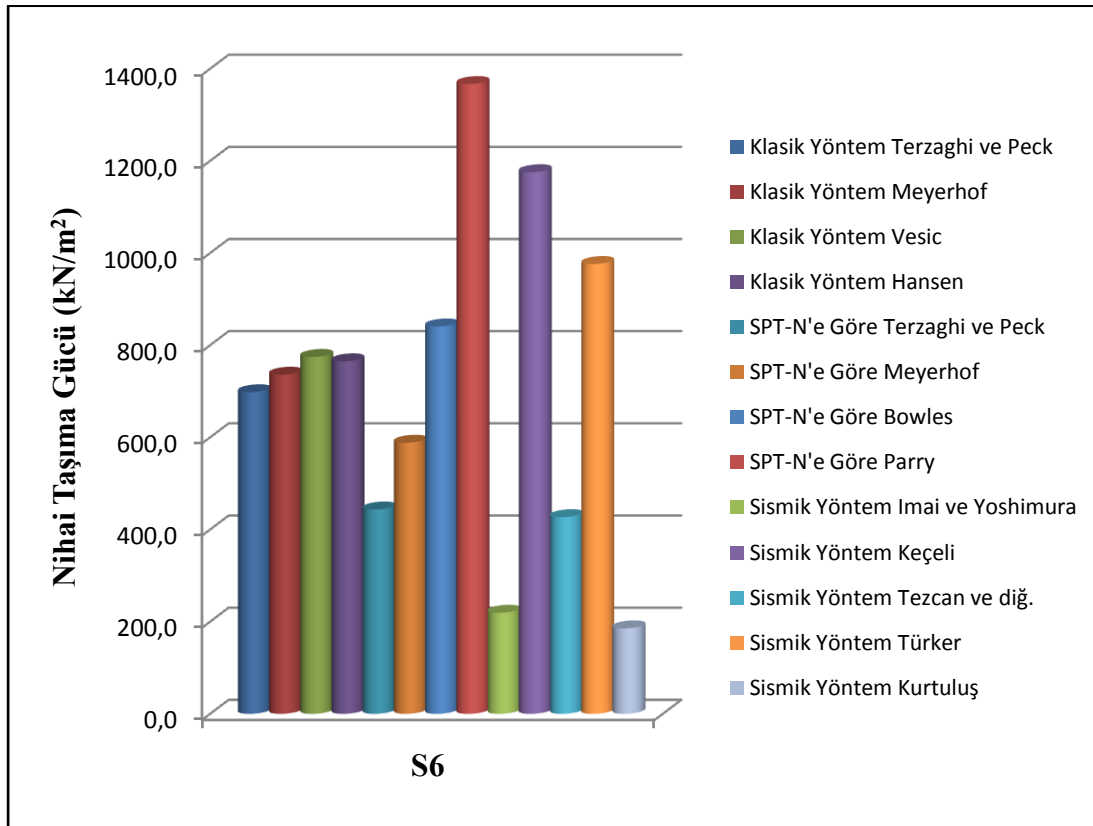
Şekil A.2.3 : S3 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



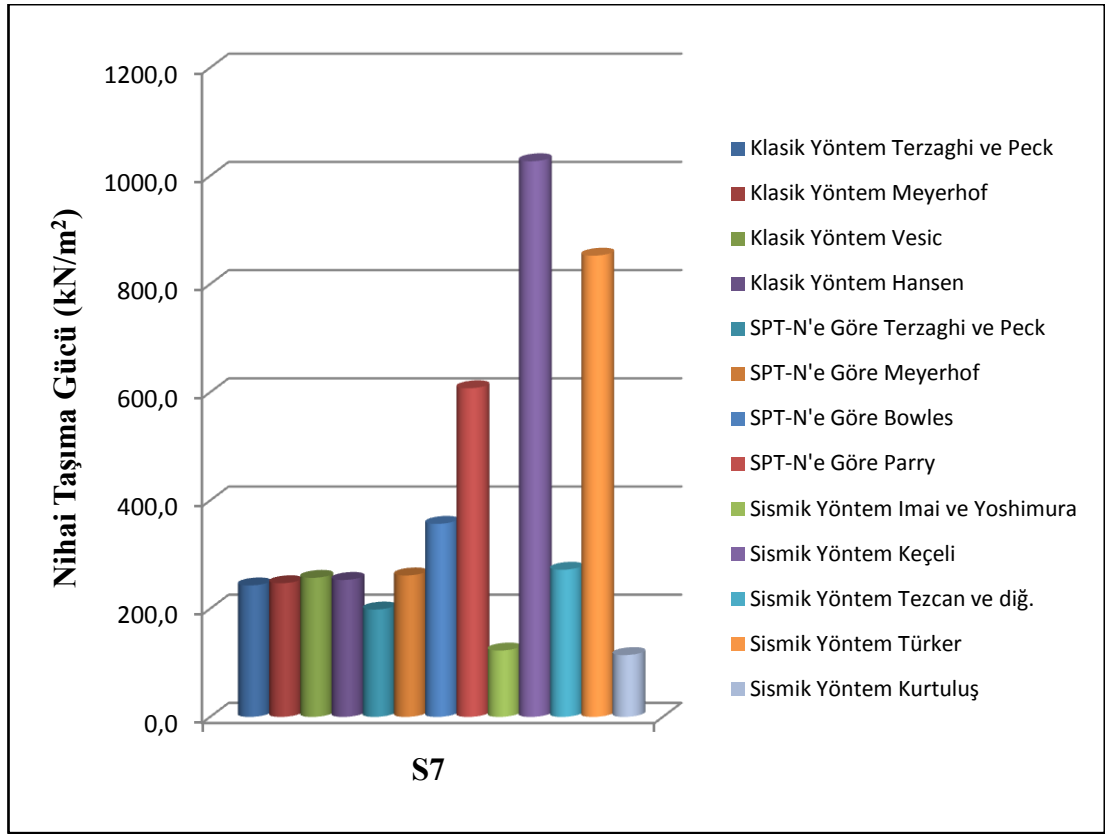
Şekil A.2.4 : S4 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



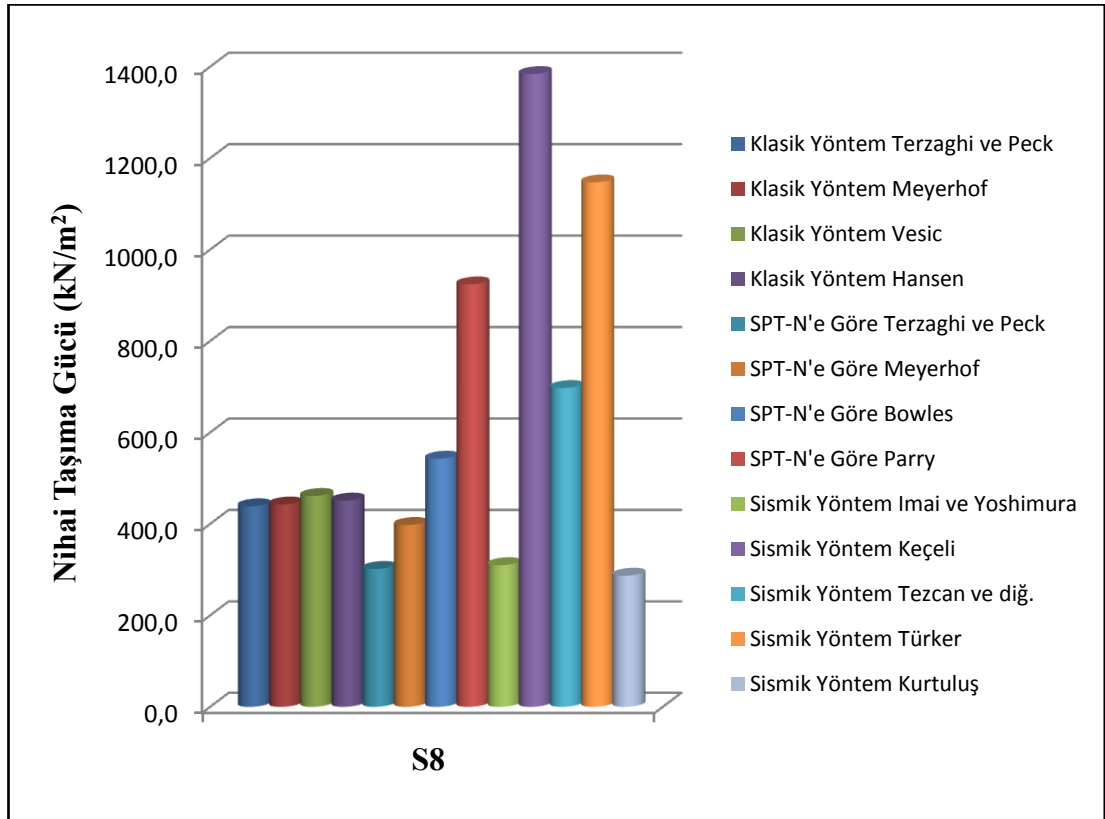
Şekil A.2.5 : S5 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



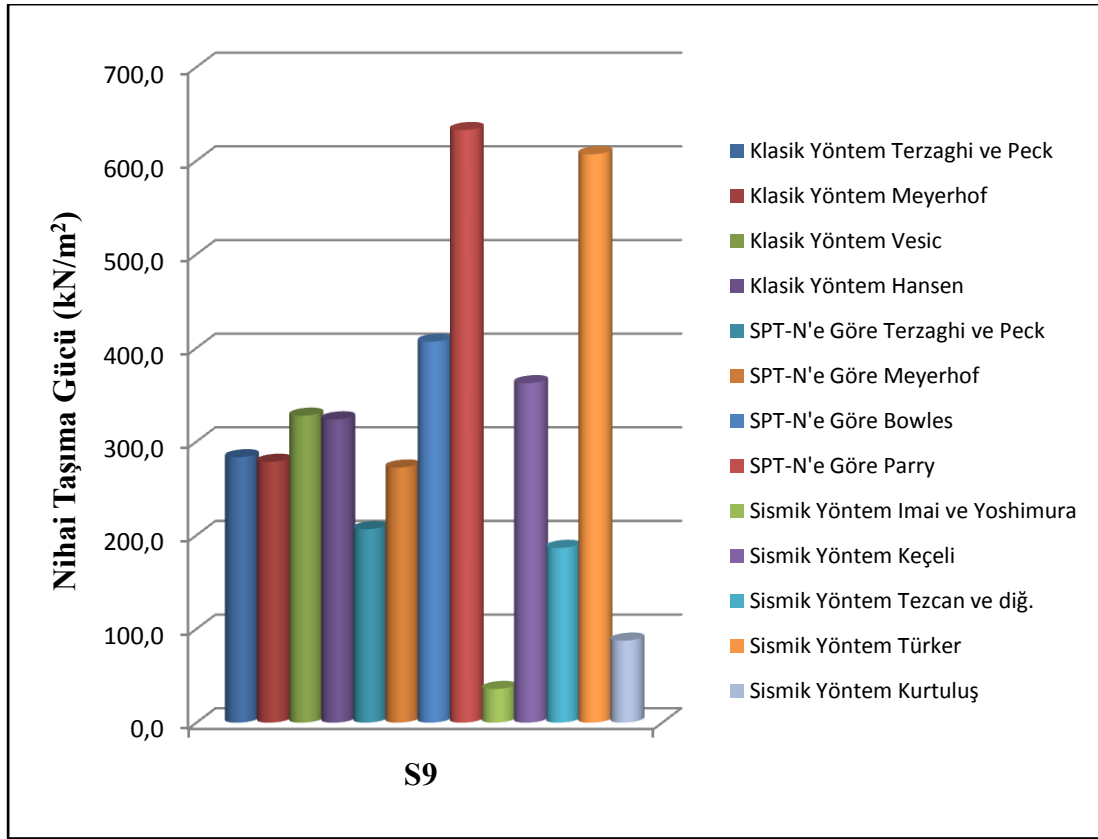
Şekil A.2.6 : S6 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



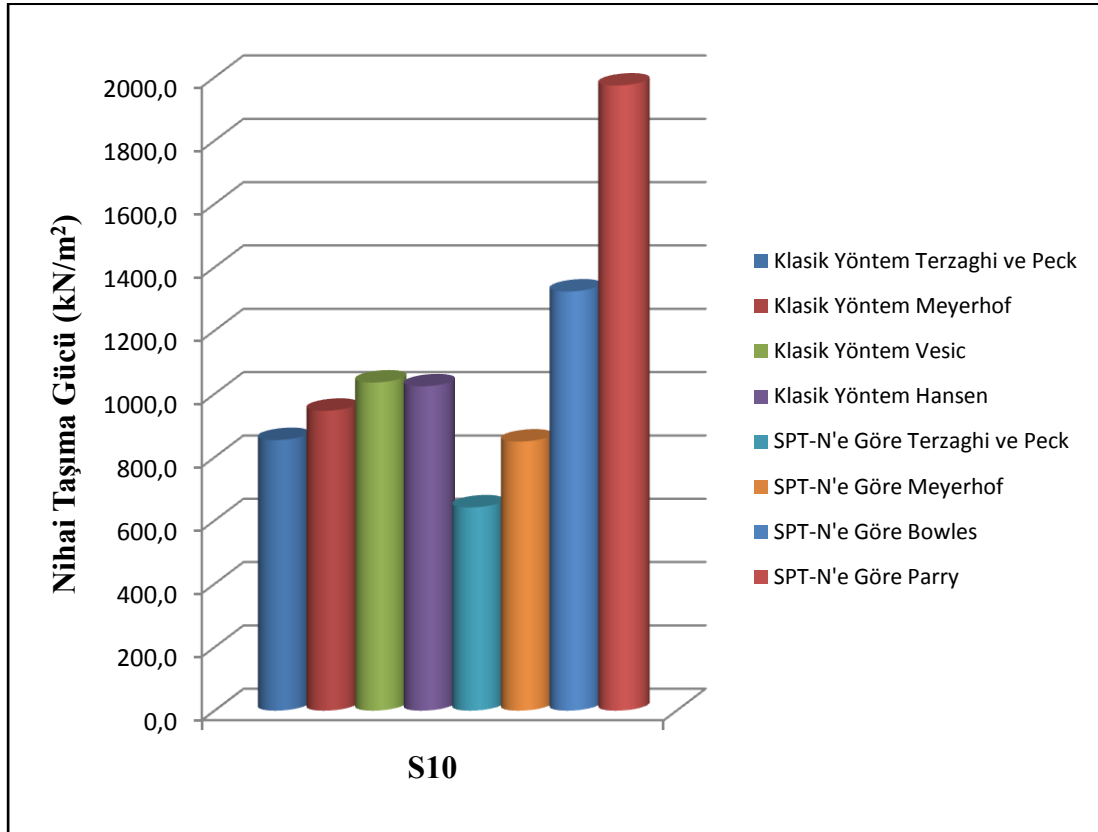
Şekil A.2.7 : S7 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



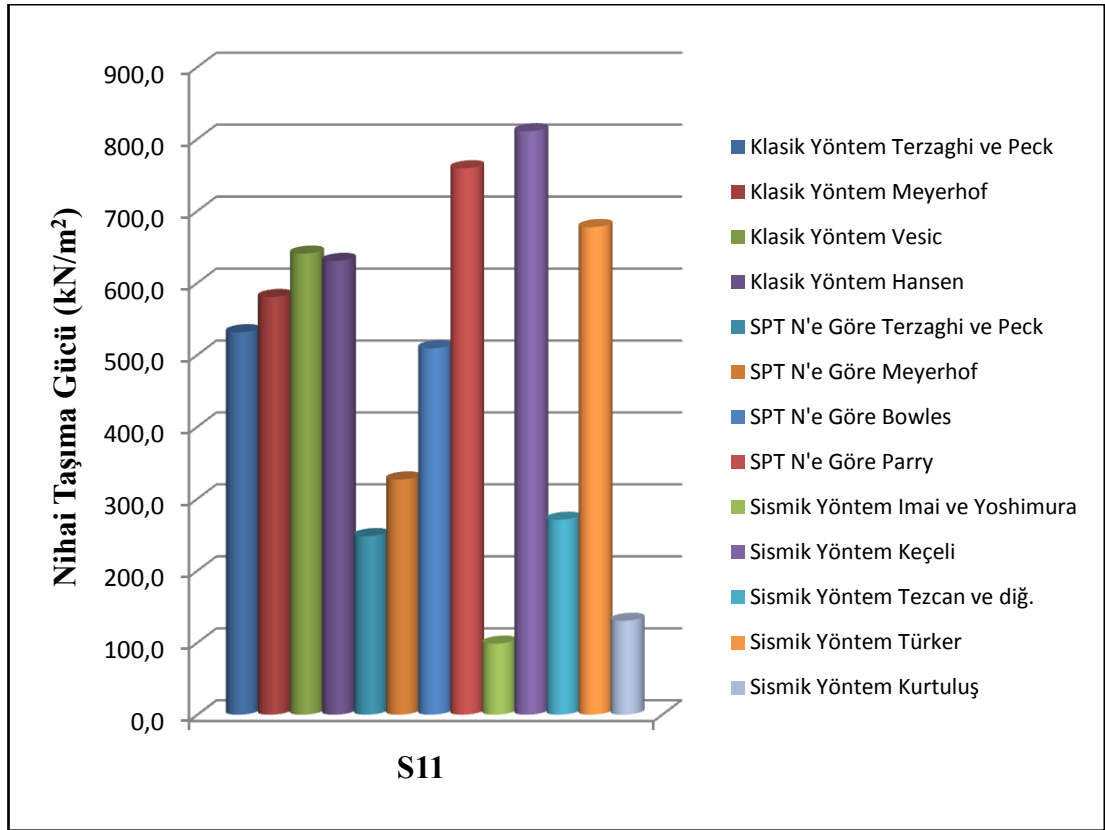
Şekil A.2.8 : S8 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



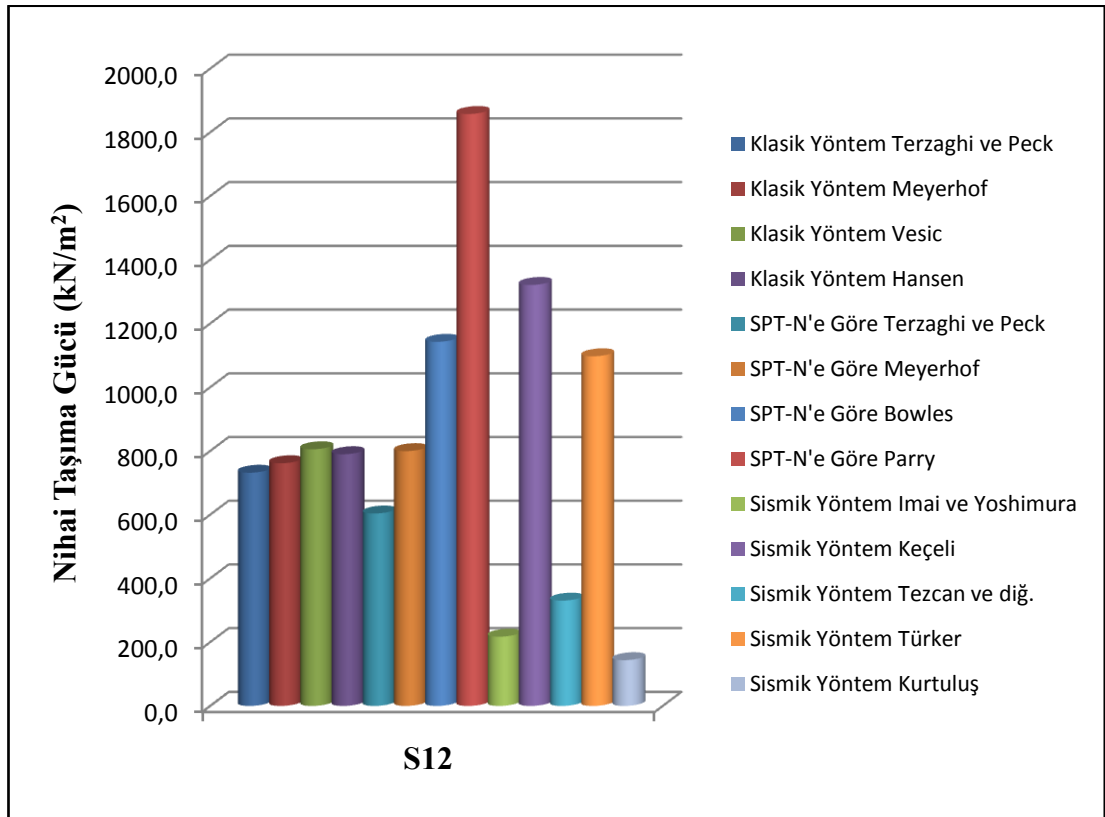
Şekil A.2.9 : S9 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



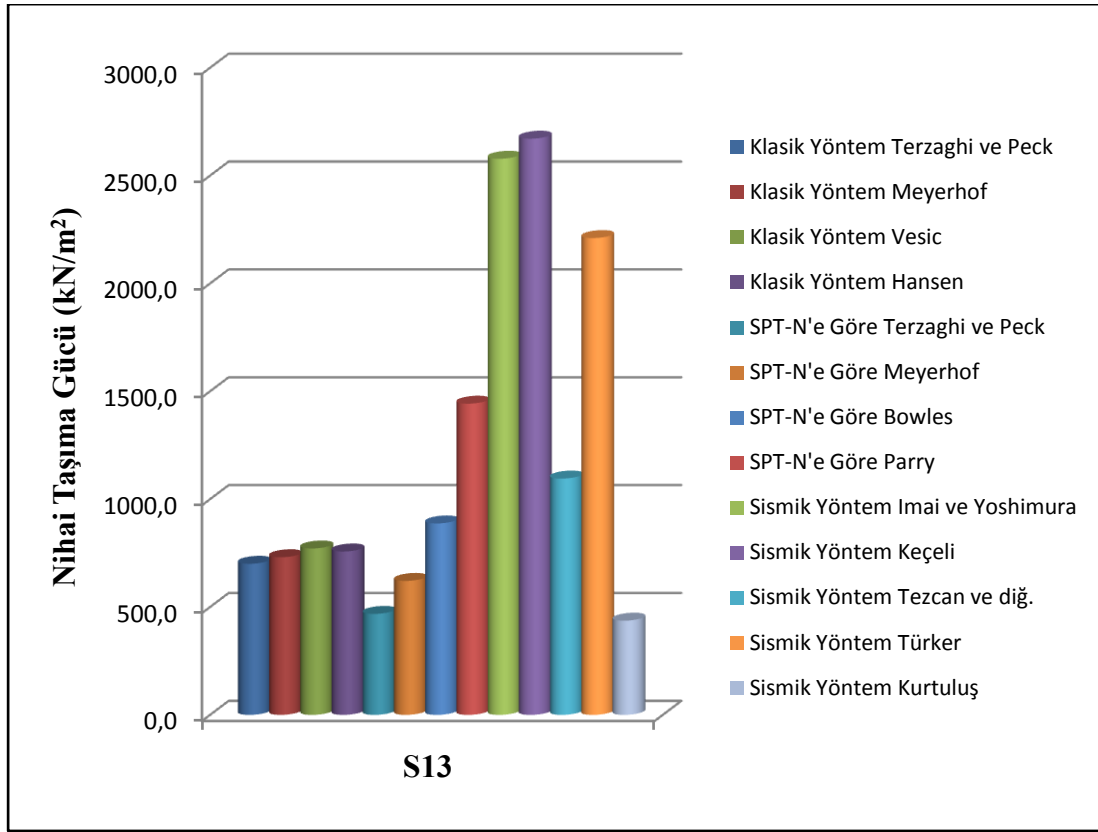
Şekil A.2.10 : S10 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



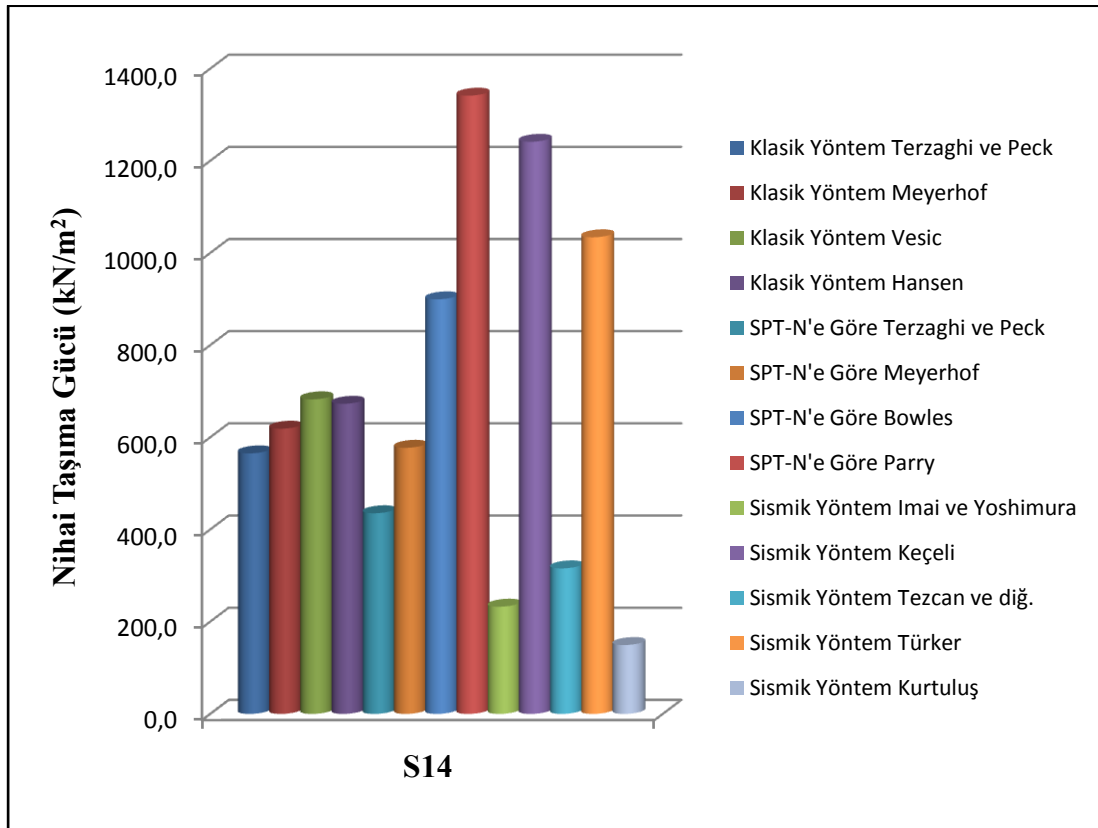
Şekil A.2.11 : S11 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



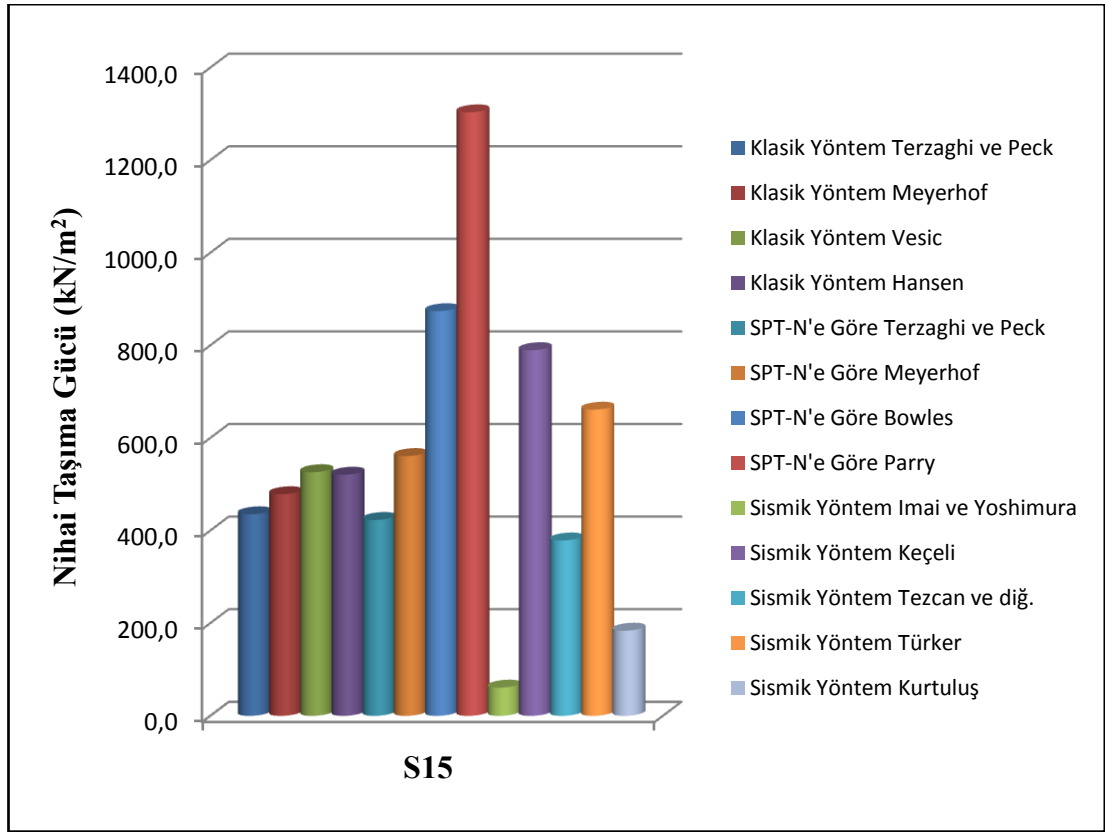
Şekil A.2.12 : S12 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



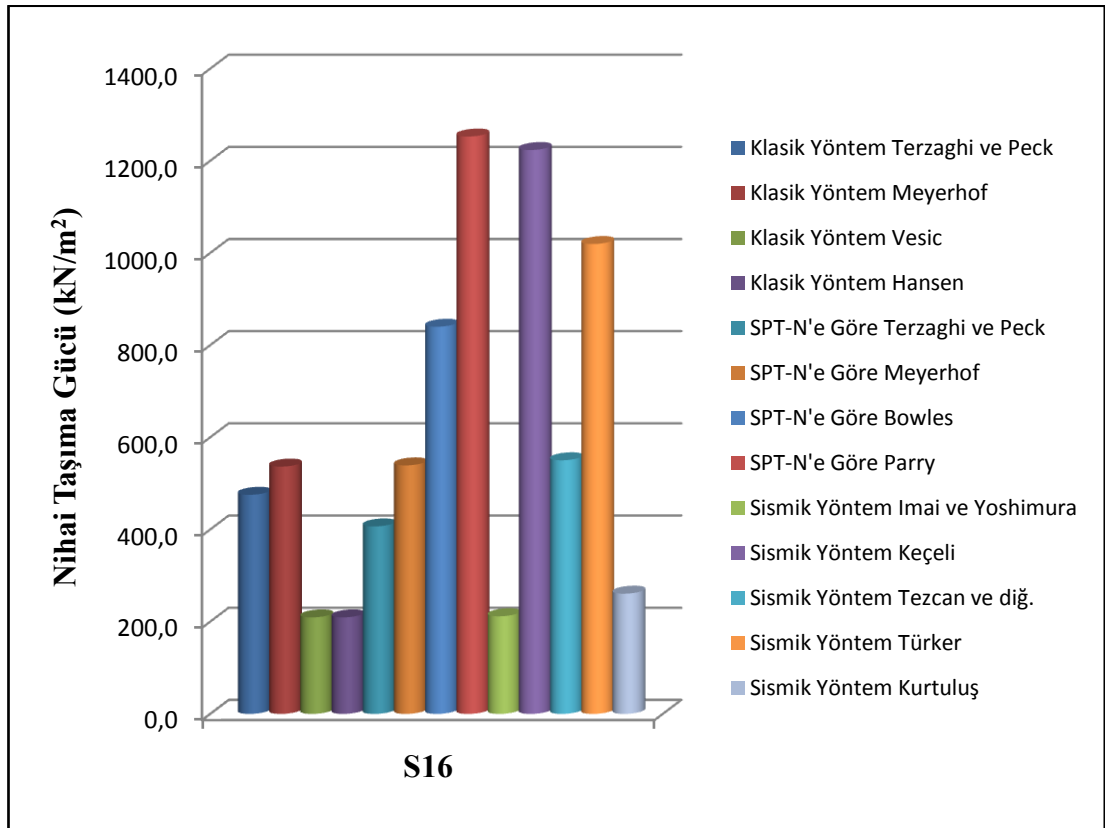
Şekil A.2.13 : S13 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



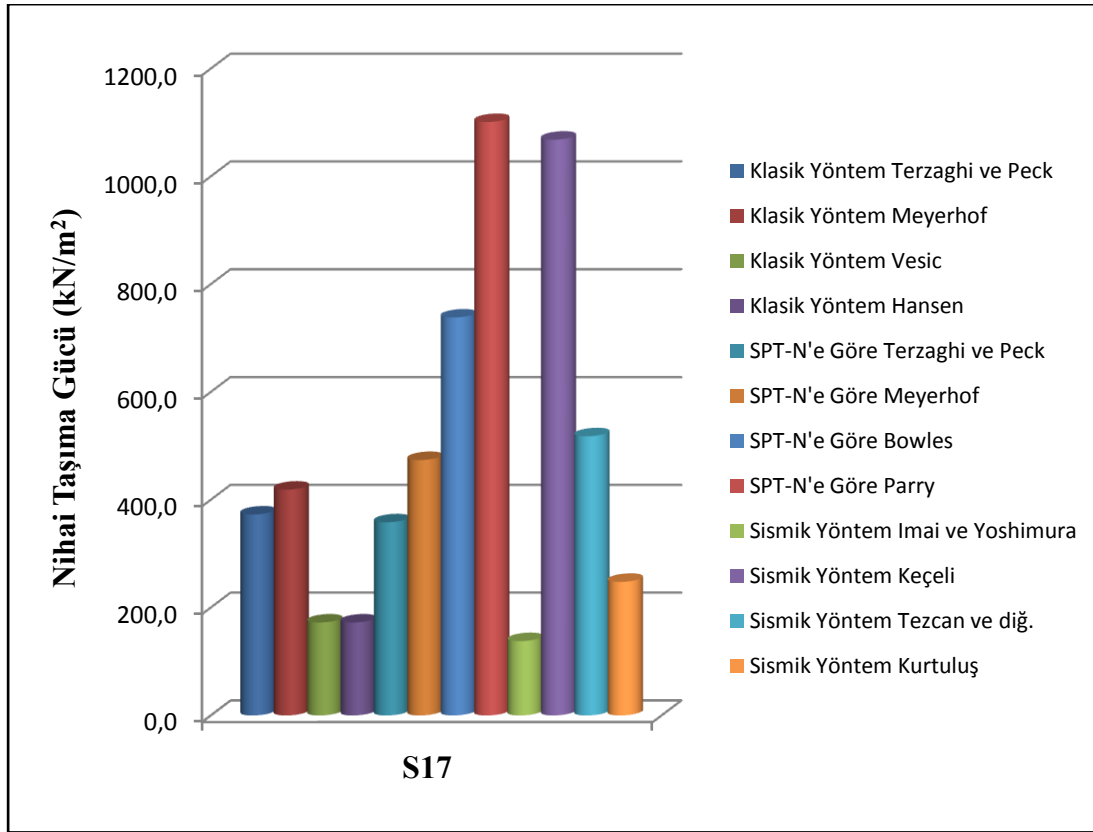
Şekil A.2.14 : S14 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



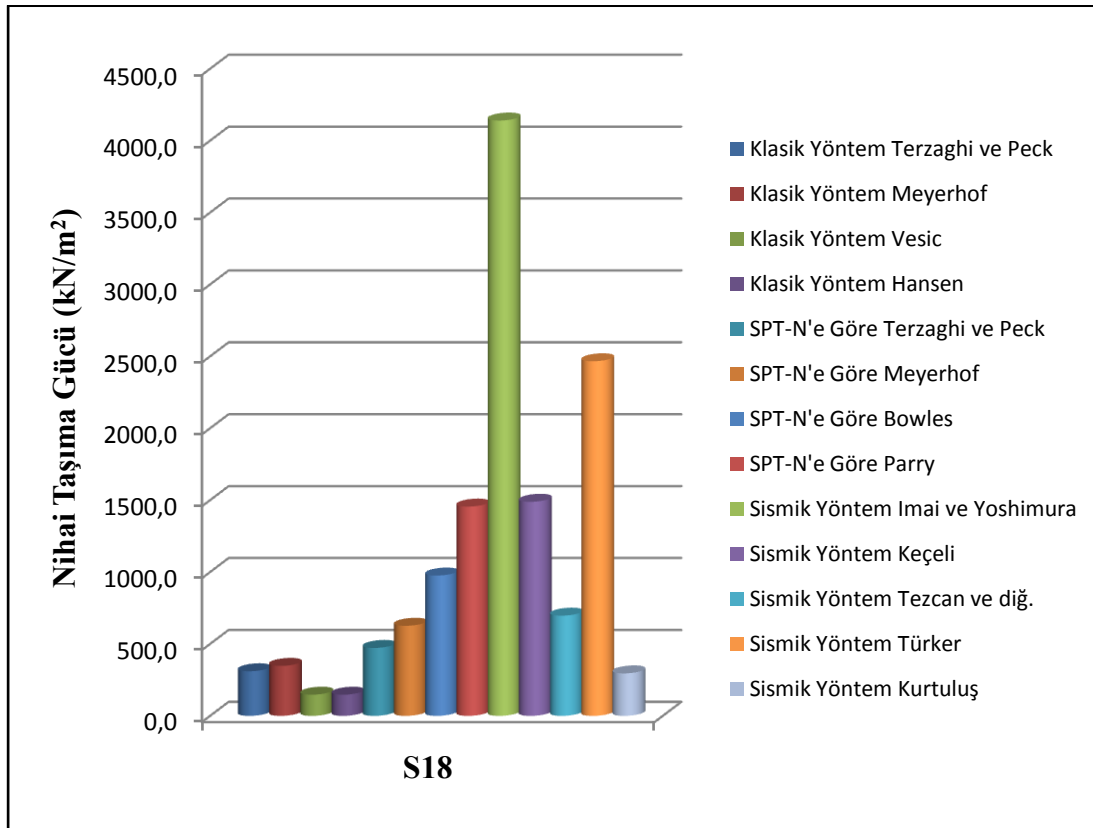
Şekil A.2.15 : S15 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



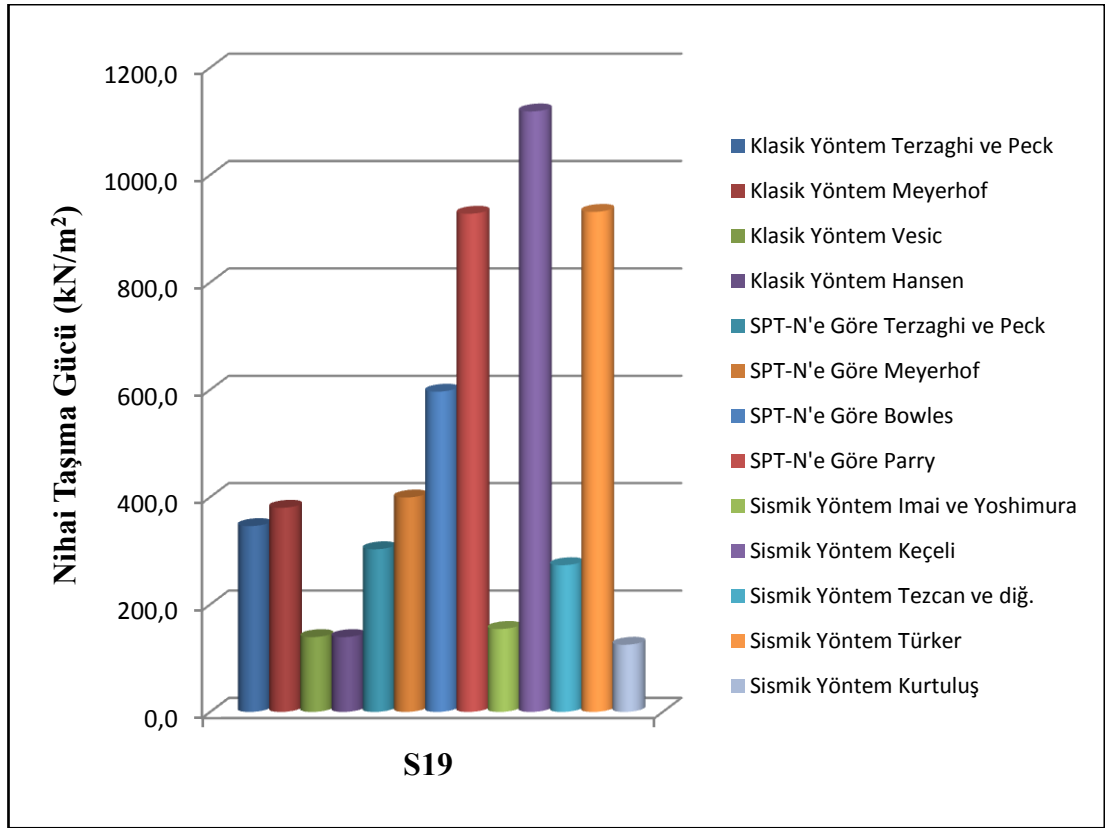
Şekil A.2.16 : S16 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



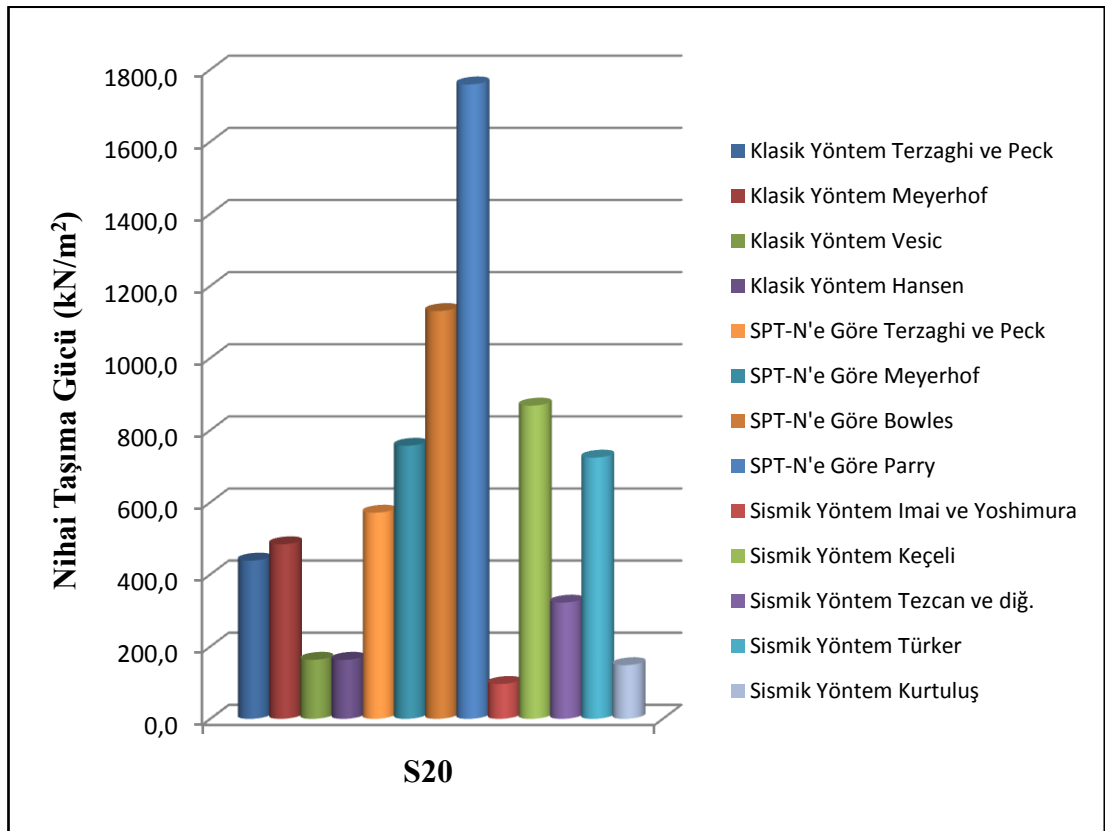
Şekil A.2.17 : S17 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



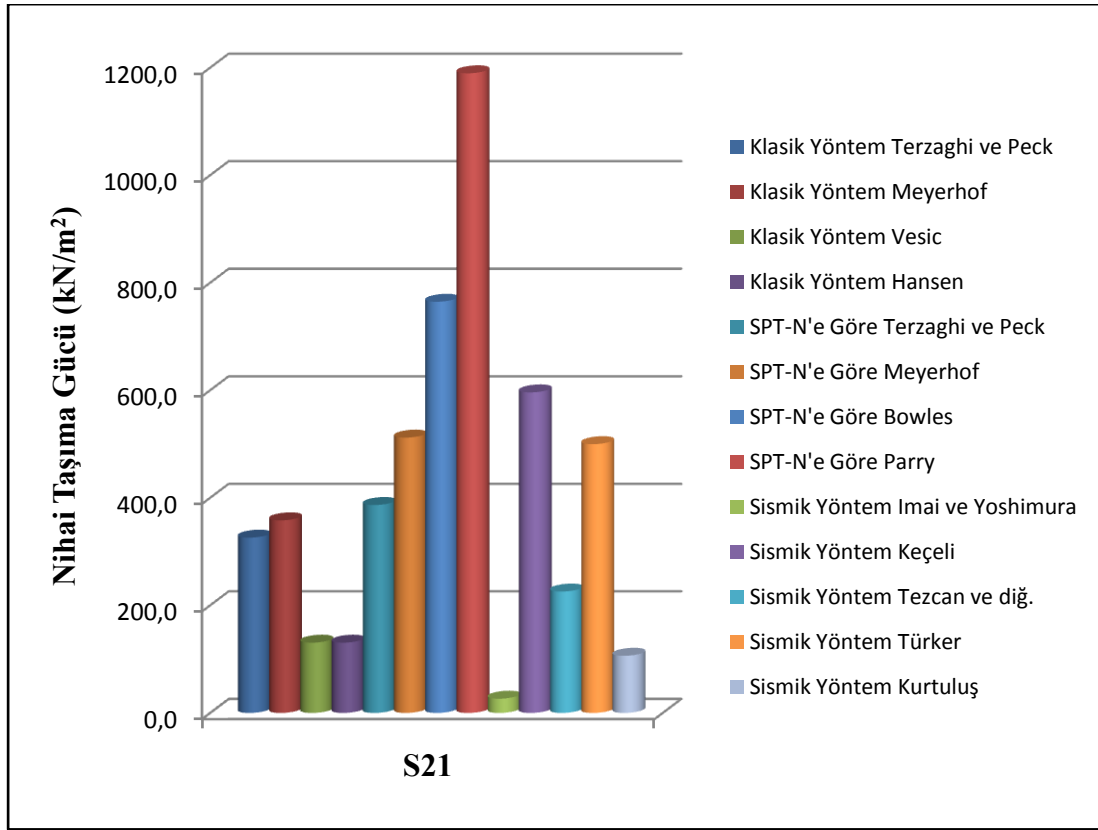
Şekil A.2.18 : S18 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



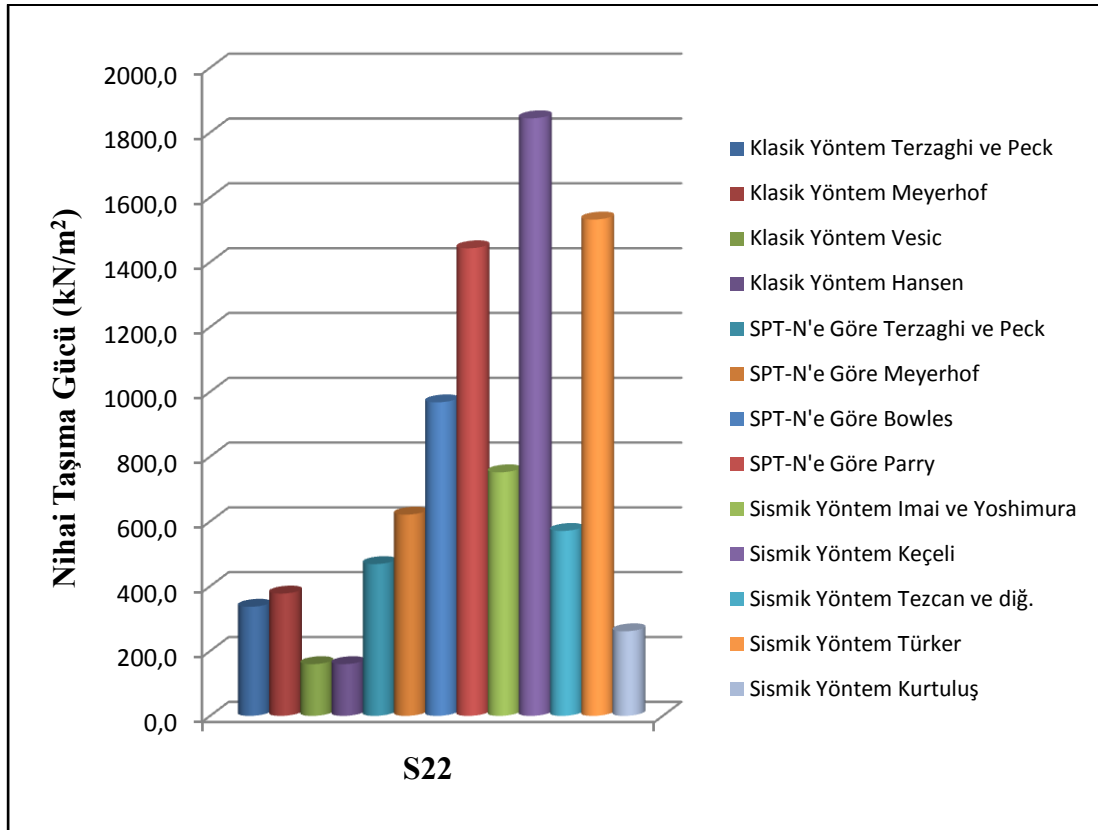
Şekil A.2.19 : S19 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



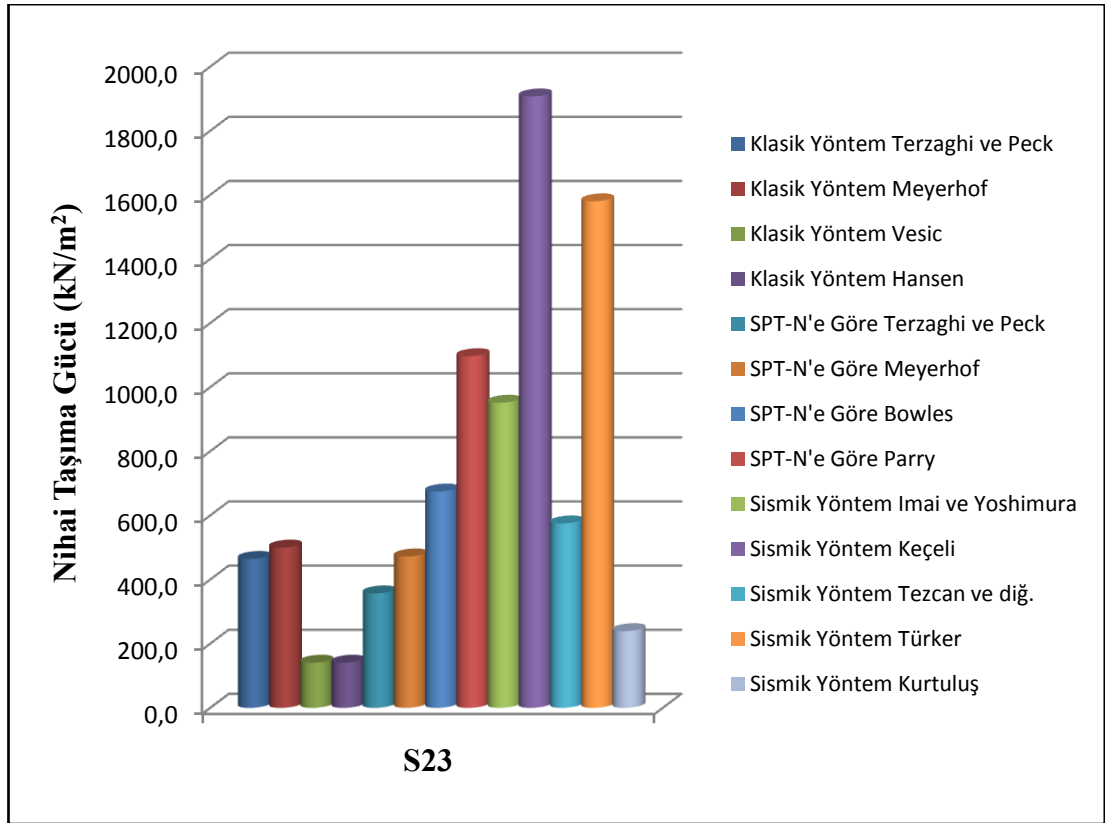
Şekil A.2.20 : S20 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



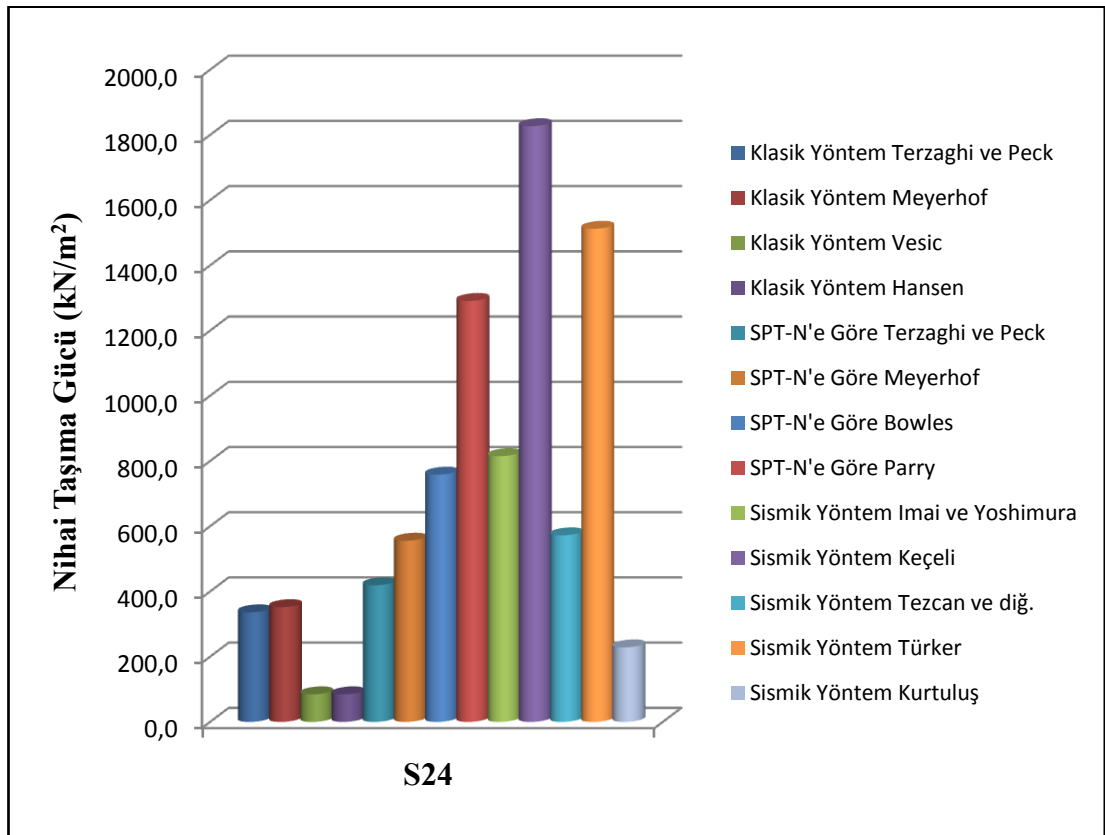
Şekil A.2.21 : S21 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



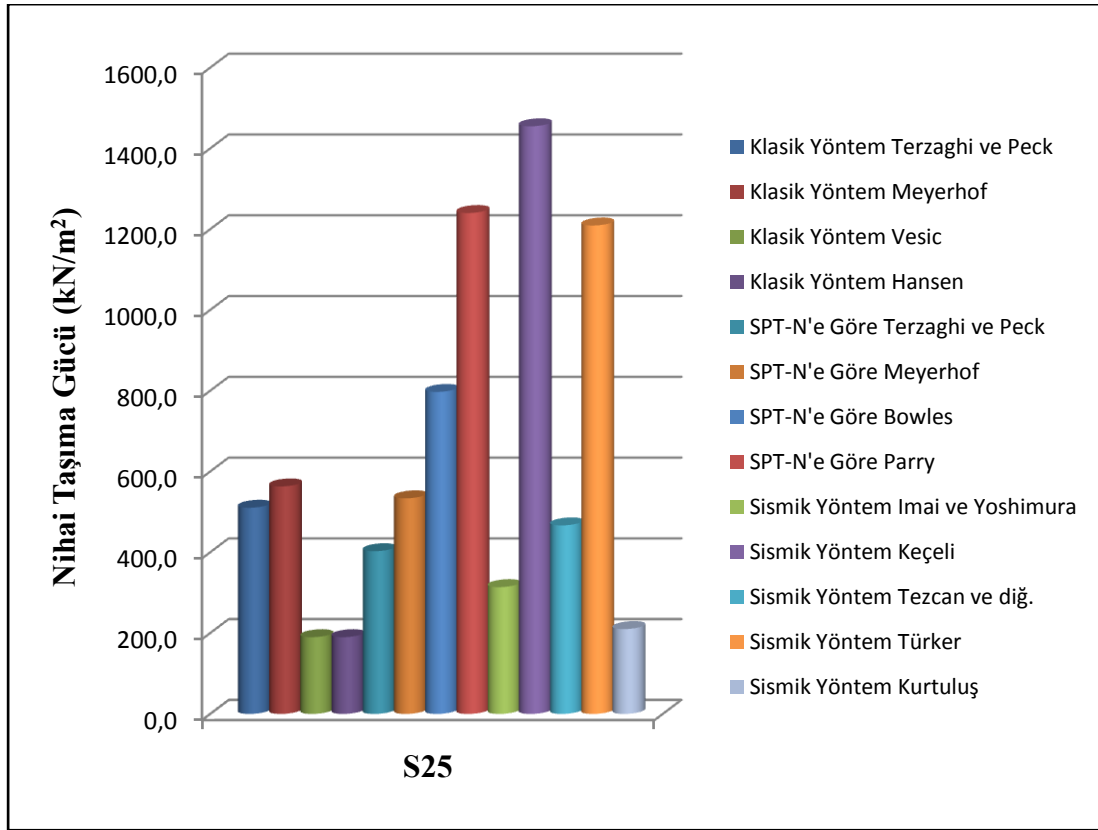
Şekil A.2.22 : S22 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



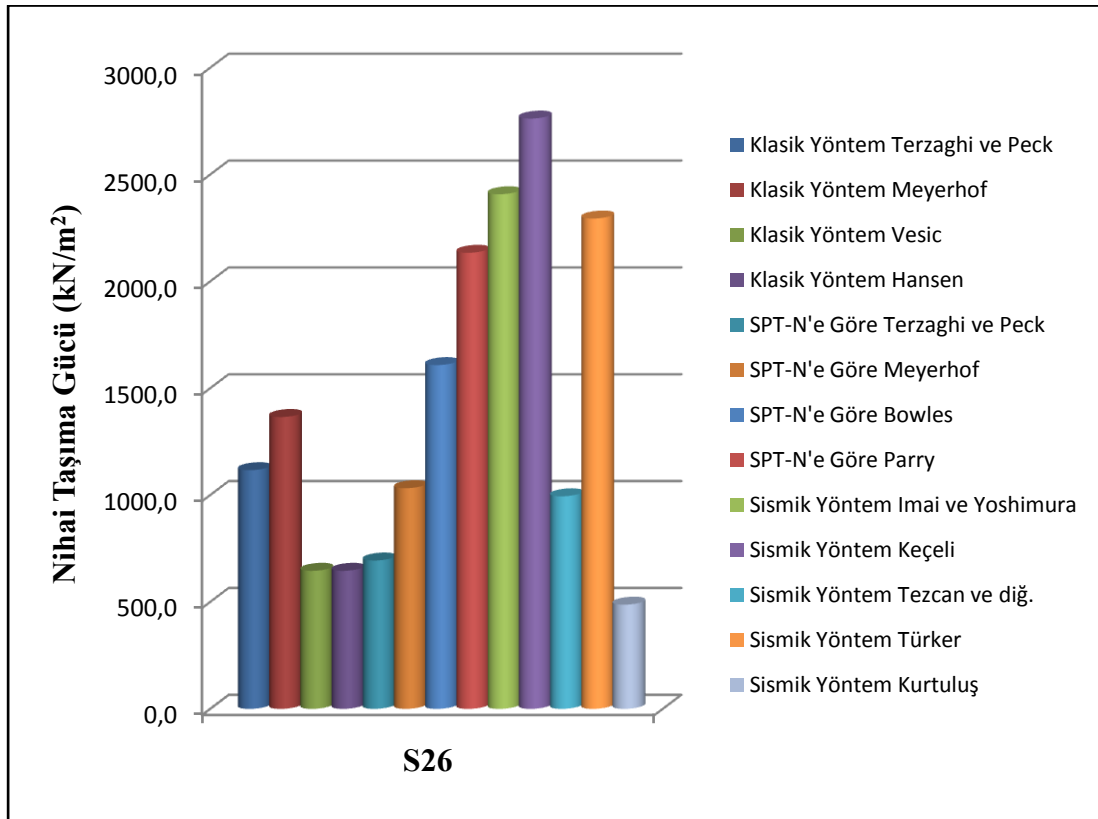
Şekil A.2.23 : S23 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



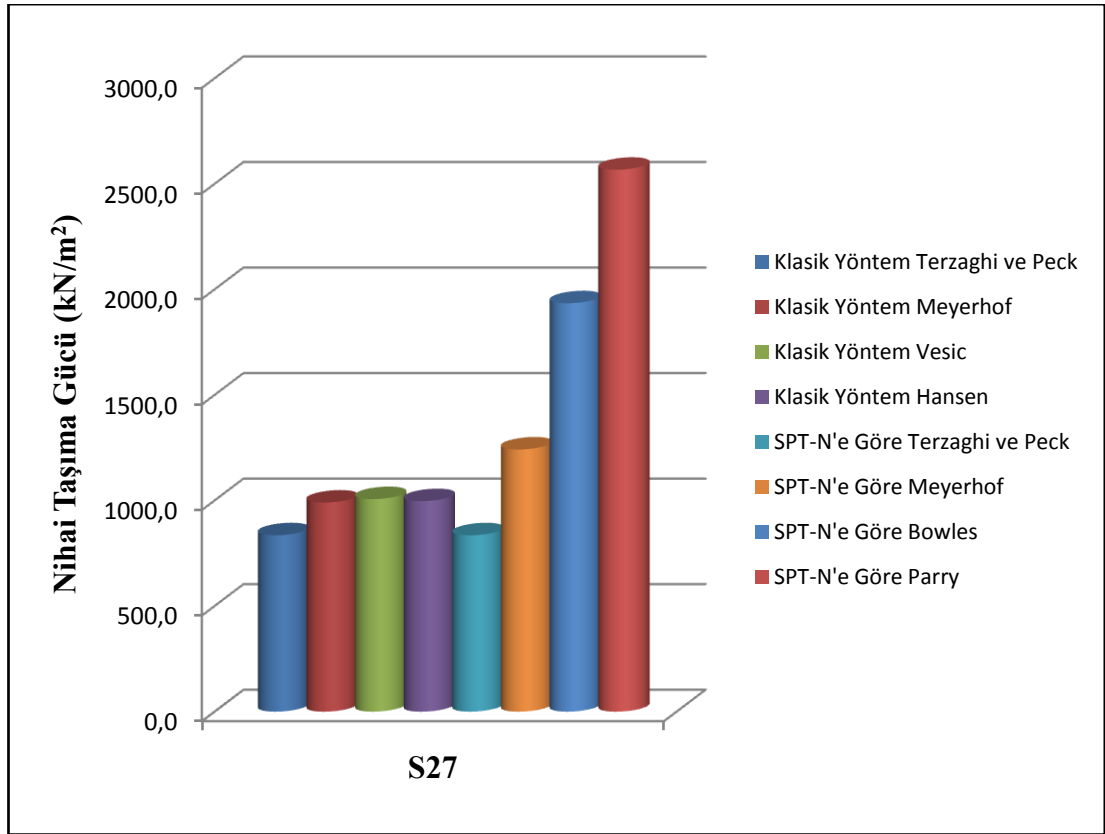
Şekil A.2.24 : S24 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



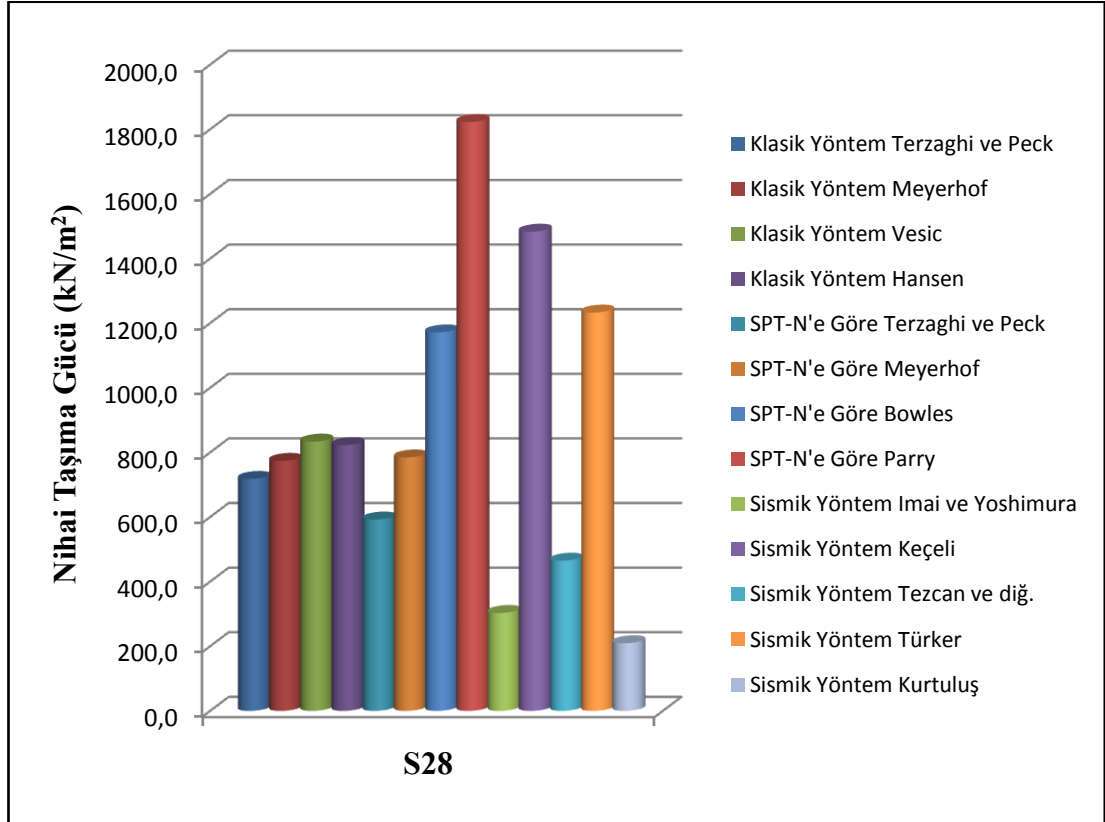
Şekil A.2.25 : S25 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



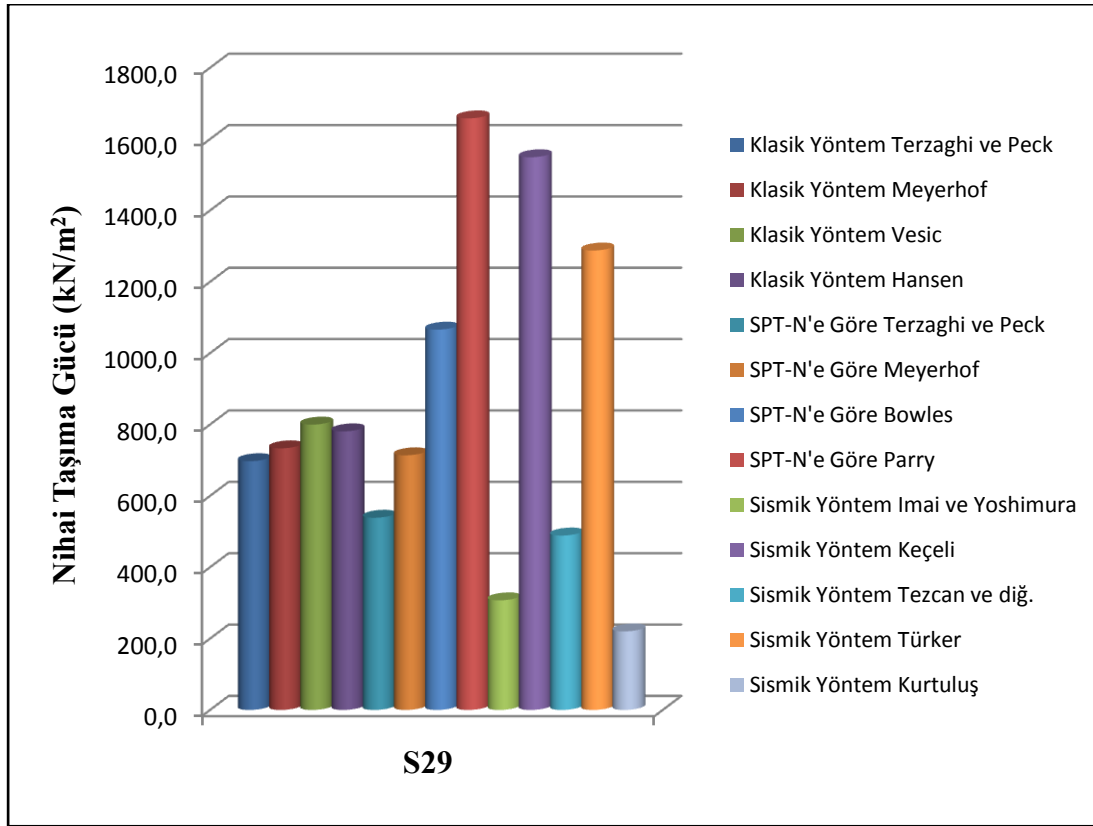
Şekil A.2.26 : S26 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



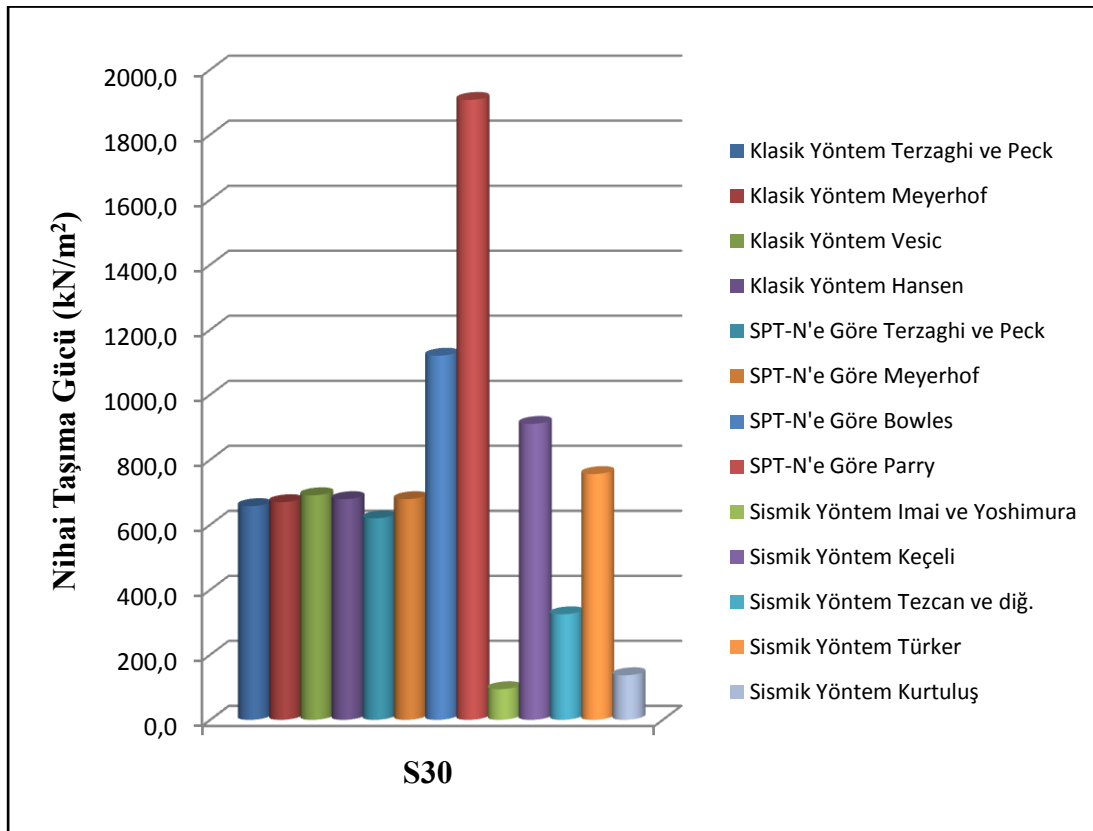
Şekil A.2.27 : S27 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



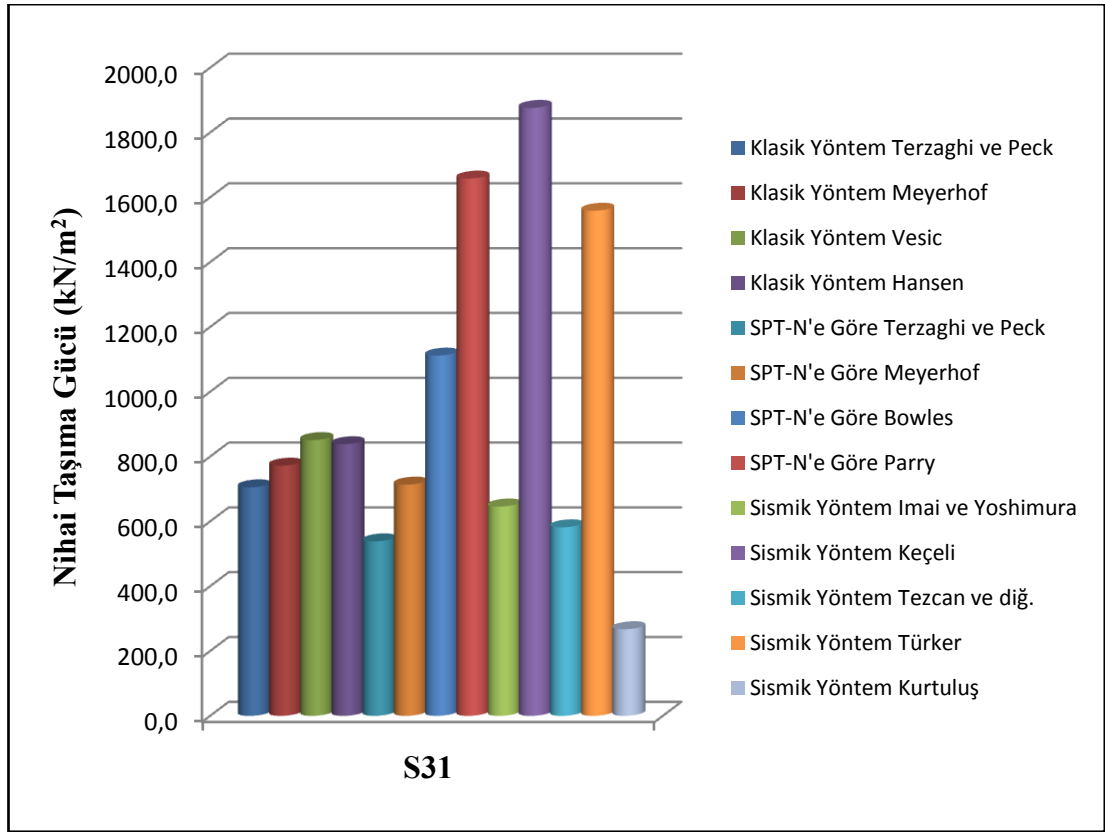
Şekil A.2.28 : S28 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



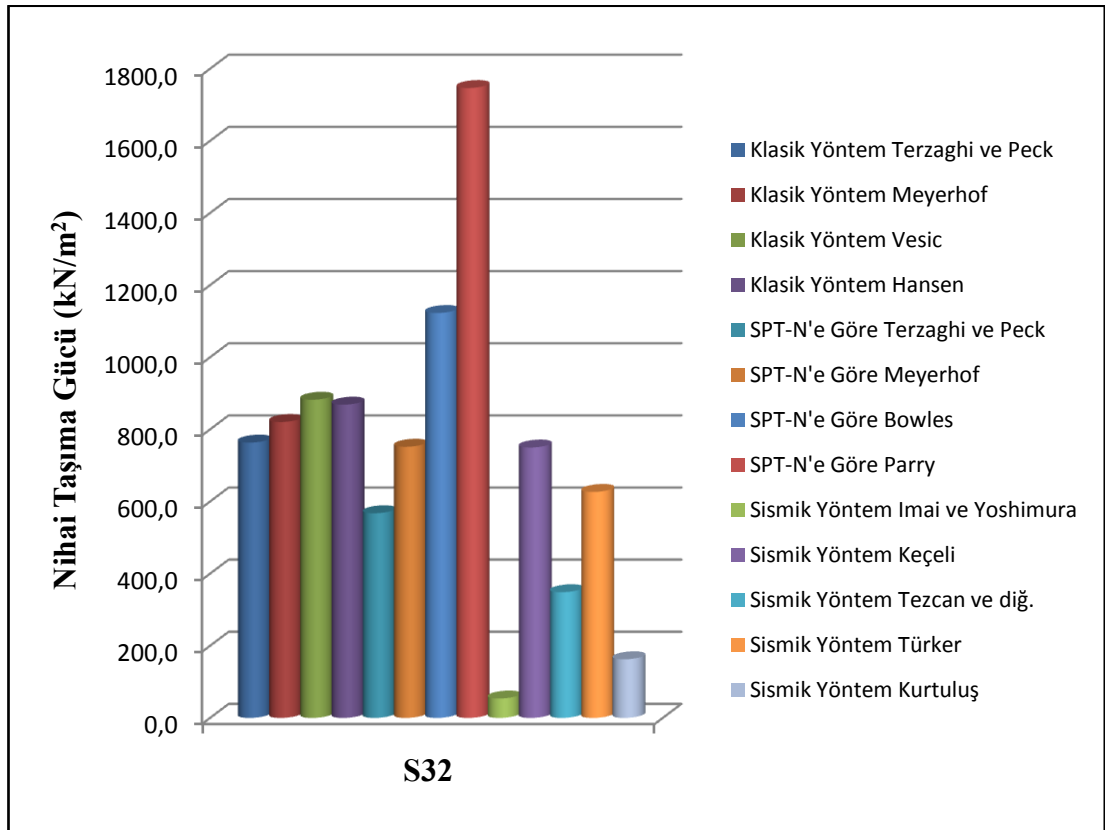
Şekil A.2.29 : S29 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



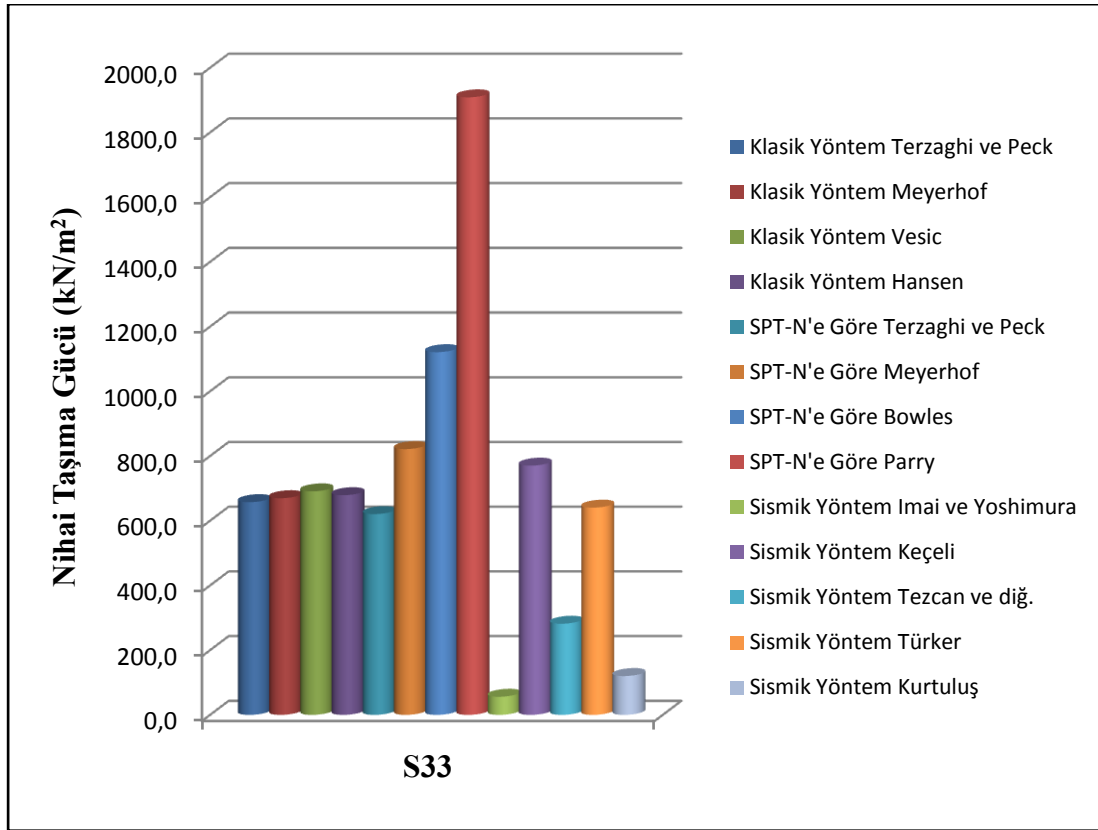
Şekil A.2.30 : S30 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



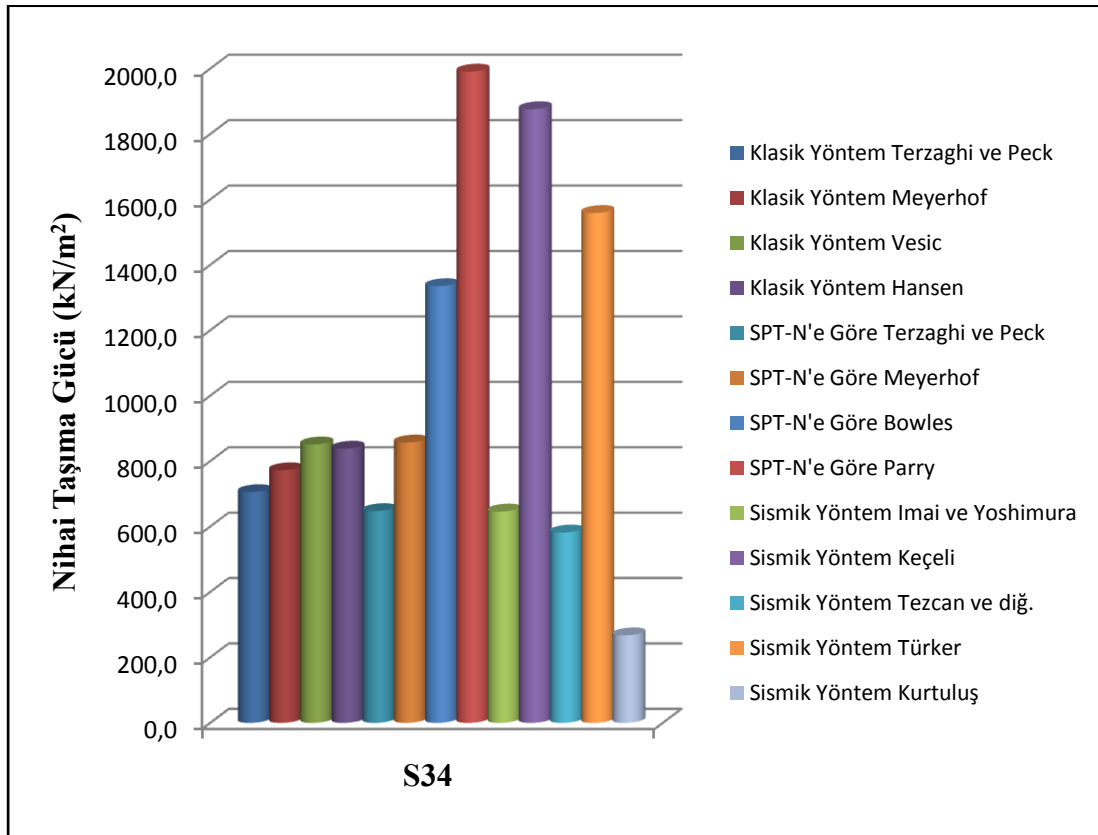
Şekil A.2.31 : S31 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



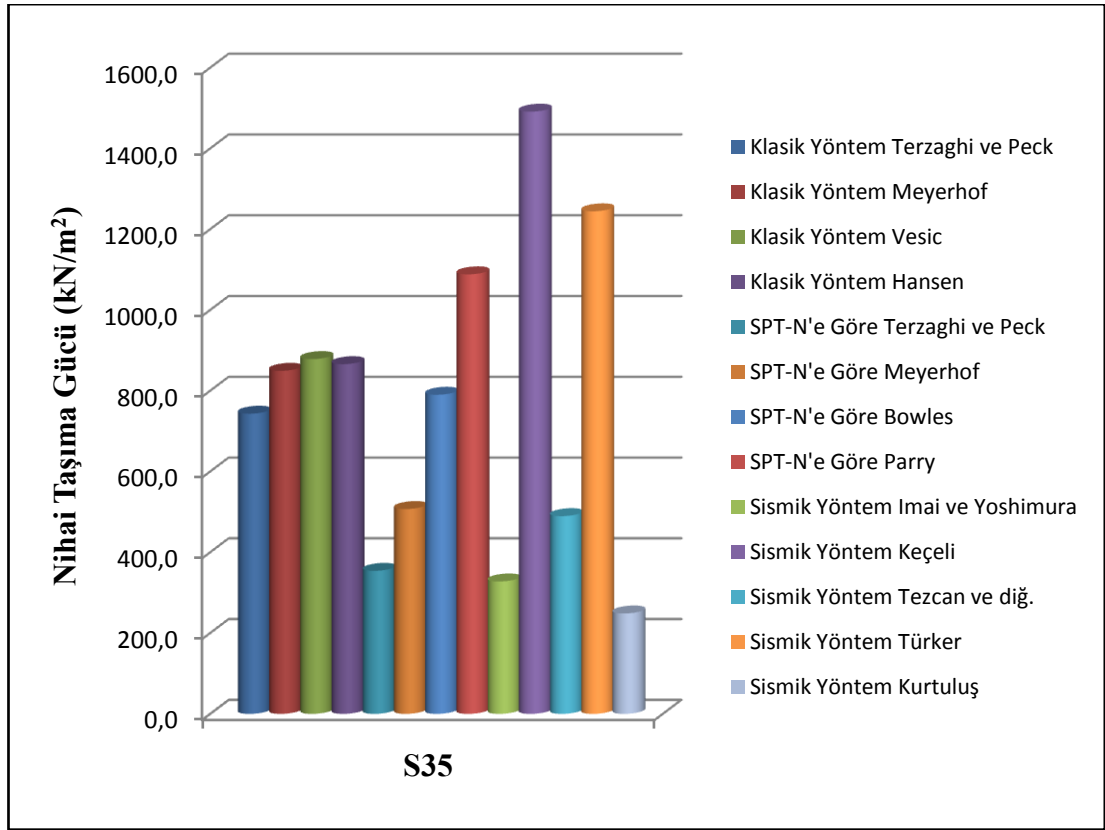
Şekil A.2.32 : S32 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



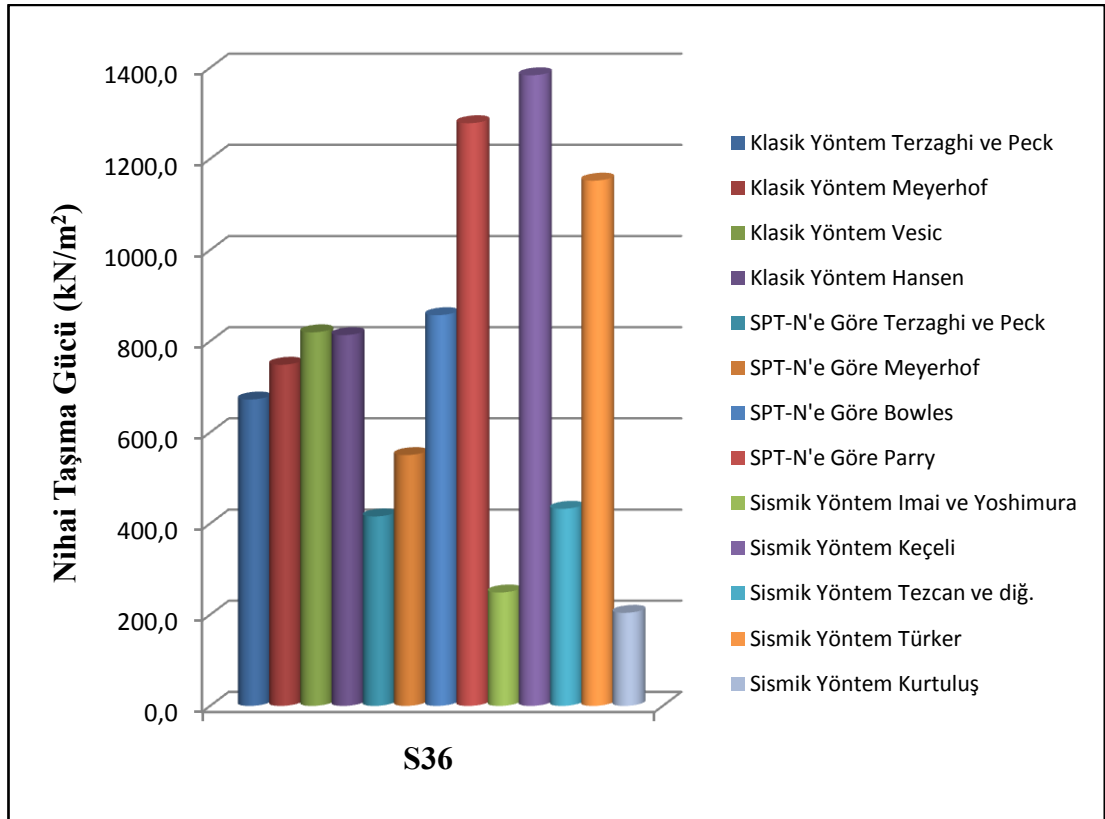
Şekil A.2.33 : S33 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



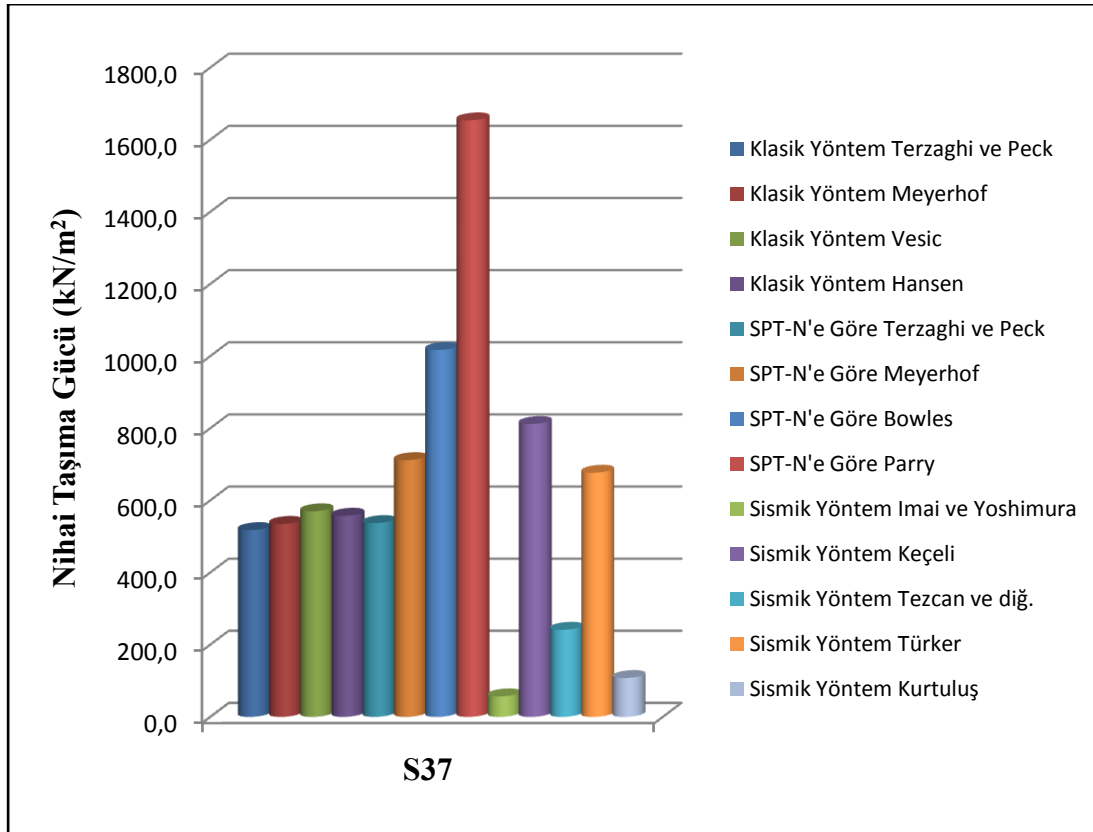
Şekil A.2.34 : S34 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



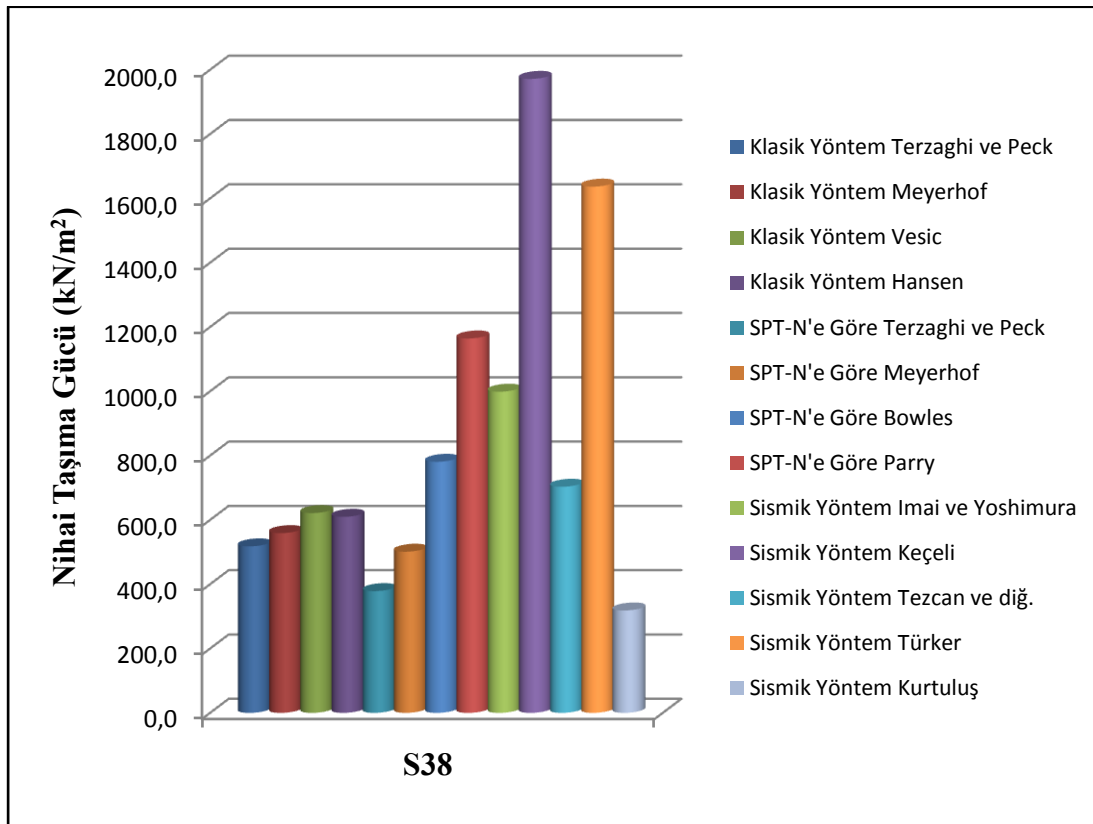
Şekil A.2.35 : S35 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



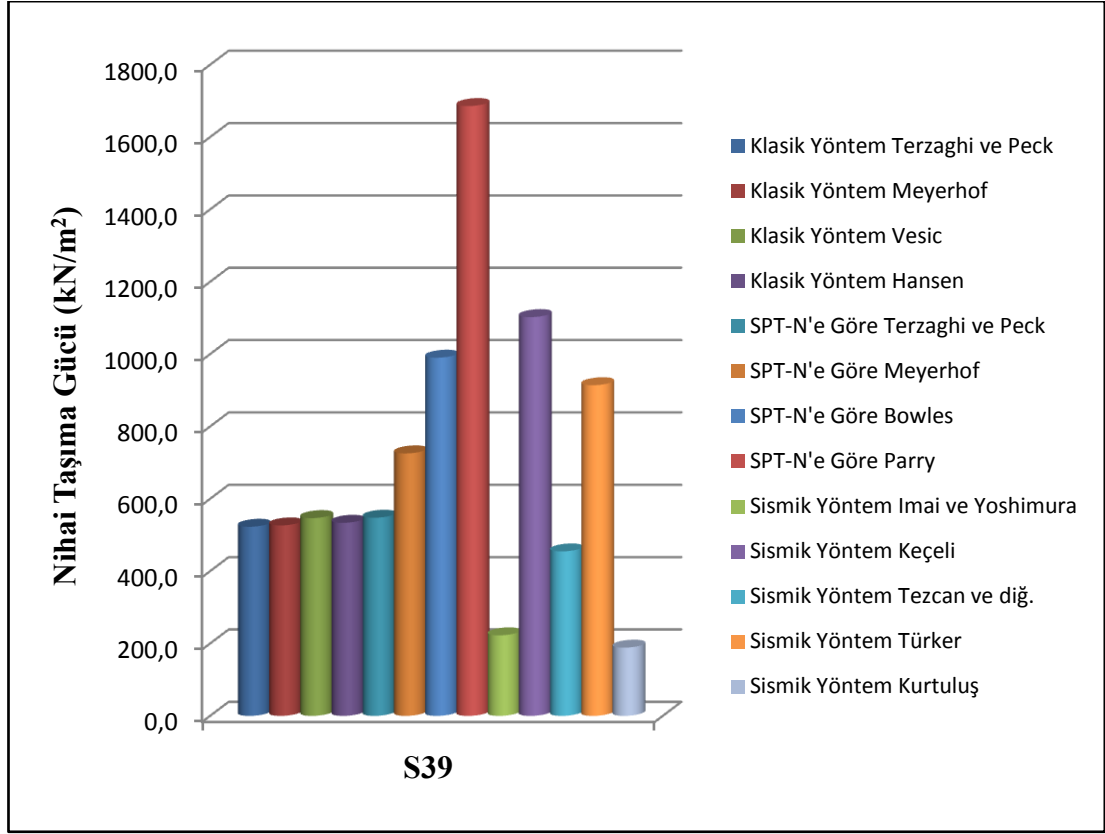
Şekil A.2.36 : S36 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



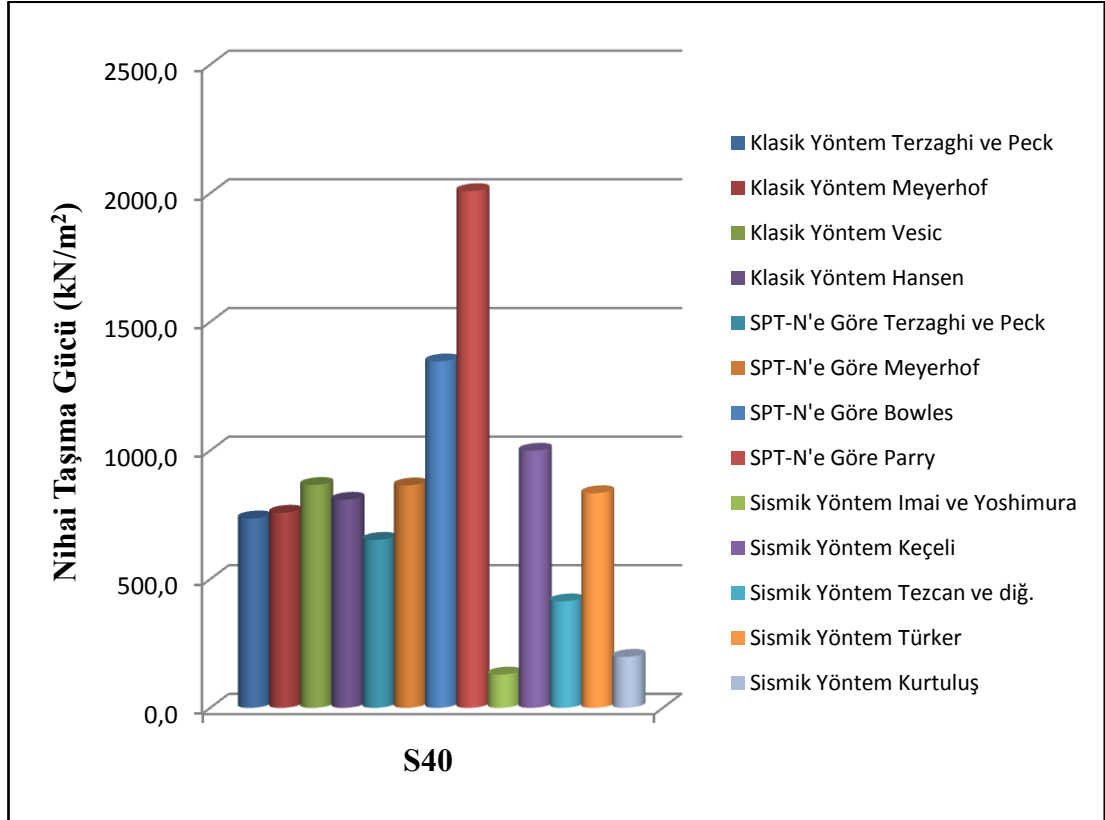
Şekil A.2.37 : S37 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



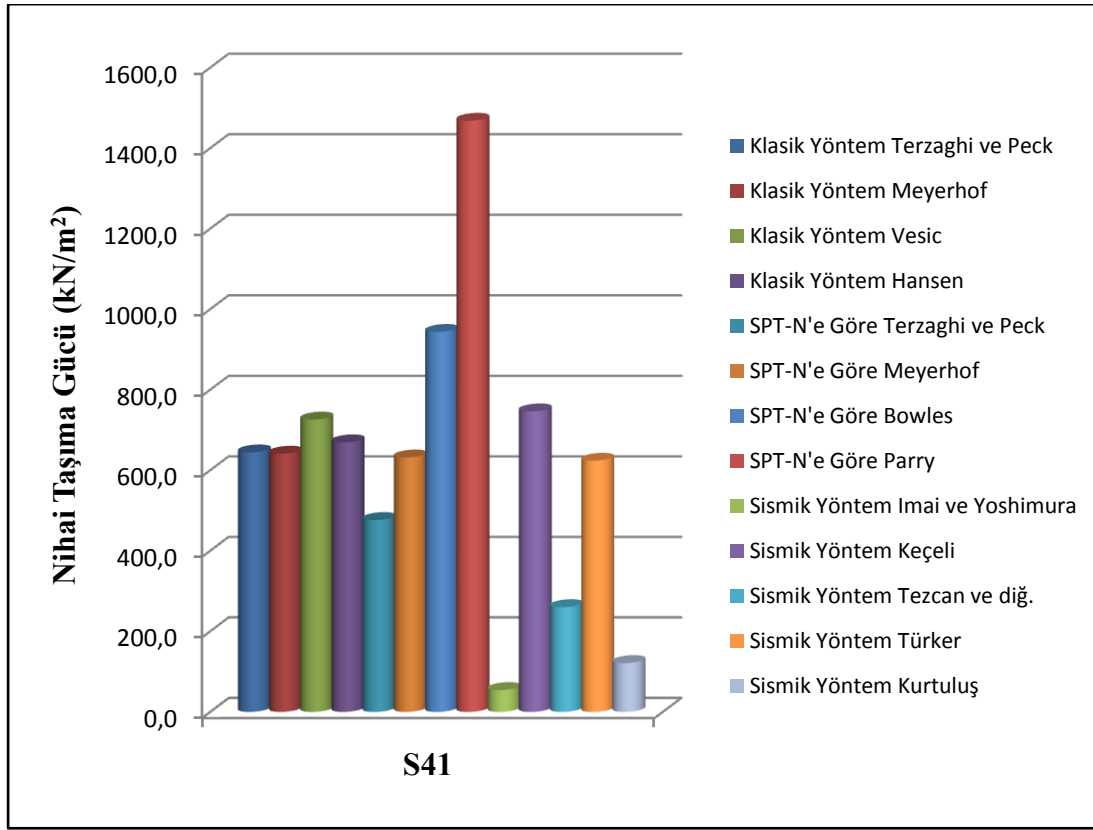
Şekil A.2.38 : S38 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



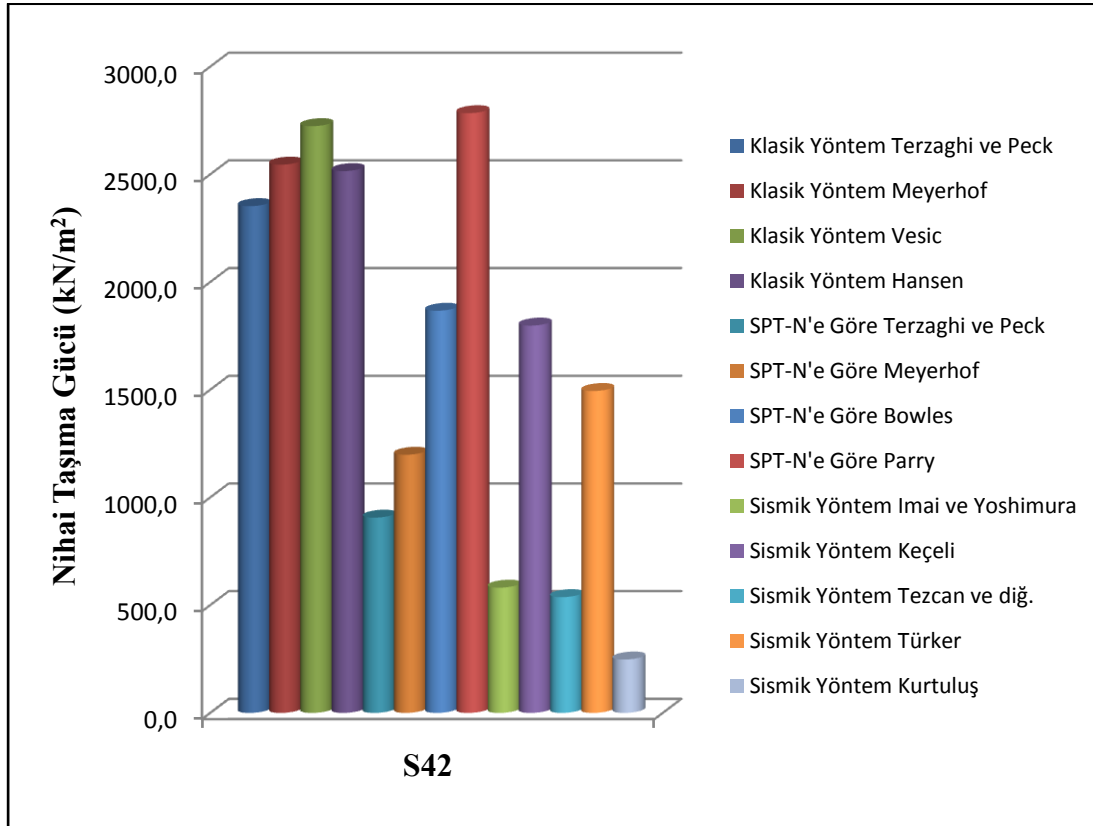
Şekil A.2.39 : S39 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



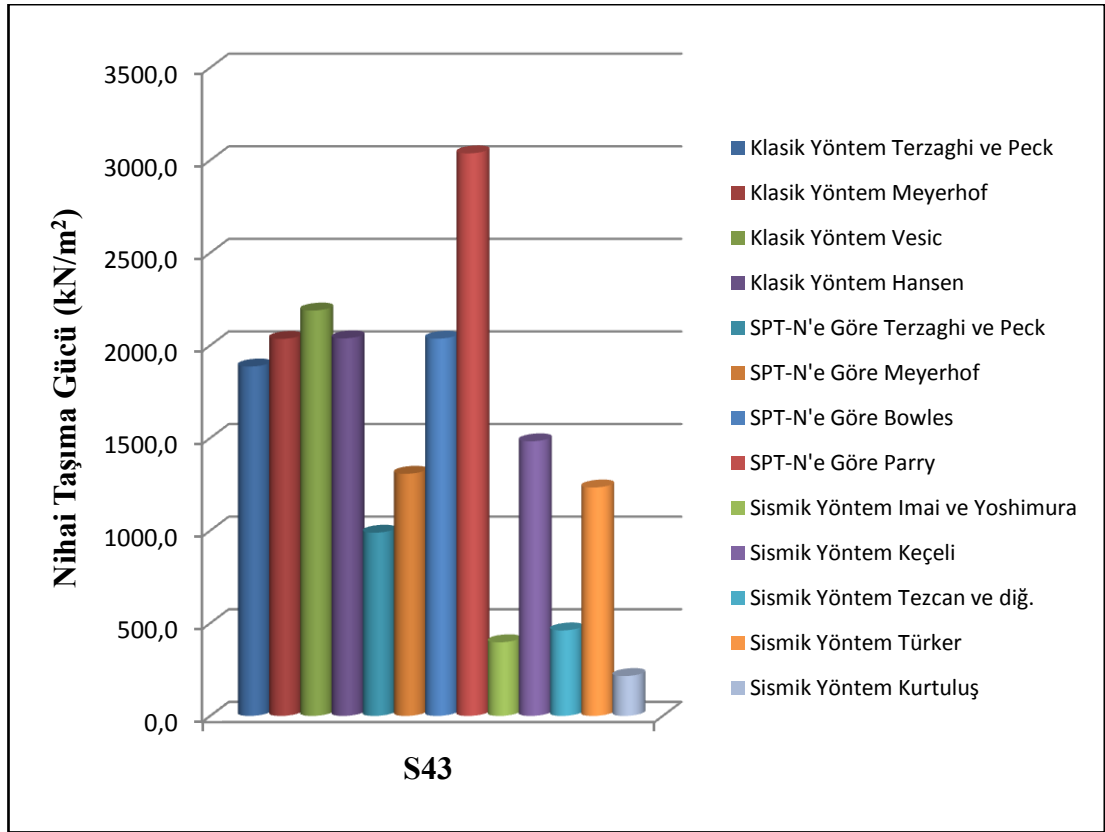
Şekil A.2.40 : S40 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



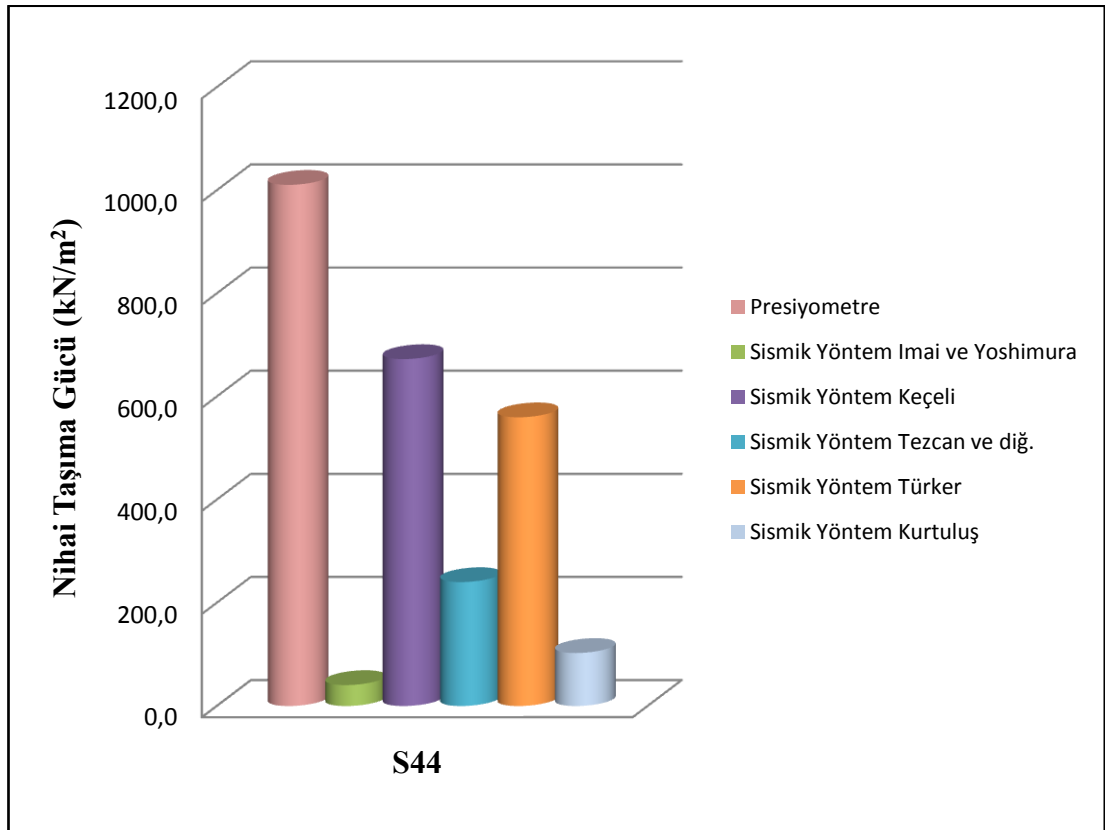
Şekil A.2.41 : S41 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



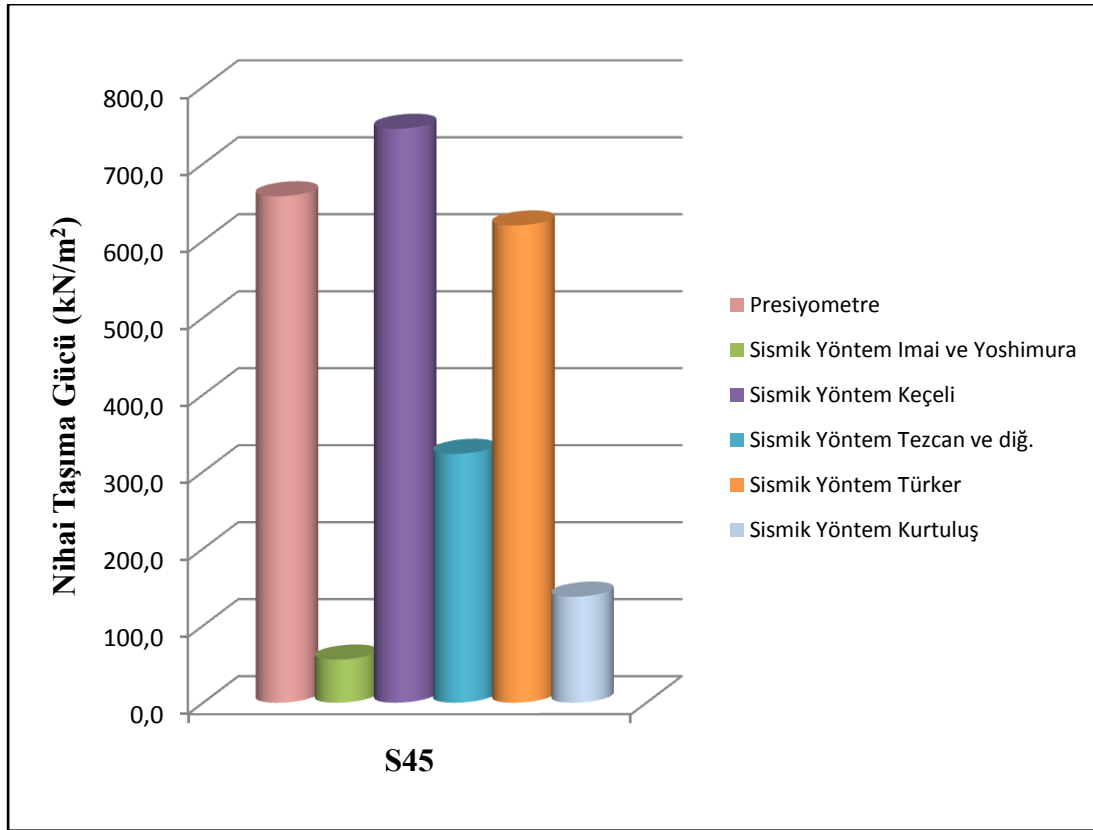
Şekil A.2.42 : S42 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



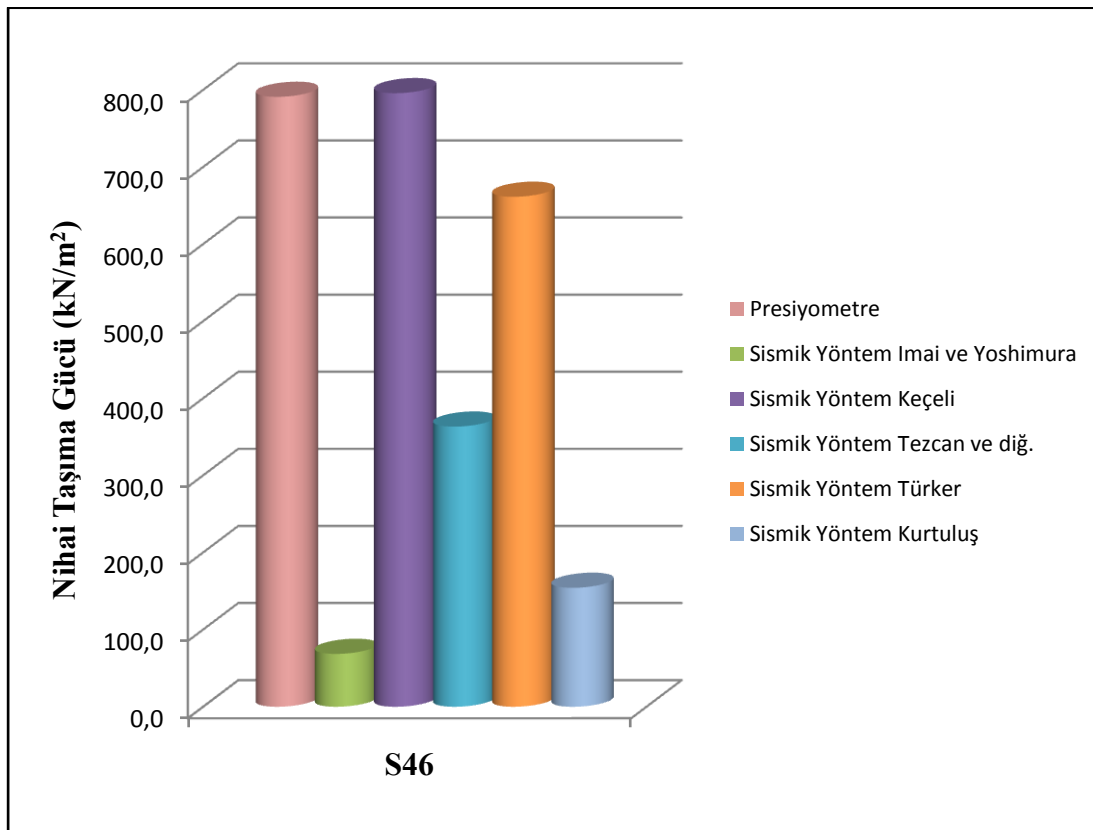
Şekil A.2.43 : S43 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



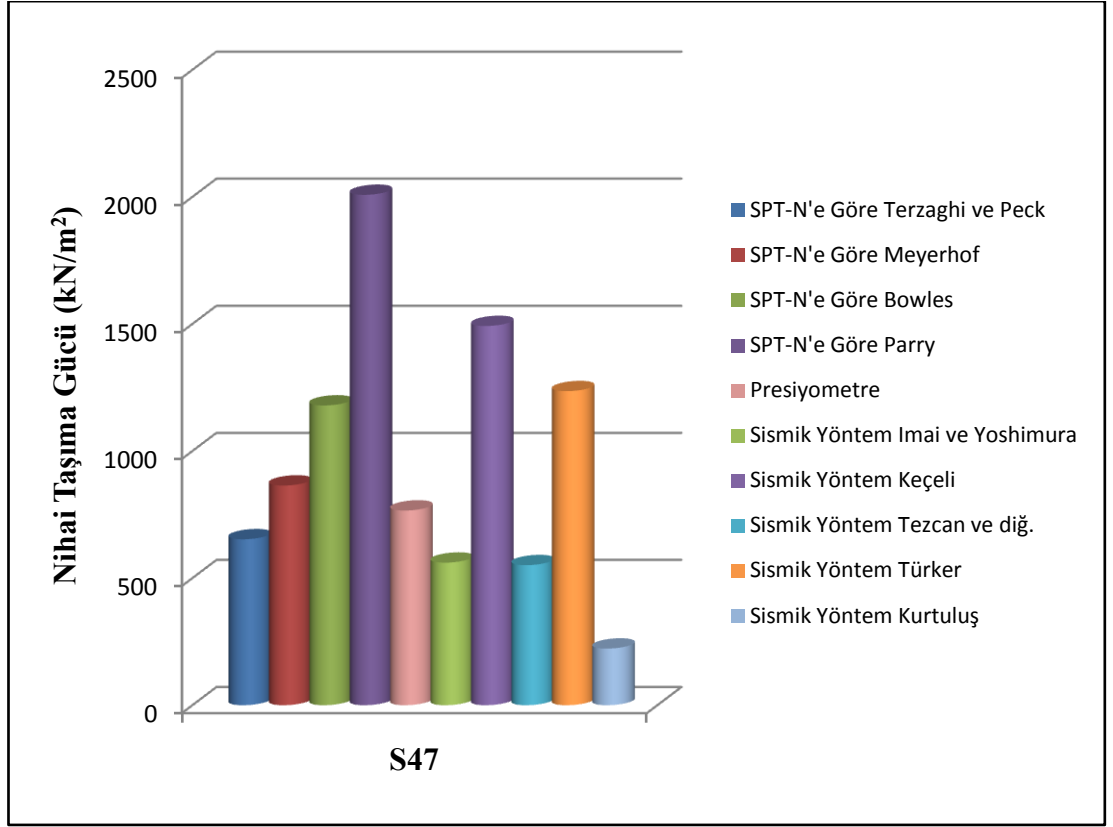
Şekil A.2.44 : S44 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



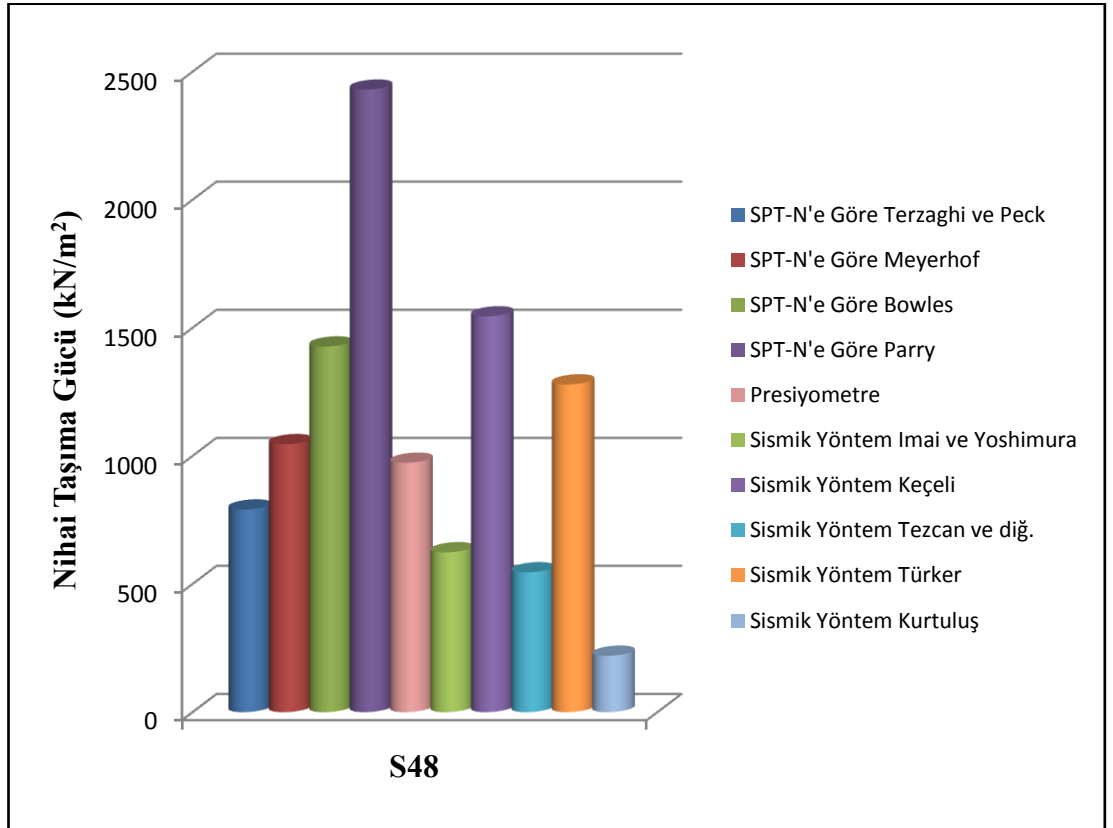
Şekil A.2.45 : S45 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



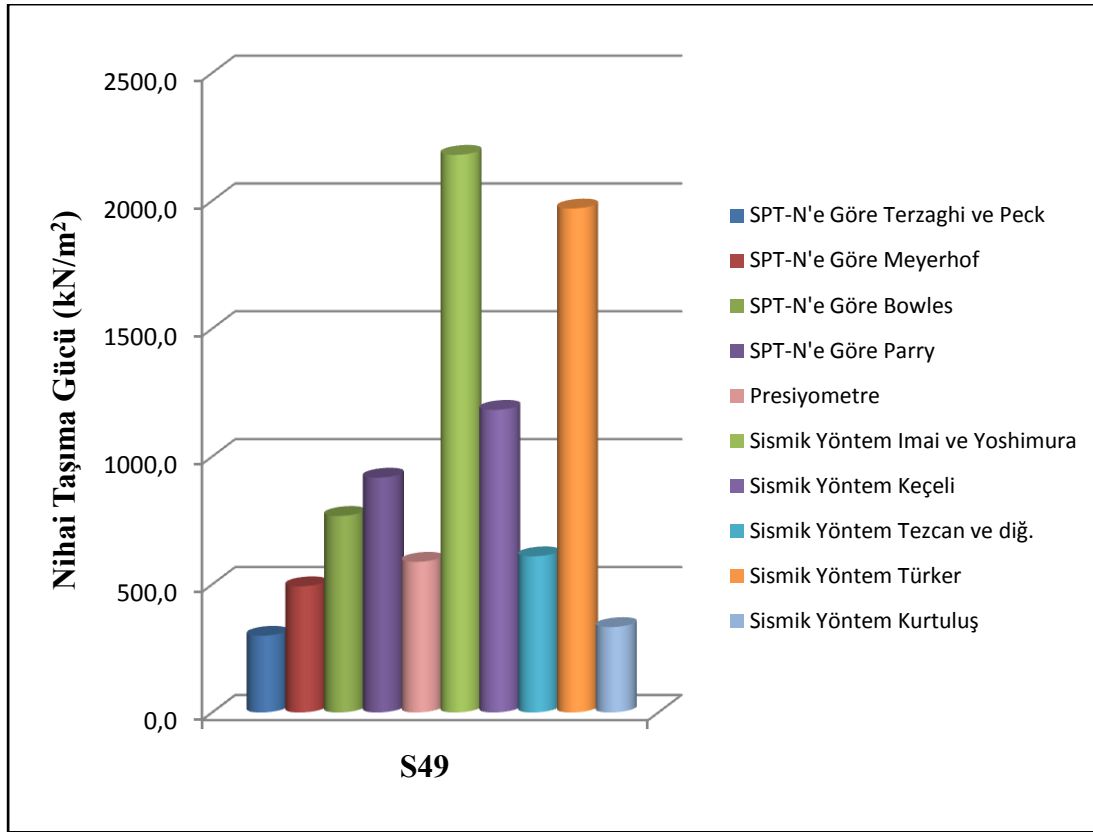
Şekil A.2.46 : S46 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



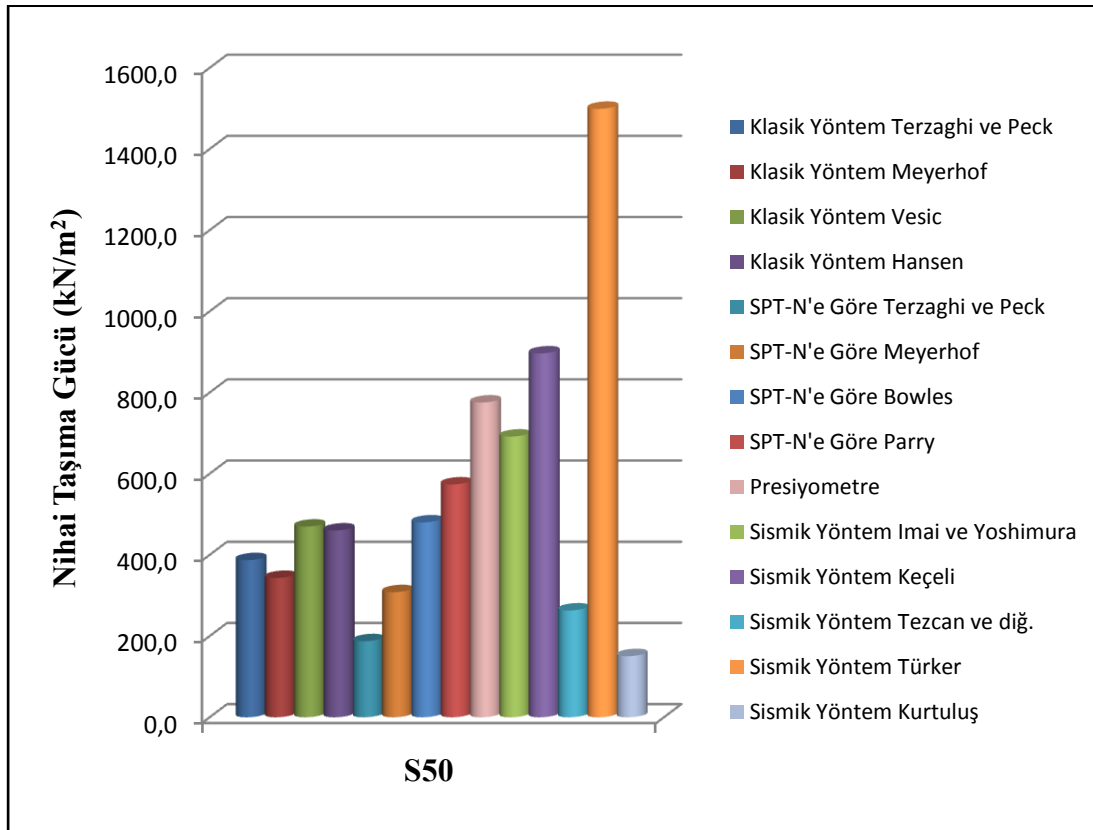
Şekil A.2.47 : S47 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



Şekil A.2.48 : S48 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



Şekil A.2.49 : S49 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.



Şekil A.2.50 : S50 için nihai taşıma gücü değerleri toplu gösterimi.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: İlkey TONYALI

Doğum Yeri ve Tarihi: Altındağ 26.03.1981

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği