



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜLERİ
ORTAK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan ALTAY

**KAYA DÜŞMELERİNE KARŞI KULLANILAN
TOPRAK DOLGU SETLERİN NÜMERİK
İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANIYE – 2015

**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAYA DÜŞMELERİNE KARŞI KULLANILAN TOPRAK
DOLGU SETLERİN NÜMERİK İNCELENMESİ**

Gökhan ALTAY

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE
TEMMUZ-2015**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTUSU
ORTAK YÜKSEK LİSANS**

**KAYA DÜŞMELERİNE KARŞI KULLANILAN TOPRAK
DOLGU SETLERİN NÜMERİK İNCELENMESİ**

Gökhan ALTAY

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE
TEMMUZ-2015**

TEZ ONAYI

KAYA DÜŞMELERİNE KARŞI KULLANILAN TOPRAK DOLGU SETLERİN NÜMERİK İNCELENMESİ

Gökhan ALTAY tarafından Prof. Dr. Cafer KAYADELEN danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Cafer KAYADELEN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Taha TAŞKIRAN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Dicle Üniv.

Üye: Doç. Dr. Murat ÖRNEK
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İSTÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. A. Ali GÜRTEN
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: OKÜBAP-2014-PT3-042

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Gökhan ALTAY

ÖZET

KAYA DÜŞMELERİNE KARŞI KULLANILAN TOPRAK DOLGU SETLERİN NÜMERİK İNCELENMESİ

Gökhan ALTAY
Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Cafer KAYADELEN

Temmuz 2015, 93 sayfa

Bu çalışmada, kaya düşmelerine karşı kullanılan toprak dolgu setlerin davranışı bilgisayar ortamında, üç boyutlu analiz yapabilen ve sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS paket programı yardımıyla incelenmiştir. Öncelikle literatürde mevcut deneysel bir çalışma ANSYS programında modellenip doğrulanmış ve sonrasında parametrik çalışılmıştır. Analizlerde ilk olarak düşen kaya bloğun hızı, kütlesi, geometrisi ve çarpma yüksekliği değiştirilerek toprak dolgu set üzerinde meydana gelen maksimum deformasyonlardaki değişim incelenmiştir. Daha sonra toprak dolgu setin imalatında kullanılan zeminin içsel sürtünme açısı ve birim hacim ağırlığının değişimi ile set üzerinde meydana gelen maksimum deformasyonlardaki değişim araştırılmıştır. Düşen kaya bloğun kütleinin, hızının ve çarpma yüksekliğinin artmasıyla set üzerinde meydana gelen maksimum deformasyonların arttığı görülmüştür. Farklı parametreler kullanılarak elde edilen analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve gerekli açıklamalar önerilerle birlikte yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kaya Düşmesi, Toprak Dolgu Set, ANSYS, Çarpma Yüksekliği

ABSTRACT

NUMERICAL INVESTIGATION OF EMBANKMENTS USED FOR ROCKFALL PROTECTION

Gökhan ALTAY
M.Sc., Department of Civil Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Cafer KAYADELEN

July 2015, 93 pages

In this study, the behavior of embankments used for rock fall protection were investigated using finite element based software ANSYS in three dimensional conditions. Firstly an experimental study from literature was modelled in this program for validation and then parametric studies have been performed. First of all different velocities, masses, geometries and impact heights for the falling rock blocks are investigated to see the change in maximum deformations on the embankment. Then the maximum deformations are searched by the change in specific gravity and internal friction angle of the soil used for construction of the embankment. It's found that the maximum deformations were increased with the increase in velocity, mass, and impact height of falling rock. The results of analysis by using different parameters were studied comparatively and necessary instructions are made with suggestions.

Key Words: Rock Fall, Embankment, ANSYS, Impact Height

Güzel kalpli güle yüzlü aileme...

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütölmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cafer KAYADELEN'ne teşekkürlerimi sunarım.

Beni yüksek lisansa yönlendiren ve bu süreçte yalnız bırakmayan Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet DEMİR hocama teşekkür ederim.

Başta Öğr. Gör. Hakan ERKEK olmak üzere, Arş. Gör. Baki BAĞRIAÇIK, Arş. Gör. Murat ÇELİK, Arş. Gör. Yunus Ziya KAYA, Arş. Gör. Bahadır OK ve Arş. Gör. Talha SARICI'ya teşekkür ederim.

Son olarak, her zaman bana destek olan, yardımlarını esirgemeyen ve bu zorlu maratonda beni hiç yalnız bırakmayan sevgili eşim Tuğçe ALTAY'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI.....	4
TEZ BİLDİRİMİ.....	5
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İTHAF.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1 Giriş.....	5
2.2 Kaya Düşmelerinin Fiziksel Olarak İncelenmesi.....	5
2.3 Kaya Düşmelerine Karşı Kullanılan Önleme Yapıları.....	10
2.4 Kaya Düşmelerine Karşı Kullanılan Toprak Dolgu Setler.....	14
2.5 Kaya Düşmeleri İçin Kullanılan Toprak Dolgu Setlerin Tasarım Prosedürü.....	20
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	24
3.1 Giriş.....	24
3.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	24
3.2.1 Giriş.....	24
3.2.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	24
3.2.3 ANSYS Sonlu Elemanlar Programında Modelleme Aşamaları.....	25
3.3 Yapılacak Analizlerin ANSYS Programında Modellenmesi.....	25
3.4 Arazi Deneyinin ANSYS Programında Doğrulanması.....	28
3.5 Analiz Programı.....	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
4.1 Giriş.....	33
4.2 Analiz Sonuçları.....	34
4.2.1 Seri 1: H= 3.00 ve K=1 m Olan Küp Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması.....	34
4.2.2 Seri 2: H= 2.25 ve K=1.5 m Olan Küp Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması.....	39
4.2.3 Seri 3: H= 2.50 ve K=1.5 m Olan Küp Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması.....	433
4.2.4 Seri 4: H= 2.75 ve K=1.5 m Olan Küp Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması.....	47
4.2.5 Seri 5: H= 3.00 ve K=1.5 m Olan Küp Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması.....	51

4.2.6	Seri 6: H= 3.00 ve K=1.612 m Olan Küp Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarptırılması.....	55
4.2.7	Seri 7: H= 2.20 ve R=1.6 m Olan Küre Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarptırılması.....	59
4.2.8	Seri 8: H= 3.00 ve R=1.6 m Olan Küre Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarptırılması.....	63
4.2.9	Seri 9: H= 2.00 ve R=2.0 m Olan Küre Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarptırılması.....	67
4.2.10	Seri 10: H= 3.00 ve R=2.0 Olan Küre Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarptırılması.....	71
4.2.11	Seri 11: Toprak Dolgu Setin İmalatında Kullanılan Zeminin İçsel Sürtünme Açısının Deformasyonlara Etkisi	75
4.2.12	Seri 12: Toprak Dolgu Setin İmalatında Kullanılan Zeminin Birim Hacim Ağırlığının Değişiminin Deformasyonlara Etkisi	78
4.3	Karşılaştırmalı Analizler.....	81
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
5.1	Sonuçlar.....	85
5.2	Öneriler.....	86
	KAYNAKLAR	87
	ÖZGEÇMİŞ	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kaya düşmelerine karşı kullanılan önleme yapıları.....	11
Çizelge 2.2. Kaya düşmelerine karşı kullanılan setler ve yapısal özellikleri.....	15
Çizelge 3.1. Toprak dolgu seti oluşturan zeminin malzeme özellikleri.....	28
Çizelge 3.2. Kaya blokların malzeme özellikleri.....	28
Çizelge 3.3. Tez kapsamında ANSYS programında yapılan analiz programı.....	31

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Haruniye kaplıcalarında meydana gelen kaya düşmesi	2
Şekil 1.2. Kalkan-Fethiye D400 Karayolunda meydana gelen kaya düşmesi	3
Şekil 2.1. Kayma ve yuvarlanma durumlarındaki hızları hesaplamak için üçgensel parçalara bölünen eğimli arazi	6
Şekil 2.2. Kaya bloğun çarpma öncesi ve sonrası hızları.....	7
Şekil 2.3. Kaya düşmelerini modellemek için kullanılan anlık görüntüler.....	8
Şekil 2.4. Oregon test sahasındaki kaya bloğun düşerken izlediği yolun tipik gösterimi.....	9
Şekil 2.5. Japonya'da yapılan kaya düşmesi deneyleri sonucu elde edilen verilere göre belirlenen düşme yolu.....	10
Şekil 2.6. Enerji kapasitelerine göre kaya düşmesi önleme yapıları.....	12
Şekil 2.7. Çelik ağ sistemi üzerinde yapılan arazi deneyleri.....	13
Şekil 2.8. Çelik ağ sistemini oluşturan çubuk şeklindeki malzemelerin gösterimi.....	13
Şekil 2.9. Oluşturulan çelik ağ sisteminin modellenmesi	14
Şekil 2.10. Arazide oluşturulan çelik ağ sistemi	14
Şekil 2.11. Toprak dolgu setlerin geometrisi ve kaya bloğun çarpma sırasındaki gösterimi	17
Şekil 2.12. Toprak dolgu setlerde kullanılan tampon tabakasının gösterimi	17
Şekil 2.13. Toprak dolgu setlerin ve tampon tabakalarının geometrik gösterimi.....	18
Şekil 2.14. Toprak dolgu setlerin (a) ve dolgu duvarların (b) gösterimi.....	19
Şekil 2.15. Toprak dolgu setin önüne örülen taş duvar.....	20
Şekil 2.16. Toprak dolgu setin kesit görünüşü.....	23
Şekil 3.1. ANSYS programının açılış arayüzünün gösterimi	26
Şekil 3.2. ANSYS programının malzeme tanımlama arayüzü.....	27
Şekil 3.3. ANSYS programının model oluşturma arayüzü	27
Şekil 3.4. Toprak dolgu setin boyutları.....	29
Şekil 3.5. Kaya bloğun toprak dolgu sete çarpma yüksekliği	30
Şekil 4.1. $V=25$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	35

Şekil 4.2. $V=25$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	35
Şekil 4.3. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	36
Şekil 4.4. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	36
Şekil 4.5. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	37
Şekil 4.6. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	37
Şekil 4.7. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	38
Şekil 4.8. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	38
Şekil 4.9. $H=3.00$ m ve $K=1$ m olan küp blokların hız deformasyon grafiği	38
Şekil 4.10. $V=25$ m/s, $H=2.25$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	39
Şekil 4.11. $V=25$ m/s, $H=2.25$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	39
Şekil 4.12. $V=30$ m/s, $H=2.25$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	40
Şekil 4.13. $V=30$ m/s, $H=2.25$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	40
Şekil 4.14. $V=35$ m/s, $H=2.25$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	41
Şekil 4.15. $V=35$ m/s, $H=2.25$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	41
Şekil 4.16. $V=40$ m/s, $H=2.25$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	42
Şekil 4.17. $V=40$ m/s, $H=2.25$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	42
Şekil 4.18. $H=2.25$ m ve $K=1.5$ m olan küp blokların hız deformasyon grafiği.....	42

Şekil 4.19. $V=25$ m/s, $H=2.50$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	43
Şekil 4.20. $V=25$ m/s, $H=2.50$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	43
Şekil 4.21. $V=30$ m/s, $H=2.50$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	44
Şekil 4.22. $V=30$ m/s, $H=2.50$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	44
Şekil 4.23. $V=35$ m/s, $H=2.50$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	45
Şekil 4.24. $V=35$ m/s, $H=2.50$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	45
Şekil 4.25. $V=40$ m/s, $H=2.50$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	46
Şekil 4.26. $V=40$ m/s, $H=2.50$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	46
Şekil 4.27. $H=2.50$ m ve $K=1.5$ m olan küp blokların hız deformasyon grafiği	46
Şekil 4.28. $V=25$ m/s, $H=2.75$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	47
Şekil 4.29. $V=25$ m/s, $H=2.75$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	47
Şekil 4.30. $V=30$ m/s, $H=2.75$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	48
Şekil 4.31. $V=30$ m/s, $H=2.75$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	48
Şekil 4.32. $V=35$ m/s, $H=2.75$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	49
Şekil 4.33. $V=35$ m/s, $H=2.75$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	49
Şekil 4.34. $V=40$ m/s, $H=2.75$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	50
Şekil 4.35. $V=40$ m/s, $H=2.75$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	50

Şekil 4.36. $H=2.75$ m ve $K=1.5$ m olan küp blokların hız deformasyon grafiği	50
Şekil 4.37. $V=25$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	51
Şekil 4.38. $V=25$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	51
Şekil 4.39. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	52
Şekil 4.40. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	52
Şekil 4.41. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	53
Şekil 4.42. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	53
Şekil 4.43. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları.....	54
Şekil 4.44. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	54
Şekil 4.45. $H=3.00$ m ve $K=1.5$ m olan küp blokların hız deformasyon grafiği	54
Şekil 4.46. $V=25$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.612$ m olan küp bloğun deformasyon konturları	55
Şekil 4.47. $V=25$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.612$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	55
Şekil 4.48. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.612$ m olan küp bloğun deformasyon konturları	56
Şekil 4.49. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.612$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	56
Şekil 4.50. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.612$ m olan küp bloğun deformasyon konturları	57
Şekil 4.51. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.612$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	57
Şekil 4.52. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.612$ m olan küp bloğun deformasyon konturları	58

Şekil 4.53. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m ve $K=1.612$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	58
Şekil 4.54. $H=3.00$ m ve $K=1.612$ m olan küp blokların hız deformasyon grafiği	58
Şekil 4.55. $V=25$ m/s, $H=2.20$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun deformasyon konturları	59
Şekil 4.56. $V=25$ m/s, $H=2.20$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	59
Şekil 4.57. $V=30$ m/s, $H=2.20$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun deformasyon konturları	60
Şekil 4.58. $V=30$ m/s, $H=2.20$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	60
Şekil 4.59. $V=35$ m/s, $H=2.20$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun deformasyon konturları	61
Şekil 4.60. $V=35$ m/s, $H=2.20$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	61
Şekil 4.61. $V=40$ m/s, $H=2.20$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun deformasyon konturları	62
Şekil 4.62. $V=40$ m/s, $H=2.20$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	62
Şekil 4.63. $H=2.20$ m ve $R=1.6$ m olan küre blokların hız deformasyon grafiği	62
Şekil 4.64. $V=25$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun deformasyon konturları	63
Şekil 4.65. $V=25$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	63
Şekil 4.66. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun deformasyon konturları	64
Şekil 4.67. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	64
Şekil 4.68. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun deformasyon konturları	65
Şekil 4.69. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	65

Şekil 4.70. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun deformasyon konturları.....	66
Şekil 4.71. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=1.6$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	66
Şekil 4.72. $H=3.00$ m ve $R=1.6$ m olan küre blokların hız deformasyon grafiği.....	66
Şekil 4.73. $V=25$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları.....	67
Şekil 4.74. $V=25$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	67
Şekil 4.75. $V=30$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları.....	68
Şekil 4.76. $V=30$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	68
Şekil 4.77. $V=35$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları.....	69
Şekil 4.78. $V=35$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	69
Şekil 4.79. $V=40$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları.....	70
Şekil 4.80. $V=40$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	70
Şekil 4.81. $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre blokların hız deformasyon grafiği.....	70
Şekil 4.82. $V=25$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları.....	71
Şekil 4.83. $V=25$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	71
Şekil 4.84. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları.....	72
Şekil 4.85. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	72
Şekil 4.86. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları.....	73

Şekil 4.87. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	73
Şekil 4.88. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları.....	74
Şekil 4.89. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	74
Şekil 4.90. $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre blokların hız deformasyon grafiği.....	74
Şekil 4.91. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m, $K=1.5$ m ve zeminin içsel sürtünme açısı 30^0 olan küp bloğun deformasyon konturları.....	75
Şekil 4.92. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m, $K=1.5$ m ve zeminin içsel sürtünme açısı 30^0 olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği.....	75
Şekil 4.93. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m, $K=1.5$ m ve zeminin içsel sürtünme açısı 40^0 olan küp bloğun deformasyon konturları.....	76
Şekil 4.94. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m, $K=1.5$ m ve zeminin içsel sürtünme açısı 40^0 olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği.....	76
Şekil 4.95. Toprak dolgu setin imalatı için kullanılan zeminin içsel sürtünme açısının deformasyonlar üzerindeki etkisi.....	77
Şekil 4.96. $V=35$ m/s, $H=2.25$ m, $K=1.5$ m ve zeminin birim hacim ağırlığı 18 kN/m ³ olan küp bloğun deformasyon konturları.....	78
Şekil 4.97. $V=35$ m/s, $H=2.25$ m, $K=1.5$ m ve zeminin birim hacim ağırlığı 18 kN/m ³ olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	78
Şekil 4.98. $V=35$ m/s, $H=2.25$ m, $K=1.5$ m ve zeminin birim hacim ağırlığı 23 kN/m ³ olan küp bloğun deformasyon konturları.....	79
Şekil 4.99. $V=35$ m/s, $H=2.25$ m, $K=1.5$ m ve zeminin birim hacim ağırlığı 23 kN/m ³ olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği	79
Şekil 4.100. Toprak dolgu setin imalatı için kullanılan zeminin birim hacim ağırlığının deformasyonlar üzerindeki etkisi deformasyonlar üzerindeki etkisi	80
Şekil 4.101. Farklı hızlara sahip küp blokların meydana getirdiği maksimum deformasyonlar.....	81
Şekil 4.102. Farklı kütlelere sahip küp blokların meydana getirdiği maksimum deformasyonlar.....	82

Şekil 4.103. Farklı geometrilere sahip küp blokların meydana getirdiği maksimum deformasyonlar	83
Şekil 4.104. Farklı çarpma yüksekliklerine sahip küp blokların meydana getirdiği maksimum deformasyonlar	83

SİMGELER ve KISALTMALAR

(k)	Sıçrama Katsayısı	(-)
(β)	Eğim açısı	(Derece)
(ϕ)	İçsel sürtünme açısı	(Derece)
(μ_g)	Sıçrama katsayısı	(-)
(μ_r)	Yuvarlanma katsayısı	(-)
E_{dizayn}	Düşen kaya bloğun enerjisi	(kJ)
E_{kin}	Kaya bloğun kinetik enerjisi	(kJ)
E_{set}	Toprak dolgu set tarafından karşı koyulabilecek enerji miktarı	(kJ)
F_{max}	Maksimum kuvvet	(N)
g	Yerçekimi ivmesi	(m/s ²)
H	Düşen kaya bloğun çarpma yüksekliği	(m)
h_{design}	Düşen kaya bloğun yörüngesinin yüksekliği	(m)
h_i	Durdurma yüksekliği	(m)
K	Kübik Kaya bloğun bir kenar uzunluğu	(m)
m	Kaya bloğun kütlesi	(kg)
M_E	Zeminin elastisite katsayısı	(kN/m ²)
R	Küresel Kaya bloğun çapı	(m)
V	Hız	(m/s)
δ_p	Zeminin penetrasyonu	(m)
ξ	Zemin katmanlarının maksimum kayma miktarı	(m)
γ_{ER}	Güvenlik faktörü	(-)
γ_h	Güvenlik faktörü	(-)

1. GİRİŞ

Kaya düşmesi, eğimli yamaçlarda bulunan büyük kaya bloklarının, dış olayların etkisiyle harekete geçmesi olayıdır. Altında gevşek tüfler bulunan bazalt akıntıları veya killi bir tabaka üzerinde bulunan kalker tabakalarının oluşturduğu kornişler, kaya düşmesi olaylarının sık sık görüldüğü yerlerdir. Aşınmaya dayanıksız kısmın aşınmasıyla altı boşalan tabakalarda oluşan büyük çatlaklar zamanla donma, çözülme ve güneşlenmenin etkisiyle giderek büyür, böylece parçalanmış kayaçlar yamaçtan aşağı düşer veya yuvarlanırlar. Kaya düşmesine neden olan başka bir olayda sarsıntıdır. Depremlerin doğurduğu sarsıntılar, peşinden çok sayıda kaya düşmesini getirir.

Dünyanın her yerinde olduğu gibi ülkemizde de her yıl çok sayıda kaya düşmesi olayı meydana gelmektedir. Yerleşim merkezlerinde olan kaya düşmeleri, ev veya iş yerlerinde hasarlara, zaman zaman ulaşımın aksamasına ve insan ölümüne neden olmaktadır.

Ülkemizde kaya düşmesi olayı en fazla ilkbahar ve kış mevsiminde meydana gelmektedir. Bunun nedeni bu mevsimlerde kaya çatlakları içinde suyun bulunması ve sık sık donma çözülmeye uğramasıdır.

Dağlık veya eğimli arazilerde kaya düşmeleri mühendislik yapılarına ve çevreye zarar verme noktasında önemli riskler içermektedir. Bazı ülkeler bu konuda, yani kaya düşmelerinin verdiği zararları önlemeyle ilgili ciddi yatırımlar yapabilmektedir. Örneğin İsviçre’de bir yılda 4 km’lik bir mesafeyi kaplayan alanda kaya düşmelerini önlemek için yapılan sistemler için yaklaşık olarak 6.7 milyon dolarlık yatırım yapılmaktadır [21]. Ülkemizde de kaya düşmesi riski bulunan alanlarda birçok yerleşim yeri ve mühendislik yapıları bulunmaktadır. Zaman zaman kaya düşmelerinden kaynaklanan ciddi zararlar ve hatta insan hayatını tehlikeye sokacak vakaların olduğu rapor edilmektedir. Osmaniye Düziçi ilçesinde Haruniye Kaplıcalarındaki kaya düşmesi bu konuyla ilgili bir örnek teşkil etmektedir. Dar bir vadide bulunan kaplıca yamaçtan düşen yaklaşık on ton ağırlığındaki bir kaya ile ciddi bir tehlike atlatmıştır. Şekil 1.1-a ve Şekil 1.1-b’de gösterilen düşen kaya, kaplıca

evlerinin birini delerek diğerk tarafa geçmiş ve evin tamamen hasara uğramasına sebep olmuştur.



(a)



(b)

Şekil 1.1. Haruniye kaplıcalarında meydana gelen kaya düşmesi [29]

Bir başka vaka da Kalkan-Fethiye D400 Karayolunda meydana gelen kaya düşmesidir (Şekil 1.2-a, 1.2-b, 1.2-c). Kaya düşmesi esnasında kayanın düştüğü noktada araç bulunmaması kazanın can ve mal kaybı olmadan atlattılmasını sağlamıştır. Bu vakada görüldüğü gibi kaya düşmesi riski taşıyan karayollarının önlemlerinin en kısa zamanda alınması kaçınılmazdır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.2. Kalkan-Fethiye D400 Karayolunda meydana gelen kaya düşmesi [28]

Toprak dolgu setler kaya dūřmelerine karşı kullanılan nleme yapılarından biridir. Toprak dolgu setlerin yapımı ve bakım – onarım maliyeti dūřük olduğu için çok fazla tercih edilmektedir. Ayrıca toprak dolgu setler diğer bariyer tiplerine göre daha fazla enerji absorbe etmektedir. Literatürde toprak dolgu setler için kullanılan tasarım metotları arazi deneyleri sonuçlarından elde edilen verilere dayanmaktadır. Araştırmacılar donatısız ve donatılı toprak dolgu setlerle birtakım arazi deneyleri yapmış fakat nümerik olarak setler üzerinde yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bunun nedeni de zeminin karmaşık bir plastik ve dinamik davranışa sahip olmasıdır.

Bu çalışmada kaya dūřmelerine karşı kullanılan toprak dolgu setlerin ANSYS paket programı ile üç boyutlu modelleri oluşturularak analizler yapılmıştır. Dūřen kaya bloğun geometrisinin ve çarpma yksekliliğinin toprak dolgu set üzerinde meydana gelen deformasyonlara etkisi incelenmiştir. Aynı şekilde dūřen kaya bloğun çarpma enerjisini belirleyen, kaya bloğun hızı ve ağırlılığının değişimi ile set üzerindeki deformasyonların değişimi araştırılmıştır. Ayrıca toprak dolgu setin imalatında kullanılan zeminin özelliklerinden olan içsel sürtünme açısı ve birim hacim ağırlılığın deformasyon ile ilişkisi irdelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Giriş

Bu bölümde, kaya düşmelerine ait önceki çalışmalar yer almaktadır. Öncelikle kaya düşmelerinin fiziksel olarak incelenmesi ile ilgili çalışmalar sunulmuştur. Daha sonra genel olarak kaya düşmelerini önleme yapılarından bahsedilmiş ve devamında da kaya düşmelerini önleme yapılarından biri olan toprak dolgu setler ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

2.2 Kaya Düşmelerinin Fiziksel Olarak İncelenmesi

Kaya blokların düşmesi fiziksel olarak serbest düşme şeklinde olur. Bu hareketin başında kaya blokların ilk hızı sıfırdır. Düşmeye başlayan kaya bloğu yerçekimi ivmesinin etkisi altında zamanla hız kazanmaya başlar. Dolayısıyla kaya bloğunun hızı yerçekimi ivmesi ve düşme mesafesine bağlıdır (Denklem 2.1).

$$V = \sqrt{2gH} \quad (2.1)$$

Kaya bloklarının çarpma sırasında meydana getirdikleri enerji miktarları, çarpma sırasında ki %75'lik bir enerji kaybı kabulüyle hesaplanabilir [48].

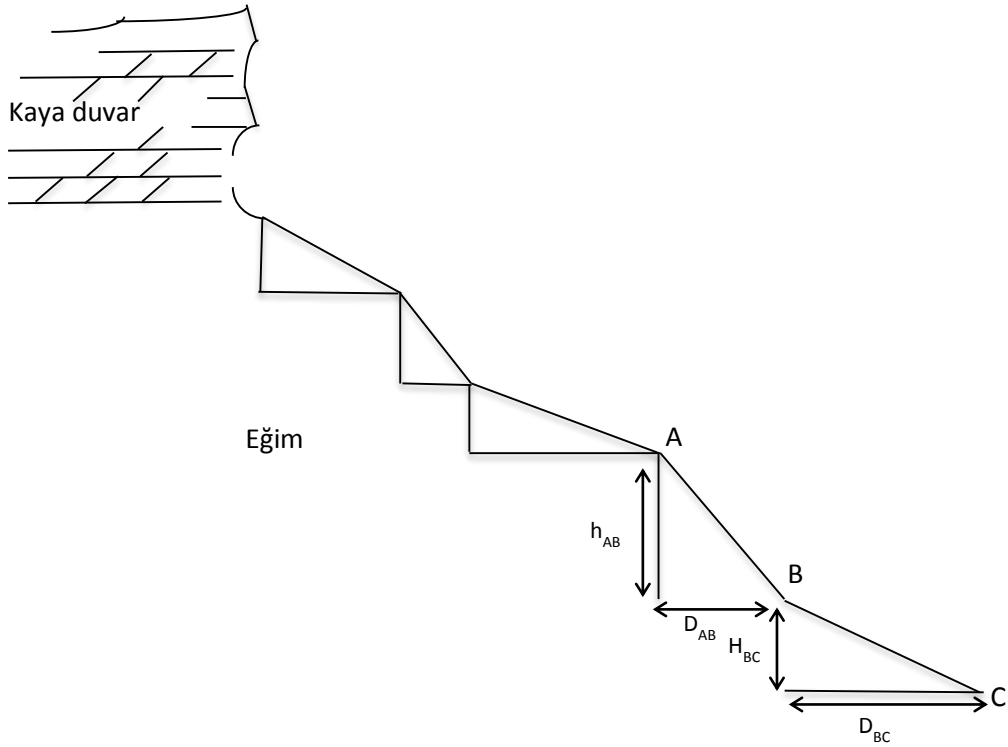
Düşmeye başlayan bir kaya bloğunun hareketi 3 çeşit hareketin birleşimi olarak tanımlanabilir, bunlar; sıçrama, kayma ve yuvarlanmadır. Yuvarlanma ve kayma durumunda, yuvarlanan kaya bloğunun hızını hesaplayabilmek için eğimli yüzey bir seri üçgensel dilimlere bölünmüştür (Şekil 2.1) [48].

Şekilde 2.1'de görüldüğü gibi, örneğin A noktasını en üst nokta kabul ederek A ile B noktası arasında ki yüksekliği düşme yüksekliği (h_{AB}) olarak alırsak, kaya bloğunun B noktasında ki hızı A noktasının yüksekliği, iki nokta arasındaki yatay mesafe (D_{AB}), yerçekimi ivmesi (g), yuvarlanma (μ_r) ve kayma (μ_g) için belirtilen sürtünme katsayılarına bağlıdır (Denklem 2.2 ve 2.3).

$$\text{Kayma; } V_B = \{(V_A^2)2g(h_{AB} - \mu_g D_{AB})\}^{(1/2)} \quad (2.2)$$

$$\text{Yuvarlanma; } V_B = \{V_A^2 + \frac{10}{7}g(h_{AB} - \mu_r D_{AB})\}^{(1/2)} \quad (2.3)$$

Yuvarlanma durumunda sürtünme katsayısı, μ_r , yaklaşık olarak eğim açısının (β) tanjantına eşittir. Bu durumda içsel sürtünme açısı, ϕ , eğim açısına eşittir bu da kararlı durum anlamına gelmektedir. Daha önceden de bilindiği üzere küçük kayalar eğim tabanına ulaşmadan bir noktada dururlar [19]. Bunun sebebi, kayma sürtünmesi katsayısının (μ_g), içsel sürtünme açısına (ϕ) eşit olan eğim açısının (β) tanjant değerinden büyük olmasıdır. Sonuç olarak kayma sürtünmesi katsayısı (μ_g), yuvarlanma sürtünmesi katsayısından (μ_r) büyüktür [47].



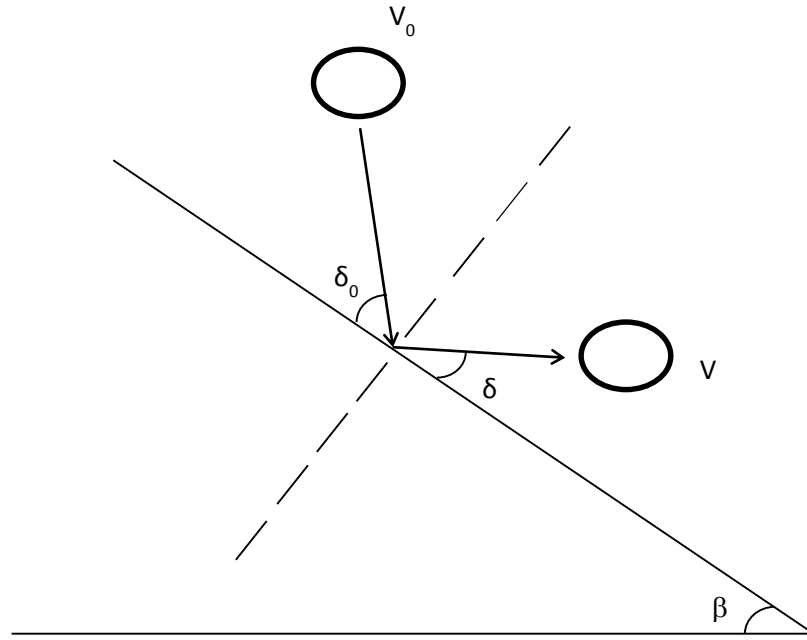
Şekil 2.1. Kayma ve yuvarlanma durumlarındaki hızları hesaplamak için üçgensel parçalara bölünen eğimli arazi [12]

Kaya bloğunun eğimli yüzeye çarpma anındaki sıçrama durumunu tahmin etmek oldukça zordur. Kaya bloğun çarpma sonrası sıçrama davranışı kayanın şekline, mekanik özelliklerine ve yüzeyin eğimine bağlıdır. Genelde, ilk hızı V_0 olan bir kaya bloğunun eğimli bir yüzeye δ_0 açısıyla çarpma anı Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Çarpma

sonrası yüzeyden ayrılma açısı ve hızı (V) bileşenleri ile birlikte denklem 2.4 ve 2.5'te gösterilmiştir.

$$V_t = V \cos \delta \quad (2.4)$$

$$V_n = V \sin \delta - g t \quad (2.5)$$



Şekil 2.2. Kaya bloğun çarpma öncesi ve sonrası hızları [12]

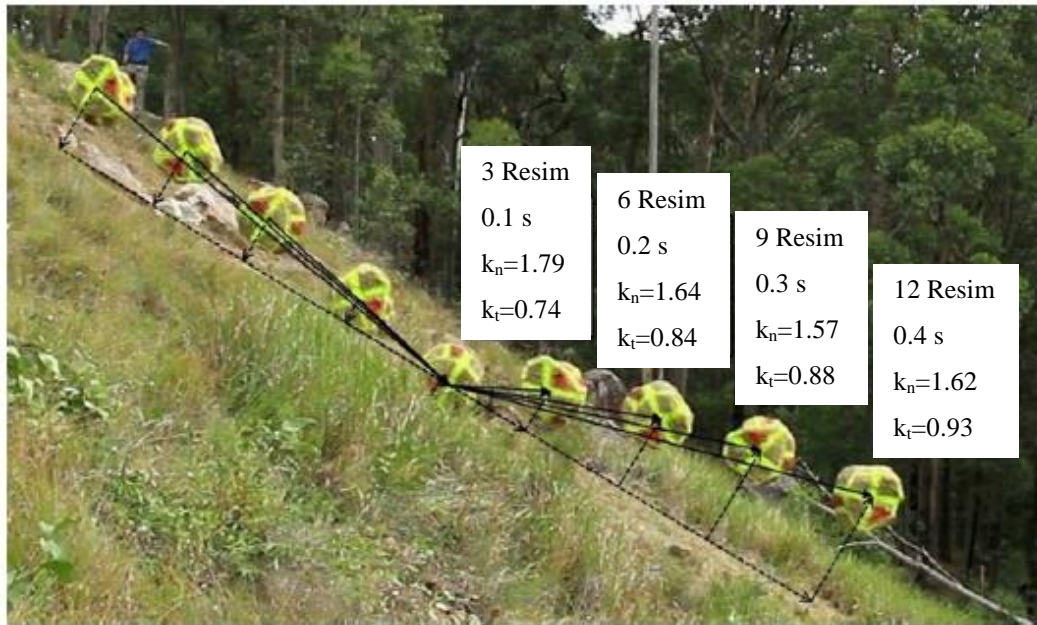
Çarpma sırasında harcanan enerjiyi ifade eden sıçrama katsayısı (k) bilgisayar ortamında yapılan çözümlerde eğimi temsil etmesi için bilgisayar girdisi olarak kullanılmıştır. Sıçrama katsayısı, düşen kaya bloğun kinetik enerjisinin bir miktarını azaltmak için kullanılır. Birçok yolla ifade edilebilen bu parametre düşen kaya blokların hareketini etkileyen ana faktörlerden biridir. Sıçrama katsayısı için kullanılan en yaygın formülasyon hız cinsinden yazılanıdır (Denklem 2.6 ve 2.7). Kaya bloğu eğimli yüzeye çarptığı anda (Şekil 2.2), hızın normal (k_n) ve teğet (k_t) bileşenleri sıçrama katsayısı ile azaltılır. Hızın normal bileşeni çarpma sonrasında işaret değiştirir [23].

$$V_n = -k_n V_{0n} \quad (2.6)$$

$$V_t = k_t V_{0t} \quad (2.7)$$

Kaya düşmesi analizlerinde değeri 0 ile 1 arasında değişen sıçrama katsayısı hesabı gelişigüzel kaya ve yüzey ilişkisi yüzünden oldukça zordur. Çünkü her bir kaya düşmesi kendi içinde birçok durumdan etkilenen birbirinden farklı olaylardır.

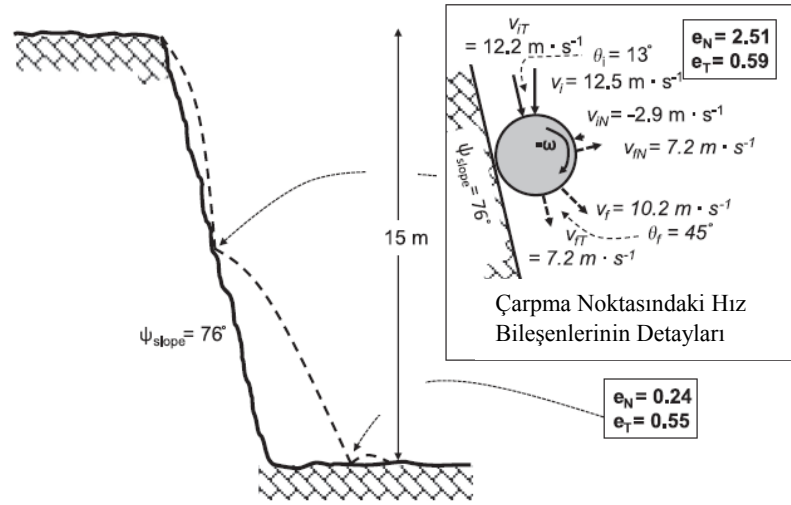
Spadari vd. [49] Avustralya’da yaptıkları çalışmalarında farklı kütlelerdeki kaya bloklarını farklı eğimlere sahip üç farklı arazide düşürerek, kaya bloğun hareketini gözlemlemişlerdir. Arazide yapılan bu deneylerde anlık görüntüler de alarak sıçrama ve yuvarlanma katsayılarını belirlemeye çalışmışlardır (Şekil 2.3). Ayrıca sıçrama durumunda kaya bloğun sıçrama sonrasında yere çarpması sonucu açığa çıkan çarpma enerjisi ve bloğun kinetik enerjisi üzerine odaklanmışlardır. Farklı koşullar altında yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler çok fazla değişkenlik gösterse de araştırmacılar sıçrama katsayısının genelde 2’den büyük olduğunu belirtmişlerdir.



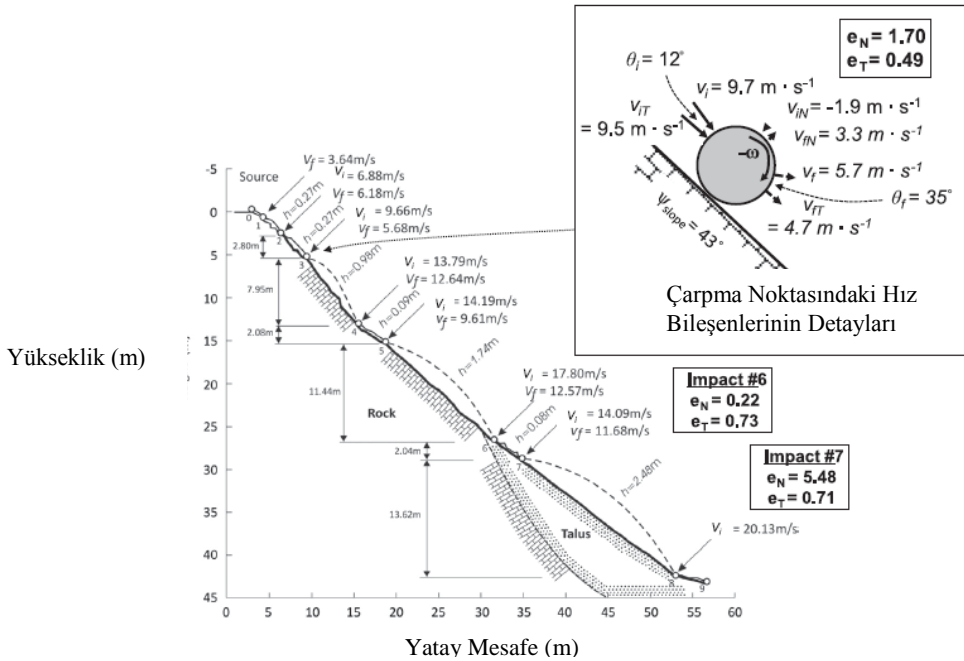
Şekil 2.3. Kaya düşmelerini modellemek için kullanılan anlık görüntüler [49]

Wyllie D.C. [53] çalışmasında kaya düşmesinin izlediği yolu belirlemek için birtakım araştırmalar yapmıştır. Araştırmalarında farklı bölgelerde yapılan arazi deneylerini inceleyerek kaya düşmesinin davranışını modellemeye çalışmıştır. Şekil 2.4’te

Oregon’da yapılan arazi deneylerinin modellenmesine ait çalışma gösterilirken şekil 2.5’te Japonya’da yapılan arazi deneylerinde kaya bloklarının izlediği yolun modellenmesi gösterilmektedir. Her iki şekilde de hız bileşenleri ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Ayrıca araştırmacı topografik okumalardan faydalanarak kaya bloğun davranışını net bir şekilde ortaya koymaya çalışmıştır. Sonuç olarak Wyllie [53], pürüzlü ve pürüzsüz eğimli yüzeylerde, dönme ve yuvarlanma için çarpma mekaniğinin teorisi çarpma durumuna, çarpma anındaki hız bileşenlerine ve sürtünme ile sıçrama katsayısına bağlı olduğunu belirtmiştir.



Şekil 2.4. Oregon test sahasındaki kaya bloğun düşerken izlediği yolun tipik gösterimi [53]



Şekil 2.5. Japonya’da yapılan kaya düşmesi deneyleri sonucu elde edilen verilere göre belirlenen düşme yolu [53]

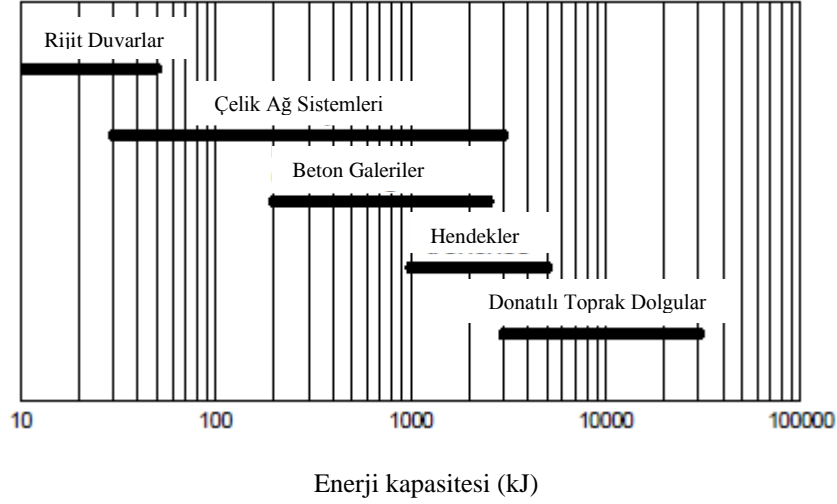
2.3 Kaya Düşmelerine Karşı Kullanılan Önleme Yapıları

Kaya düşmelerine karşı kullanılan önleme yapıları tel ağ sistemleri, bariyerler ve tutucular olarak üç ana başlık altında toplanabilirler. Tel ağ sistemleri; kaplama ve ankastre olarak iki farklı şekilde kullanılabilirler. Her iki ağ sistemi de sadece düşük çarpma enerjilerine karşı koyabilirler. Bariyerler kendi içinde toprak dolgu setler, beton bariyerler, yapısal duvarlar, esnek bariyerler ve zayıflatıcılar olmak üzere beşe ayrılırlar. Toprak dolgu setler yüksek çarpma enerjilerine karşı koyabilen önleme yapılarındandır. Özellikle de donatılı toprak dolgu setler önleme yapıları arasında en yüksek çarpma enerjisine karşı koyabilen bariyerlerdir. Üç ana başlıktan sonuncusu olan tutucular da hendekler ve hibrit hendekler olarak ikiye ayrılırlar. Hibrit hendekler, bariyerle hendeğin birlikte kullanılması ile oluşurlar. Örneğin bir toprak dolgu set önüne hendek açılması durumunda meydana gelen sistem hibrit hendek olarak adlandırılır. Çizelge 2.1 kaya düşmelerine karşı önleme yapılarını dezavantajları ile birlikte göstermektedir.

Çizelge 2.1. Kaya düşmelerine karşı kullanılan önleme yapıları [1]

Önleme Yapısı	Tanımı / Amacı	Kısıtlamalar
Tel Ağ Sistemleri		
Kaplama Ağlar	Eğimli bir arazi yüzeyine aşınmayı yavaşlatmak, düşen kayaların kontrolünü sağlamak ve onları bir toplama alanı içinde tutmak için kaplanmış altıgen tel örgü, kablo şeklinde ağlar, ya da yüksek çekme dayanımlı çelik hasır.	Bir toplama alanı gerektirir. Bağlantı noktalarının kar yükü gibi yüklerden zarar görebilir. Çapı 1.5 metreden küçük kayaların düşme ihtimali olan alanlar için uygundur.
Ankastre Ağlar	Yerinde tutturulmuş ağlar veya örgüler. Yamaçtaki kayalar ve toprağı tutmak amacıyla, aktif tutma kuvveti uygulamak için kullanılır.	Birikmiş kaya cepleri oluşturabilir. Temizlemesi zor olabilir.
Bariyerler		
Toprak Bariyerler	Doğal zemin ve kayalardan veya mekanik olarak stabilize edilmiş dolgudan inşa edilen bariyerlerdir. Etkinliğini arttırmak için bir toplama alanının önüne inşa edilirler. Özellikle MSE duvarlar daha büyük çarpma enerjilerine ve tekrarlı çarpmalara karşı koyabilirler. Kolay onarılabılır ve maliyetleri düşüktür.	Biriken kaya bloklarını toplamak için düşen kayaları toplama alanı periyodik olarak temizlenmelidir. Yüksek setler geniş taban alanı gerektirirler.
Beton Bariyerler	Düşük çarpma enerjilerinden korunmayı sağlarlar. Kolay ve hızlı inşa edilebilir ve ekonomiktirler.	Yüksek çarpma enerjilerinde rijitliğin yüksek olması nedeniyle çatlaklar ya da kırıklar oluşabilir.
Yapısal Duvarlar	Rijit bariyerler düşen kayaları durdurmak ve belirli bir alanda toplamak için kullanılırlar. Yüksek kinetik enerjili ve tekrarlı çarpmalara karşı koyabilirler.	Biriken kaya bloklarını toplamak için düşen kayaları toplama alanı periyodik olarak temizlenmelidir. Çok yüksek enerjili çarpmalar karşısında büyük hasarlar olma ihtimali yüksektir.
Esnek Bariyerler	Dayanımı ve enerji absorbe kapasitesi yüksek tel örgülerden yapılan esnek bariyerler çelik direklerle ya da ankrajlı ipler gibi durdurucularla desteklenebilirler.	Çarpma sırasında bariyerler tarafından yönü değişen kayalar için boşluklar gerektirir. Periyodik olarak temizlenmelidir. Yüksek enerjili çarpmalarda ağır hasarlar meydana gelir ve imalatı pahalıdır.
Zayıflatıcılar	Esnek bariyerlere benzer bir tel örgü sistemine sahiptirler. Düşen kayaların hareketine yavaş bir şekilde izin verilir ve bir toplama alanına yönlendirilir. Bakım onarım maliyeti düşüktür.	Bir toplama alanı ve bu alanın periyodik olarak bakımı gerekir.
Tutucular		
Hendekler / Hibrit Hendekler	Eğim boyunca belirli şekillerde yapılmış önleme yapılarıdır. Estetik olarak en avantajlı koruma yapılarıdır. Hibrit hendekler bariyer ve hendeklerin birleşiminden oluşurlar.	Pürüzlü ve dik yamaçlar büyük toplama alanları gerektirirler. Toplama alanı periyodik olarak temizlenmelidir.

Almanya kaya düşmesi önleme yapıları üzerindeki yüklemeler isimli standardında, önleme yapıları ve karşı koyabilecekleri çarpma enerjilerini belirtmişlerdir. Karşı konulan enerji düzeyleri Şekil 2.6.'da gösterilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı üzere donatılı toprak dolgu setler en yüksek çarpma enerjilerine karşı koyabilen önleme yapılarıdır.



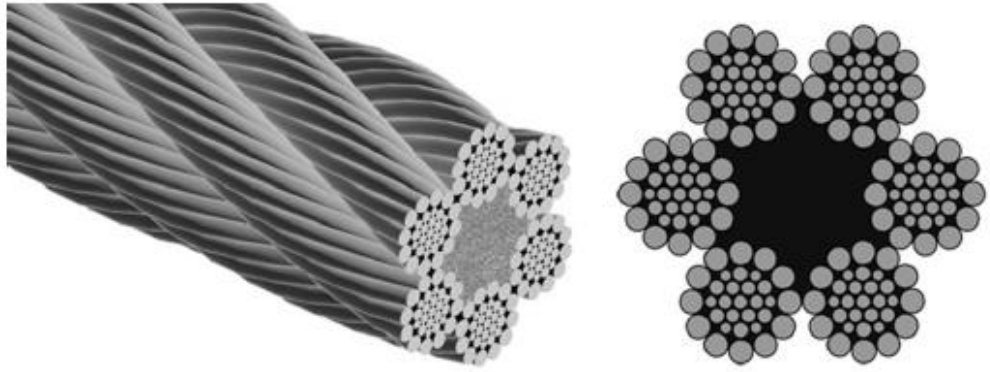
Şekil 2.6. Enerji kapasitelerine göre kaya düşmesi önleme yapıları [21]

Pertolo vd. [43] kaya düşmelerine karşı kullanılan önleme yapılarından olan tel ağlar üzerinde birtakım çalışmalar yapmışlardır. 10 mm kalınlığında çelik tellerle 300*300 mm kare ağlardan oluşturdukları önleme yapısı ile arazide yaptıkları deneylerde sistem üzerinde meydana gelen elastik ve plastik deformasyonları gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak araştırmacılar çalışmalarında tel ağ sistemleri oluşturulurken sistemin en zayıf noktasının dayanabileceği maksimum kuvvetin dikkate alınması gerektiğini söylemişlerdir. Ayrıca sistemin kurulacağı noktada arazi şartlarının kurulum sırasında en önemli belirleyicilerden biri olacağı belirtilmiştir. Şekil 2.7'de çalışmalarda yapılan arazi deneylerine ait resimler görülmektedir.

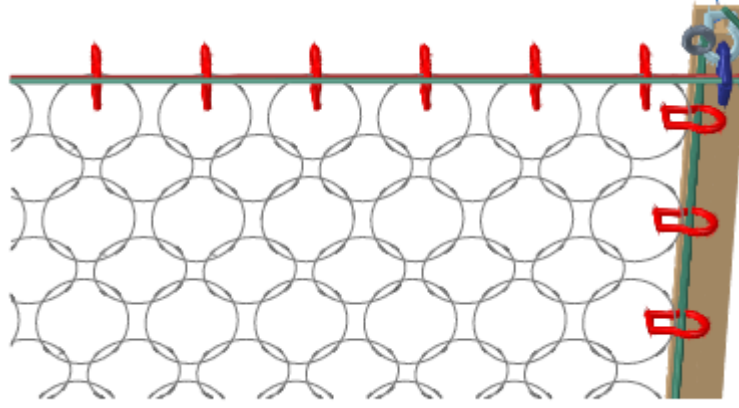


Şekil 2.7. Çelik ağ sistemi üzerinde yapılan arazi deneyleri [43]

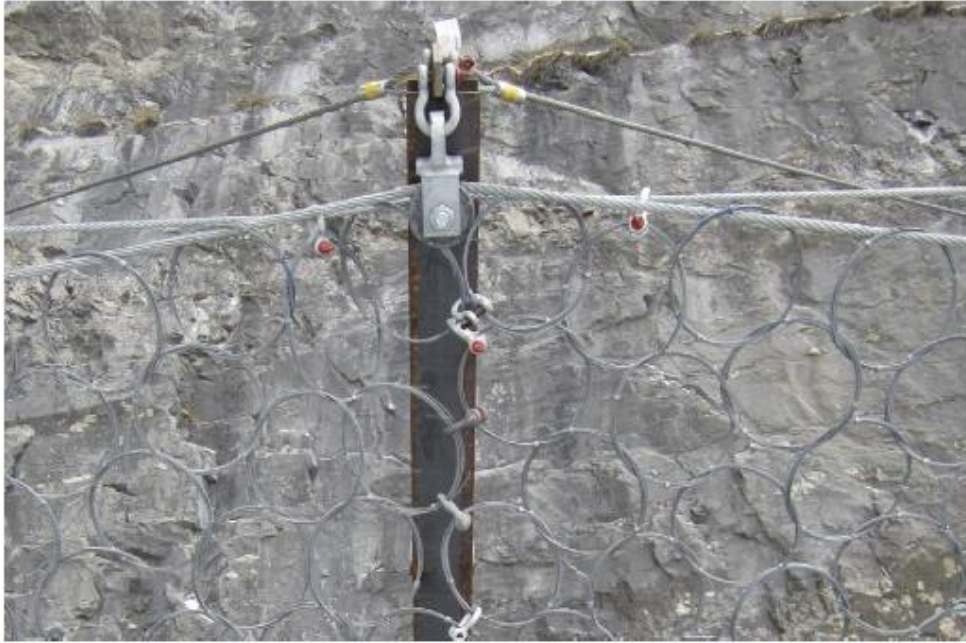
Escallon vd. [17] çalışmalarında kaya düşmelerini önlemek için kullanılan bariyerlerin tasarım parametrelerini belirlemek için bir formülasyon geliştirmişlerdir. Araştırmacılar geliştirdikleri bu formülasyonu sonlu elemanlar metodu kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırmış ve sonuçların birbiri ile uyumlu olduklarını tespit etmişlerdir. Sonuçlar arasındaki uyumun sadece kuvvet değil deformasyon bazında da oldukça iyi derecede olduğunu söylemişlerdir. Şekil 2.8, 2.9 ve 2.10'da araştırmacıların model olarak ve arazi de kullandıkları çelik ağ sistemleri gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Çelik ağ sistemini oluşturan çubuk şeklindeki malzemelerin gösterimi [17]



Şekil 2.9. Oluşturulan çelik ağ sisteminin modellenmesi [17]





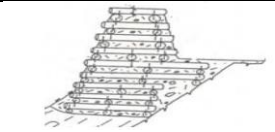
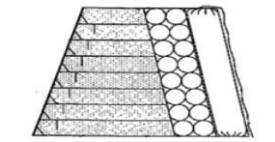



Şekil 2.10. Arazide oluşturulan çelik ağ sistemi [17]

2.4 Kaya Düşmelerine Karşı Kullanılan Toprak Dolgu Setler

Kaya düşmelerine karşı koruma yapıları olan toprak dolgular yüksek kinetik enerjili kaya düşmelerine karşı koymak için hem inşaat hem de maden mühendisliği uygulamalarında geniş çapta kullanılırlar. Sıkıştırılmış doğal zeminle oluşturulan, büyük kaya bloklarla imal edilen, istihkam duvarından elde edilen ve donatı ile elde edilen farklı toprak dolgu tipleri kullanılmıştır [20, 32, 33, 39, 40, 52]. Bunlar arasında en sık kullanılanı donatılı toprak dolgulardır.

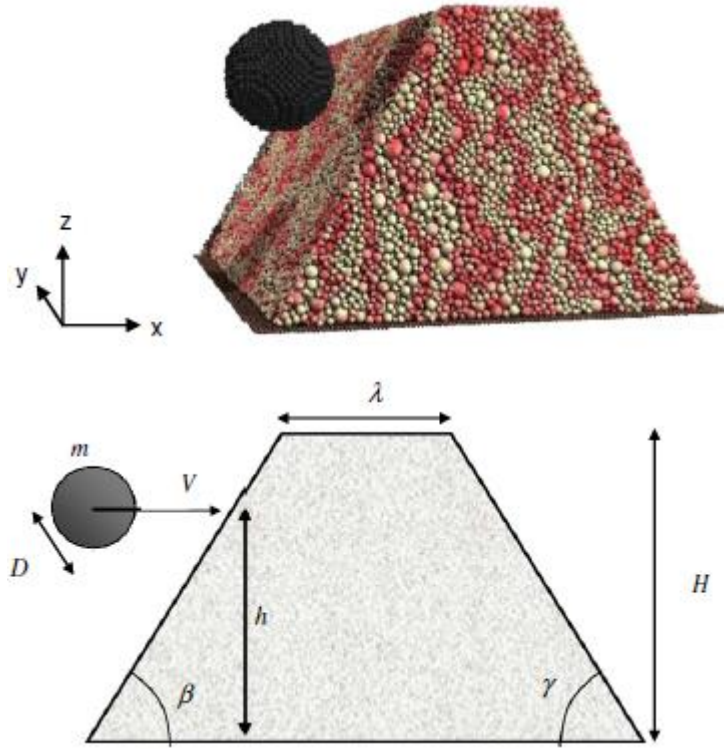
Çizelge 2.2. Kaya düşmelerine karşı kullanılan setler ve yapısal özellikleri [46]

Tip	Geometri	Örnek	Referans
Sıkıştırılmış zemin ile oluşturulan set	İkizkenar trapez Yüzeylerin yatayla yaptığı açı 35° Max. Yükseklik 5÷6 m	 Rasa Quarry (Varese, İtalya)	[36] [13]
Büyük kaya bloklarla oluşturulan set	İkizkenar trapez Yüzeylerin yatayla yaptığı açı 35° Max. Yükseklik 12 m	 Chatillon (Aosta Vadisi, İtalya)	[38]
Bir tarafı sıkıştırılmış zemin ile diğer tarafı gabyon ile oluşturulan set	Dik Yamuk Vadi tarafının yatayla yaptığı açı 35° Dağ tarafının yatayla yaptığı açı 90°	 Paluzza (Udine – İtalya)	[34] [26]
Gabyonlarla oluşturulan set	İkizkenar Trapez ya da Paralelkenar Vadi tarafının yatayla yaptığı açı 70° - 90° Dağ tarafının yatayla yaptığı açı 70° - 90°	 (Fransa)	[52] [25]
Sıkıştırılmış zemin ile oluşturulan odun ve çelik barlarla güçlendirilmiş set	İkizkenar Trapez Yüzeylerin yatayla yaptığı açı 60° - 70°	 Dorénaz (Vallis, İsviçre)	[51]
Geogrid veya geotekstil ile güçlendirilmiş zeminle oluşturulan ve bir tarafında çarpma enerjisini emen tabakadan oluşan set	İkizkenar Trapez Vadi tarafının yatayla yaptığı açı 70° - 90° Dağ tarafının yatayla yaptığı açı 70° - 90° , Dağ tarafında kum torbaları ile oluşturulan blok mevcut	 Tyama (Japonya)	[54]
Geogrid, geotekstil veya metal tel örgü ile güçlendirilmiş zeminle oluşturulan set	İkizkenar Trapez Vadi tarafının yatayla yaptığı açı 70° - 90° Dağ tarafının yatayla yaptığı açı 70° - 90°	 Rhemes Saint, Georges (Aosta Vadisi, İtalya)	[28] [8] [40] [37]

Toprak dolguların bu kadar yaygın kullanılmasına rağmen, zeminin lineer olmayan gerilme şekil değiştirme davranışı çarpma anında oluşan büyük deformasyonlar, zeminin dinamik davranışına dair belirsizlikler ve zeminin donatı ile etkileşimindeki belirsizliklerden dolayı bir tasarım prosedürü henüz literatürde bulunmamaktadır.

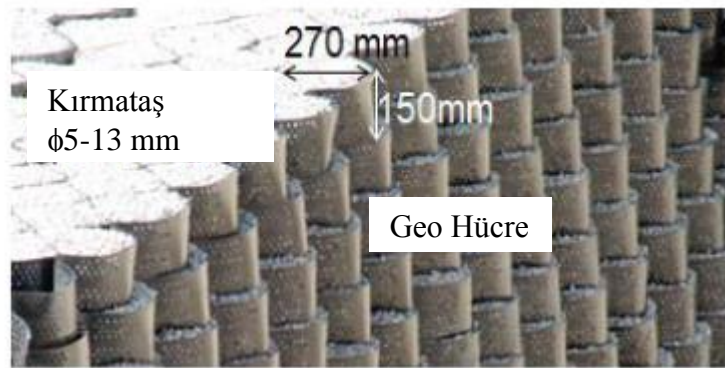
Çarpma sırasındaki donatılı toprak dolgunun davranışını anlayabilmek için bazı yazarlar tarafından birkaç arazi deneyi uygulanmıştır [3, 8, 40, 42, 51, 54]. Bu çalışmalar, karmaşık oldukları için sadece sınırlı sayıda farklı geometriler ve çarpma enerjilerinin çalışılmasına izin vermiştir. Dahası, donatılandırılmış toprak setlerin çalışılması için geliştirilen numerik modelleme arazi deneylerinin geriye dönük çözümlenmesiyle sınırlı olmuştur ve bu araştırmacılar bu tip bir koruma yapısı için genel bir tasarım prosedürü geliştirememişlerdir [4, 5, 9, 10, 11, 15, 16, 25, 26, 40, 44].

Plassiard ve Donze [45] ayrık elemanlar yöntemini kullanarak toprak dolgu setlerin tasarımının optimizasyonu üzerine çalışmıştır. Çalışmada ayrık elemanlar yöntemini kullanan SDEC (Spherical Discrete Element Code) isimli yazılım kullanılmıştır. Şekil 2.11.'de toprak dolgu setin tasarımına ilişkin setin geometrisi ve kaya bloğun çarpma anındaki görüntüsü gösterilmektedir. Sonuç olarak araştırmacılar toprak dolgu setin imalatında kullanılan zeminin kohezyonu ve elastisite modülünü artırarak daha yüksek çarpma enerjilerine karşı koyabilecek setler oluşturulabileceğini söylemişlerdir.

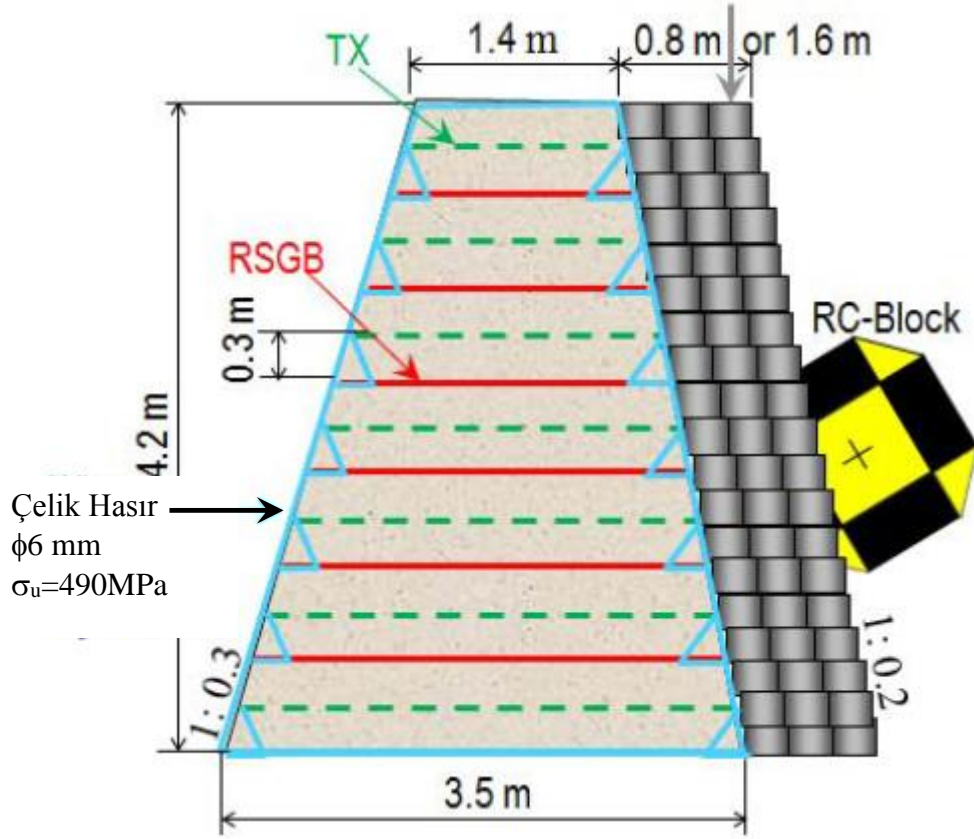


Şekil 2.11. Toprak dolgu setlerin geometrisi ve kaya bloğun çarpma sırasındaki gösterimi [45]

Maegawa ve Van [31] yaptıkları deneysel çalışmada geogrid ile güçlendirilmiş toprak dolgu setlerinin kaya düşmelerine karşı önlem olarak kullanılmasını incelemiştir. Şekil 2.12 ve 2.13.'de deneyler de kullanılan toprak dolgu setin şematik olarak resmi görülmektedir. Deneylerde çarpma kuvveti ile çarpma enerjisi arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Araştırmacılar kaya düşmesinden dolayı hasar gören setlerin düşük maliyetle yeniden onarılmasının mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

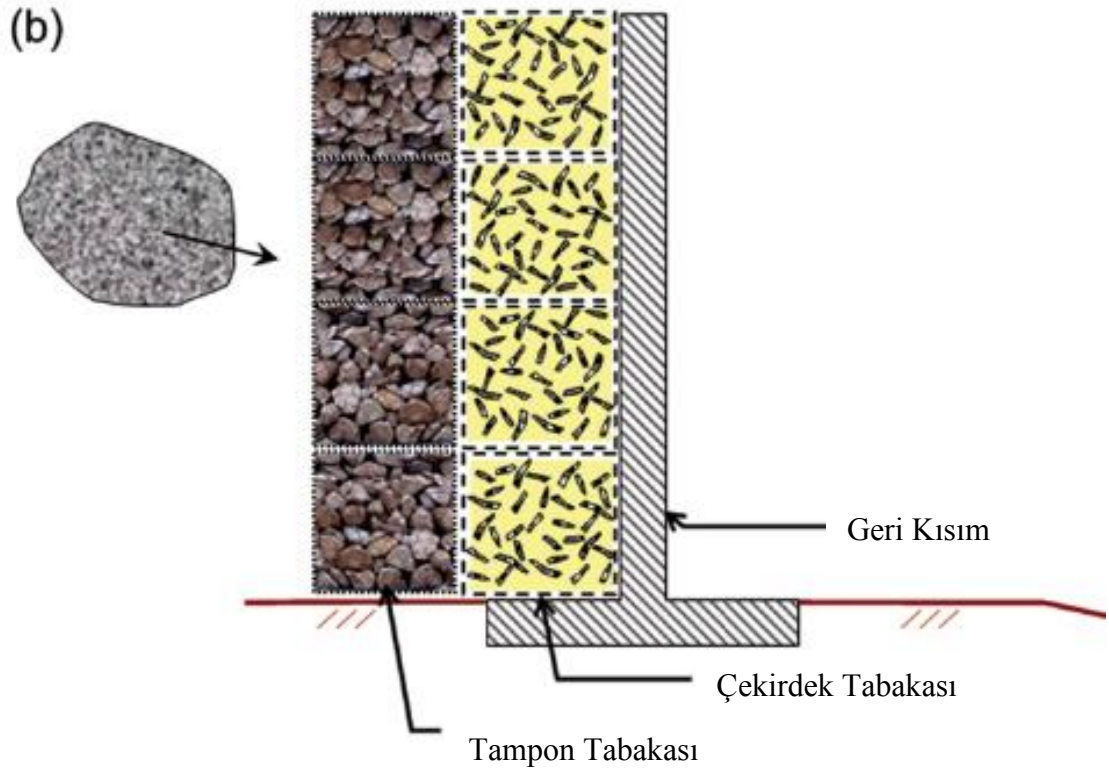
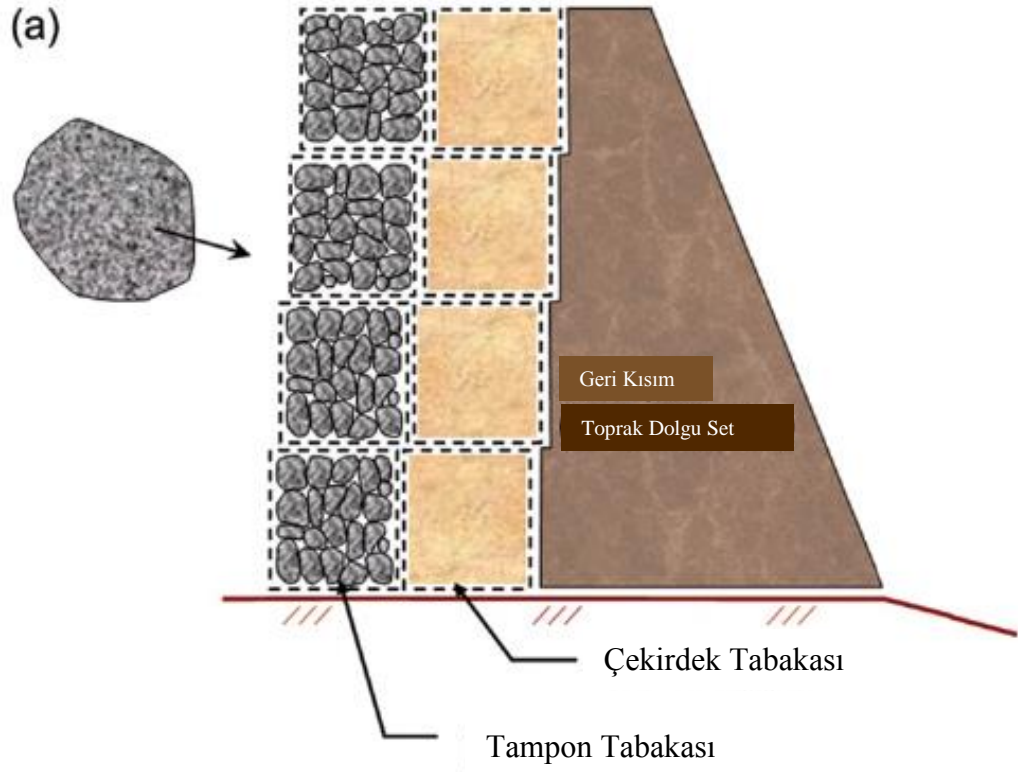


Şekil 2.12. Toprak dolgu setlerde kullanılan tampon tabakasının gösterimi [31]



Şekil 2.13. Toprak dolgu setlerin ve tampon tabakalarının geometrik gösterimi [31]

Bourrier vd. [6] çalışmalarında toprak dolgu setlerin önlerinde farklı malzemeler kullanarak tabakalar oluşturmuşlardır. Oluşturdukları bu tabakaları hücrelere bölen araştırmacılar deneysel ve nümerik çalışmalar yapmışlardır. Şekil 2.14.'te toprak dolgu set ve dolgu duvarlar önündeki katmanlar düşen kaya bloklar ile birlikte gösterilmektedir. Düşen kaya bloğun temas ettiği ilk katman daha kolay deforme olabilen malzemelerle oluşturulurken gerideki katmanlar daha rijit olan ve kalıcı deformasyonlara belirli bir limite kadar izin veren malzemelerden oluşturulmuştur.



Şekil 2.14. Toprak dolgu setlerin (a) ve dolgu duvarların (b) gösterimi [6]

Lambert vd. [27] kaya düşmeleri ile ilgili büyük ölçekli deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda 200 kJ'den 2200 kJ enerjiye sahip kütleleri inşa ettikleri toprak dolgu setlerine çarptırmışlardır. Toprak setin ön tarafına küçük boyutlu taşlarda bir duvar örülmüştür. Deneylerde çarpma enerjisinin oluşan deformasyonlar üzerinde önemli etkileri olduğu belirtilmiş ve taş duvarın deformasyonları önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. (Şekil 2.15.)



Şekil 2.15. Toprak dolgu setin önüne örülen taş duvar [27]

2.5 Kaya Düşmeleri İçin Kullanılan Toprak Dolgu Setlerin Tasarım Prosedürü

Üç boyutlu nümerik analizlerde birebir dinamik çözüm yapmak, hesaplamalar çok vakit alacağı için oldukça zordur. Bu yüzden kaya kütlelerinin toprak dolgu setler üzerindeki etkisini analitik yaklaşımlarla hesaplamak uygun olacaktır [41]. Farklı araştırmacılar çarpma enerjisini ve aktarımını hesaba katan, örneğin kuvvet dengesi gibi bazı analitik yaklaşımlar önermişlerdir. Bu yaklaşımlar hem donatılı hem de donatısız toprak dolgu setleri için uygun olan yaklaşımlardır [51].

Tasarım prosedürünün amaçları, eğimin ve toprak dolgu setin statik analizi ve içsel durabilitesi [7] dışında, aynı toprak dolgu setin çarpma sırasında hasar görmeden kaya

bloklara karşı durabildiğini, kaya blokların setin diğer tarafına geçip geçmediğini ve setin göçüp göçmediğini kontrol etmektir.

Toprak dolgu setin yapımında kullanılan zemin donatılı olduğu durumda, çarpma sırasında setten etrafa kaya parçacıkları fırlamadığı görülmüştür. Kaya bloğun, toprak dolgu set tarafından durdurulması, özellikle çevreye kaya parçacıklarının fırlamasını engelleyerek bloğun durdurulması çok önemlidir. Kaya bloğun toprak dolgu seti geçmesi riski, düşen bloğun yuvarlanma hızına bağlıdır. Fakat düşen kaya bloğu sete çarptığı tarafta, setin yerle 70 derece yaptığı durumda, seti geçmek için genelde yeterli dönüş enerjisine sahip değildir. Çarpma sırasında yapının stabilitesinin kontrolü, zemin tabaklarının kaymasının, çarpmanın olduğu tarafta oluşan krater ile zeminin plastikleşmesinin setin genel olarak göçmesini tetiklemediğini doğrulamasını içermelidir [46]. Bu yüzden tasarım sırasında şu kontrollerin yapılması gerekmektedir;

a) Toprak dolgu set tarafından karşı koyulabilecek enerji miktarının (E_{Set}), düşen kaya bloğun enerjisinden E_{Dizayn} büyük olduğu durumda;

$$E_{Dizayn} - \frac{E_{Set}}{\gamma ER} \leq 0 \quad (2.8)$$

Burada; γER güvenlik faktörü, E_{set} : Karşı koyan toprak dolgu setin dayanabileceği maksimum enerji, E_{Dizayn} : Yıkma çalışın kaya bloğun enerjisi [17].

b) Durdurma yüksekliği (h_i), toprak dolgu set yüksekliğinden zeminin en üst tabakasının çıkarılmasıyla elde edilen yüksekliktir. Durdurma yüksekliğinin, düşen kaya bloğun hesaplanan yörüngesinin yüksekliğinden (h_{design}) büyük olması durumunda;

$$h_{design} - \frac{h_i}{\gamma h} \leq 0 \quad (2.9)$$

Burada; γh güvenlik faktörü, h_i karşı koyan yükseklik ve h_{design} düşen kaya bloğun yörüngesinin yüksekliğidir [18].

Toprak dolgu set tarafından karşı konulması gereken enerji miktarı (E_{set}) çarpmadan sonra yapının genel stabilitesi dikkate alınarak hesaplanır. Çarpmada dikkate alınan bu parametreler, zemin katmanlarının maksimum kayma miktarı (ξ), zeminin plastikleşmesi ve plastikleşmeye bağlı zeminin penetrasyonudur (δ_p). Kaya blokların toprak dolgu set üzerine düştüğü tarafta açılan çukurun toplam boyutları, kaymadan oluşan deformasyon bileşenine plastikleşme (δ_p) eklenerek bulunur. Eğer genişliği fazla olan bir toprak dolgu set kullanılırsa yapının güvenlik faktörü artar [46].

δ_p değeri, durdurma sırasında etki eden maksimum kuvvet (F_{max}) hesaplanıp, kaya bloğun kinetik enerjisinin %80÷85'ine eşitleyerek ve durdurma kuvvetinin sebep olduğu plastik deformasyon ile elde edilebilir.

$$\delta_p = \frac{(0.80 \div 0.85).mv^2}{F_{max}} \quad (2.10)$$

δ_p : Maksimum penetrasyon [m],

m : Kaya bloğunun kütlesi [kg],

v : Çarpma öncesi kaya bloğun hızı [m/s],

F_{max} : Durdurma sırasında ki maksimum kuvvet [N]

Çarpma katsayısı seçimi enerji düzeyine göre; 5000 kJ'den daha az enerji düzeyleri için 0.85 alınırken, 5000 kJ'den daha fazla enerji düzeyleri için 0.80 alınır.

F_{max} hesabı için Montani ve Labiouse [24] tarafından önerilen, kaya düşmesi için yapılan koruma yapısının genişliği üzerine yapılan çalışmalardan türetilen, modelden geliştirilen formülü kullanmak mümkündür.

$$F_{max} = 1.765(M_E^{2/5})(R^{1/5})((0.80 \div 0.85)E_{kin})^{3/5} \quad (2.11)$$

M_E : Zeminin elastisite katsayısı (genelde plaka yükleme deneyinin ilk yükleme eğrisinden hesaplanır) [kN/m^2],

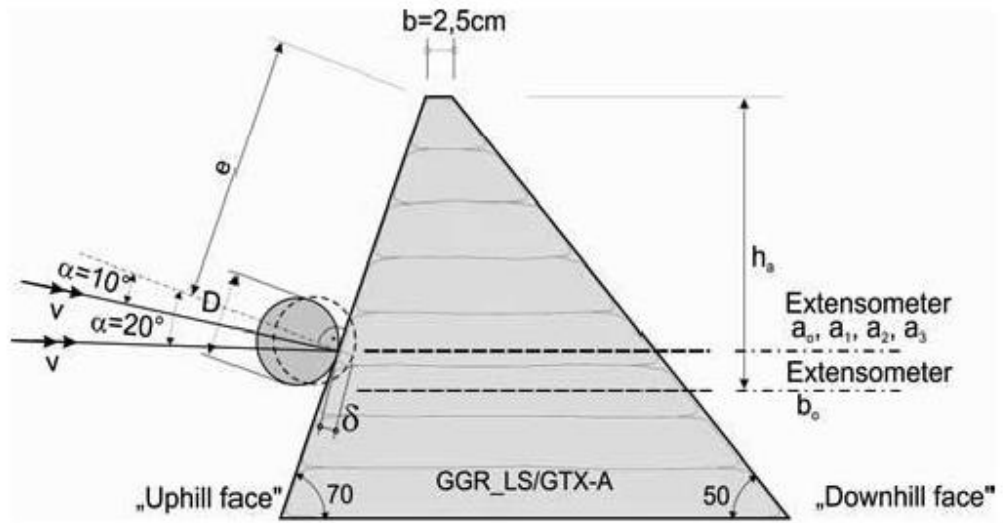
R : Kaya bloğunun çapı [m],

E_{kin} : Kaya bloğunun kinetik enerjisi [kJ].

ξ değeri kaya bloğun kinetik enerjisinin ve katmanların kaymasından dolayı sürtünme kuvveti tarafından harcanan enerjinin %15÷20 sine eşitleyerek hesaplanabilir. Çarpma katsayısı seçimi enerjisi düzeyine göre; 5000 kJ'den daha az enerji düzeyleri için 0.15 alınırken, 5000 kJ'den daha fazla enerji düzeyleri için 0.20 alınır.

δ_p ve ξ değerleri bilindiğinde toprak dolgu set dizaynı, setin çarpma sonrasında deforme şeklinin stabil olmasını gerektirir. Bu durum deforme olan geometrinin statik analiziyle kontrol edilebilir.

Hofmann vd. [22] kaya düşmelerine karşı önlem yapısı olarak kullanılan toprak dolgu setlerinin tasarım ilkeleri ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Ayrıca bu çalışmada toprak setler ile metal ağları kullanım yönünde karşılaştırılmasını yapmışlardır. Karşılaştırmada toprak dolgu setlerin uzun ömürlülüğü, düşük maliyet ve daha fazla enerji absorbe edebilme kapasitesi yönünden daha avantajlı olduğu ifade edilmiştir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Toprak dolgu setin kesit görünüşü [22]

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Giriş

Bu bölümde, öncelikle literatürde yer alan önceki araştırmacıların yaptığı arazi deneyleri sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan ANSYS paket programında üç boyutlu olarak modellenerek analiz edilmiş ve yapılan arazi deneyleri ile ANSYS analizlerinin sonuçları arasındaki uyum incelenmiştir. Sonuçlar arasındaki uyum elde edildikten sonra parametrik çalışma yapılmıştır. Düşen kaya bloğun hızı, boyutları, geometrisi, çarpma yüksekliği ve toprak dolgu setin imalatında kullanılan zeminin ϕ ve γ 'sı değiştirilerek sonuçlar irdelenmiştir. Deneylerde kullanılan toprak dolgu setin imalatı için gerekli olan zeminin özellikleri, kaya bloğu temsilen kullanılan beton bloğun özellikleri ve deney modeli açıklanmıştır.

3.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi

3.2.1 Giriş

Analizlerde sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS programı kullanılmıştır. Farklı parametrelerin etkisini incelemek amacıyla, oluşturulan modellerde üç boyutlu analiz yapabilen ANSYS programı ile sayısal çözümler elde edilmiştir. Bu bölümde sonlu elemanlar yöntemi ve ANSYS programı tanıtılmıştır.

3.2.2 Sonlu Elemanla Yöntemi

Son yıllarda, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak teorik analizlerde sayısal çözümlerin önemi artmıştır. En yaygın olarak kullanılan sayısal çözüm yöntemlerinden birisi sonlu elemanlar yöntemidir. Bu yöntemde, sürekli ortamlardan oluşan sistemler üzerinde, sonlu eleman ağı ile hayali düğümler oluşturulur. Kodlama tekniği ile sistem kütle ve rijitlik matrisleri oluşturularak sisteme ait hareket denklemi elde edilir. Sistem hareket denklemi de uygun bir yöntem ile çözülerek, deplasmanlar ve gerilmeler hesaplanır [14].

Sonlu elemanlar yönteminde, ağ modelindeki her eleman komşusu olan diğer elemanlara gerçekte sonsuz sayıda nokta ile bağlı olmasına rağmen, bu yöntemde sadece düğüm noktaları vasıtasıyla bağlanır. Böylece, deplasmanların uygunluğunun

sadece bu noktalarda sağlanması yeterli olacaktır. Yöntemin sistematik olması ve her türlü yapıya aynı işlemlerle uygulanabilir olması en önemli özelliğidir. İşlem hacminin büyümesi, dezavantaj olarak görünse de bu olumsuzluk, bilgisayar yardımıyla aşılmaktadır [35].

3.2.3 ANSYS Sonlu Elemanlar Programında Modelleme Aşamaları

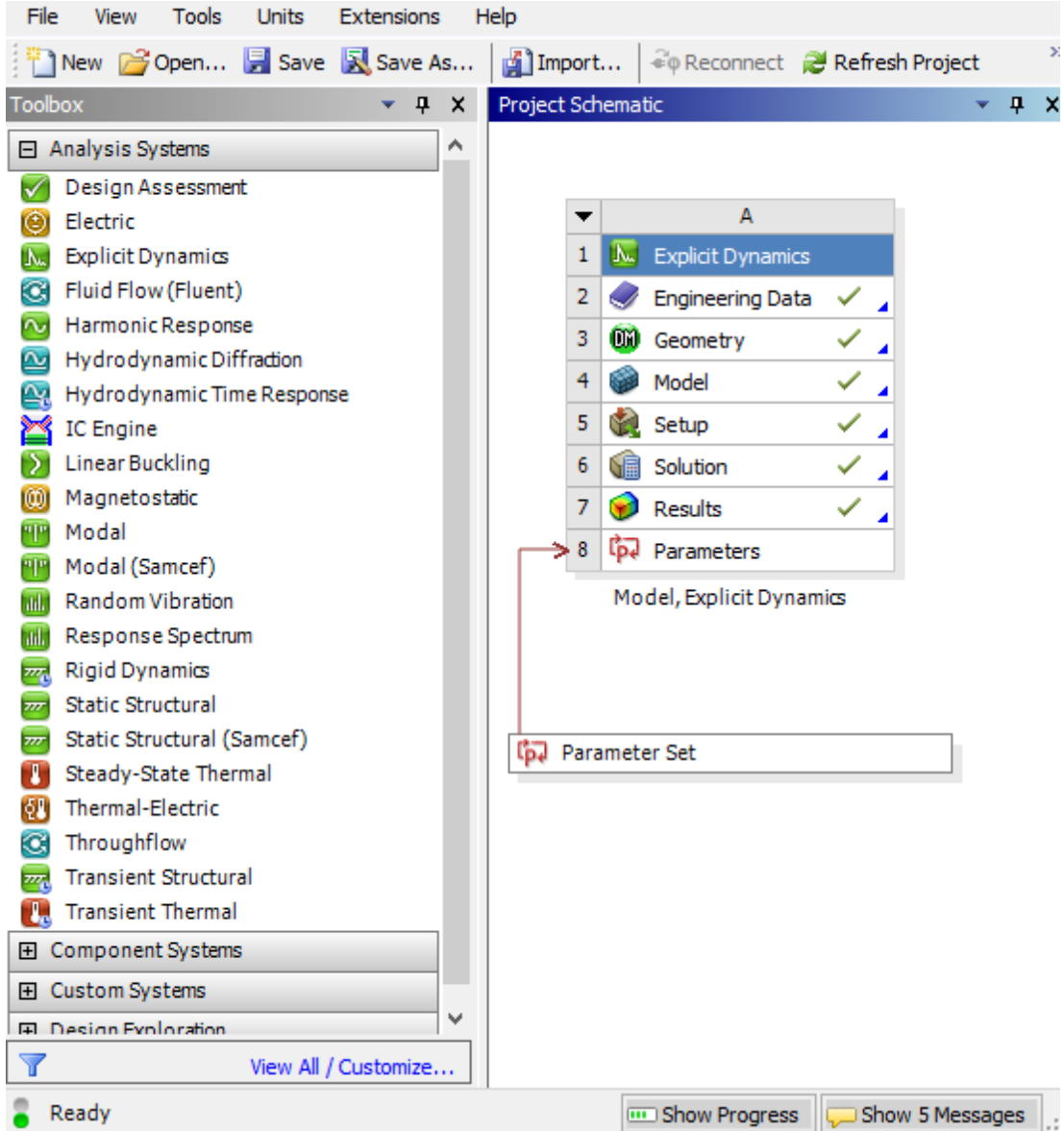
Sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS bilgisayar programı, çok sayıda mekanik problemin çözümünü yapan genel amaçlı bir programdır. Bu problemler dinamik, statik, lineer ve lineer olmayan analizler, akışkan problemleri, yapı analizi, ısı transferi, akustik ve elektromanyetik olabilir [50].

3.3 Yapılacak Analizlerin ANSYS Programında Modellenmesi

ANSYS programı açıldığında ilk etapta analiz sistemleri ekrana gelmektedir. Bu analiz sistemlerinden birinin seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada analiz sistemleri arasından “Explicit Dynamics” isimli analiz sistemi seçilmiştir. Analiz sistemi seçildikten sonra ekranda oluşan ara yüz Şekil 3.1’de görülmektedir. Şeklin sol tarafında “Explicit Dynamics” dışındaki diğer analiz sistemleri de görülmektedir. Sistem seçildikten sonra sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

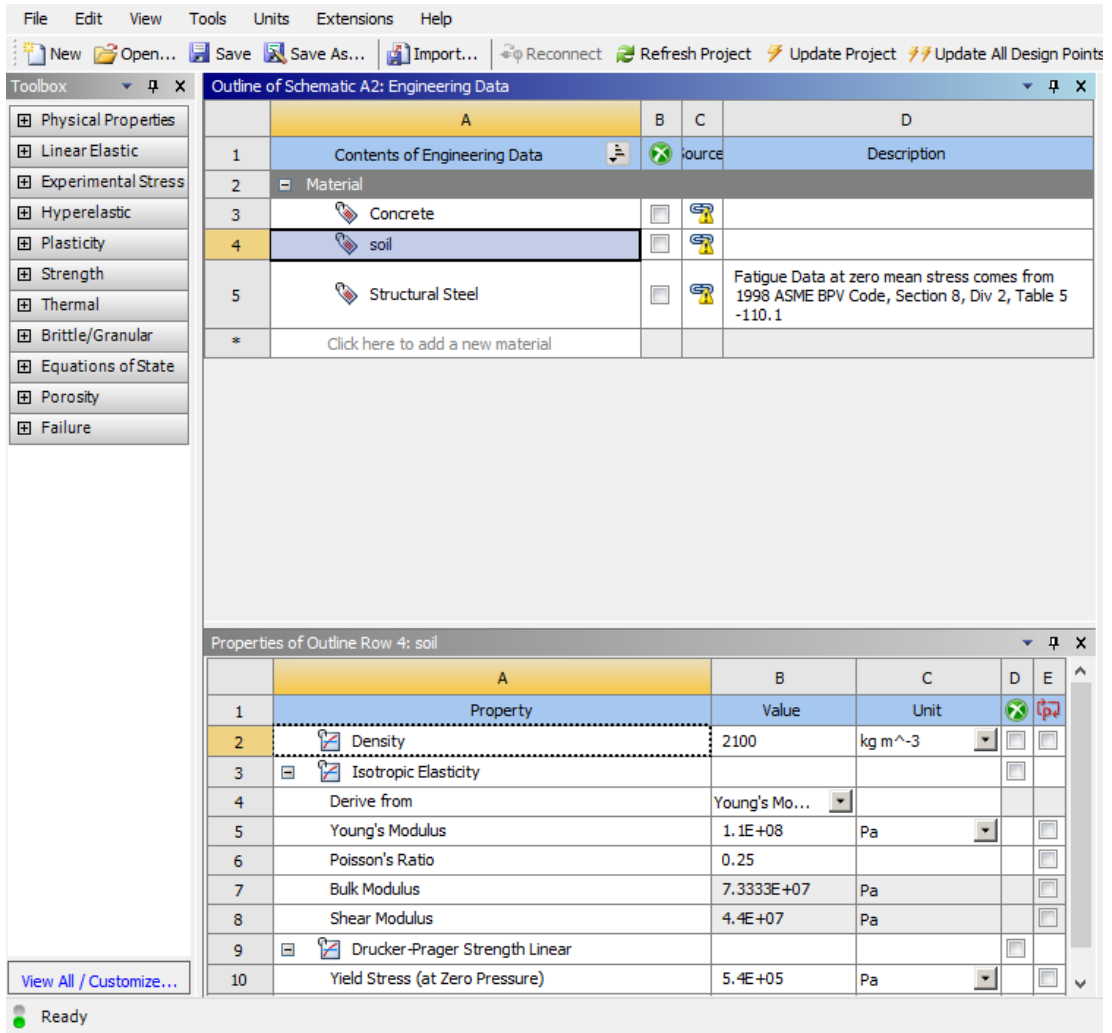
- 1- Mühendislik Verileri
- 2- Geometri
- 3- Model
- 4- Kurulum
- 5- Çözüm
- 6- Sonuçlar

İzlenen bu adımlar yine Şekil 3.1’de görülmektedir. Analiz sisteminin seçimi ile birlikte bu adımlar otomatik olarak ekrana gelmektedir.

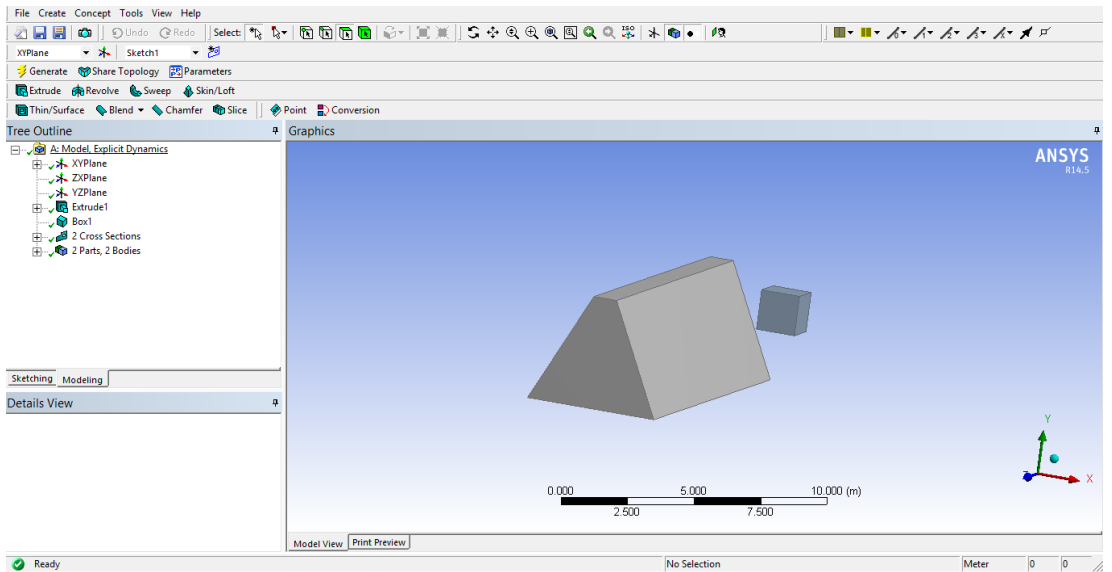


Şekil 3.1. ANSYS Programının Açılış Ara Yüzünün Gösterimi [2]

Adımlardan ilki olan mühendislik verilerinde oluşturulacak modelde kullanılacak malzemelerin özellikleri girilmelidir. Bu çalışmada toprak dolgu seti oluşturmak için kullanılan zeminin özellikleri ve düşen kaya bloğu temsilen kullanılan beton bloğun malzeme özellikleri ilk adımda programa girilmiştir. Şekil 3.2’de programın malzeme tanımlama ara yüzü görülmektedir. Modelde kullanılacak malzemelerin özellikleri bu ara yüzde tanımlanır ve daha sonra modelde kullanılan cisimlere atanır.



Şekil 3.2. ANSYS Programının Malzeme Tanımlama Ara Yüzü [2]



Şekil 3.3. ANSYS Programının Model Oluşturma Ara Yüzü [2]

Malzeme parametreleri girildikten sonra ikinci adım olan geometri ve üçüncü adım olan model adımlarına geçilir. Şekil 3.3'te programın model oluşturma ara yüzü görülmektedir. Analizde kullanılacak cisimler bu ara yüzde oluşturulur. Son olarak ağ oluşturulur ve model analiz edilir. Analiz bittikten sonra sonuçlar kısmından analiz sonuçlarına bakılabilir.

3.4 Arazi Deneyinin ANSYS Programında Doğrulanması

Literatürde mevcut olan arazi deneylerinden bir örnek ANSYS programında modellenerek analiz yapılmıştır. Arazide yapılan bu deneyler Peila ve arkadaşları tarafından 2007 yılında gerçekleştirilmiştir [40]. Çizelge 3.1 ve 3.2'de arazide gerçekleştirilen deneyin malzeme parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Toprak dolgu seti oluşturan zeminin malzeme özellikleri [40]

Toprak Dolgu Setin Yapımında Kullanılan Zeminin Özellikleri	Birim	Modeldeki Değerleri
Birim hacim ağırlığı	kN/m ³	21
Elastisite modülü	kPa	110.000
Poisson oranı	–	0.25
İçsel sürtünme açısı	°	34
Kohezyon	kPa	0
Akma gerilmesi oranı	–	0.78
Akma gerilmesi	[kPa]	540

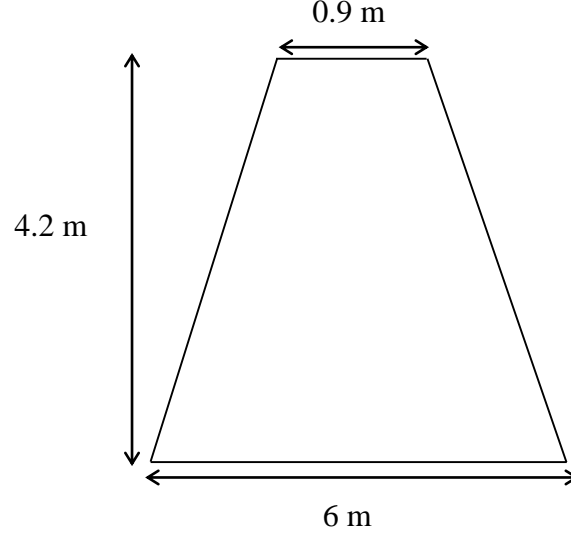
Toprak dolgu seti oluşturmak için kullanılan zeminin malzeme özellikleri Çizelge 3.1'de ve düşen kaya bloğu temsilen kullanılan beton bloğun özellikleri Çizelge 3.2'de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Kaya blokların malzeme özellikleri [40]

Kaya Blokların Parametreleri	Birim	Modeldeki Değerleri
Birim hacim ağırlığı	kg/m ³	2400
Elastisite modülü	MPa	28.000
Poisson oranı	–	0.18
Esneklik modülü	MPa	14583
Kayma modülü	MPa	11864

Ayrıca arazi deneyinde kullanılan toprak dolgu set yine programın geometri ara yüzünde oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde toprak dolgu setin tavan genişliği 0.9 m, taban genişliği 5 m yüksekliği 4.2 m olarak Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Deneylerde

kullanılan 1.5 m^3 'lük kübik bloklar yine ANSYS programının geometri ara yüzünün yardımıyla oluşturularak toprak dolgu sete bloğun merkezinden 3.5 m yükseklikte olmak üzere çarpıtılmaya hazır hale getirilmiştir.



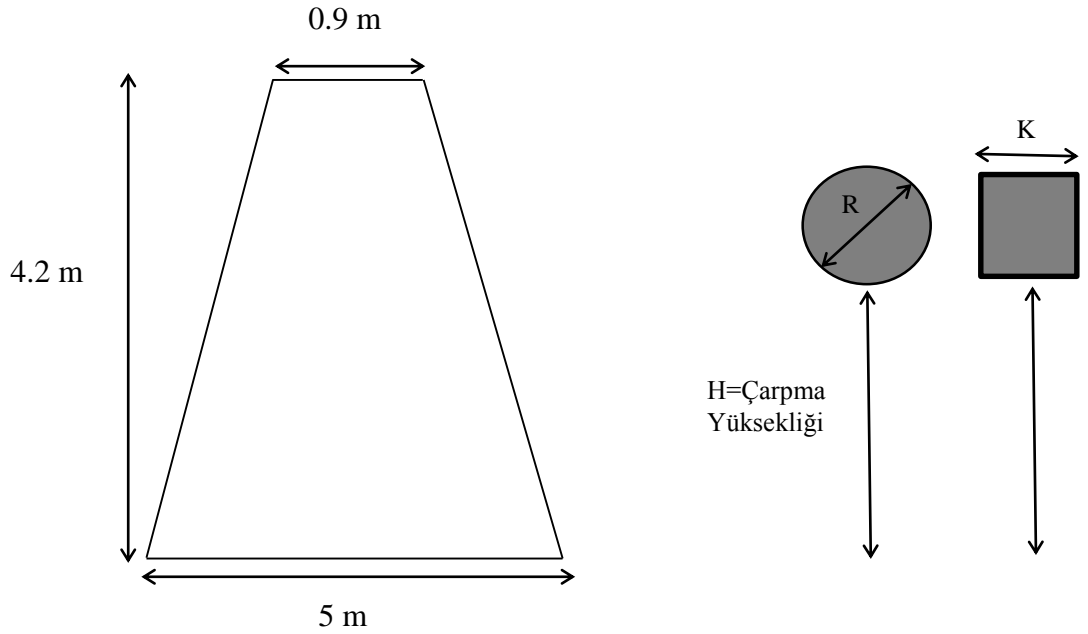
şekil 3.4. Toprak Dolgu Setin Boyutları [40]

Analiz ncesi bütün adımlar tamamlandıktan sonra kübik kaya blok 31.3 m/s hızla toprak dolgu sete çarpıtılarak meydana gelen maksimum deformasyon 1.46 m olarak bulunmuştur. Aynı verileri kullanarak literatürde yapılan arazi deneyinde elde edilen maksimum deformasyon değeri ise 1.5 m 'dir. Sonuç olarak uyumlu olan bu değerlere bakıldığında ANSYS sonlu elemanlar programı doğrulanmıştır.

3.5 Analiz Programı

ANSYS sonlu elemanlar programının doğrulanması aşamasından sonra parametrik çalışma yapılmıştır. İlk önce kaya bloklarının hız değerleri değiştirilip hızın maksimum deformasyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Daha sonra sırasıyla kütle, geometri ve çarpma yüksekliği değişkenleri ile maksimum deformasyonlardaki değişim araştırılmıştır. Son olarak toprak dolgu seti oluşturan zeminin içsel sürtünme açısı ve birim hacim ağırlığı değiştirilerek deformasyonlardaki değişime bakılmıştır. Yapılan analizler izelge 3.3'te analiz programı adı altında verilmiştir. Analizlerde kaya bloklarının toprak dolgu sete çarpma yükseklikleri H, kp bloğun bir kenarının uzunluğu K, küre bloğun apı R, bloğun çarpma hızı V ve çarpma enerjisi E ile gösterilmiştir. Çarpma hızının maksimum deformasyon üzerindeki etkisini incelemek

için 4 farklı hız olarak 25 m/s, 30 m/s, 35 m/s ve 40 m/s kullanılmıştır. Kütlenin maksimum deformasyon üzerindeki etkisini incelemek için ise ağırlıkları sırasıyla 2400 kg, 8100 kg ve 10053 kg olan 1 m³, 1.5 m³ ve 1.612 m³'lük küp bloklar kullanılmıştır. Bu blokların betondan oluştuğu düşünülmüş ve kullanılan beton malzemesinin yoğunluğu 2.4 t/m³'tür. Kaya blokların toprak dolgu sete çarpma yüksekliklerinin maksimum deformasyon üzerindeki etkisini incelemek için 1.5 m³'lük bloklar yükseklikleri bloğun alt noktasından olmak üzere sırasıyla 2.25, 2.50, 2.75 ve 3.00 m olacak şekilde çarptırılmıştır. Çarpma yüksekliği ve analizlerde kullanılan toprak dolgu setin boyutları şekil 3.5'te gösterilmiştir. Son olarak zemin parametreleri olan içsel sürtünme açısı ve birim hacim ağırlığın etkisini incelemek için 1.5 m³'lük bloklar kullanılmıştır. İçsel sürtünme açıları sırasıyla 30⁰, 34⁰ ve 40⁰ olarak değiştirilirken birim hacim ağırlık değerleri 18 kN/m³, 21 kN/m³ ve 23 kN/m³ olarak değiştirilmiştir.



Şekil 3.5. Kaya Bloğun Toprak Dolgu Sete Çarpma Yüksekliği

Çizelge 3.3. Tez kapsamında ANSYS programında yapılan analiz programı

	Analiz Serisi	Analiz No	Zeminin Birim Hacim Ağırlığı	Zeminin içsel Sürtünme Açısı	Bloğun Çarpma Yüksekliği	Bloğun Kenar Uzunluğu / Çapı		Bloğun Ağırlığı	Bloğun Çarpma Hızı	Bloğun Çarpma Enerjisi	
			ϕ	γ	H	Küp (K)	Küre (R)	M	V	E	
			Derece	kN/m ³	(m)	(m)	(m)	(kg)	(m/s)	(kJ)	
Hız Değişiminin Maksimum Deformasyon Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	1	1	34	21	3.00	1.0	-	2400	25	750	
		2	34	21	3.00	1.0	-	2400	30	1080	
		3	34	21	3.00	1.0	-	2400	35	1470	
		4	34	21	3.00	1.0	-	2400	40	1920	
Çarpma Yüksekliğinin Maksimum Deformasyon Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	2	5	34	21	2.25	1.5	-	8100	25	2530	
		6	34	21	2.25	1.5	-	8100	30	3645	
		7	34	21	2.25	1.5	-	8100	35	4960	
		8	34	21	2.25	1.5	-	8100	40	6480	
	3	9	34	21	2.50	1.5	-	8100	25	2530	
		10	34	21	2.50	1.5	-	8100	30	3645	
		11	34	21	2.50	1.5	-	8100	35	4960	
		12	34	21	2.50	1.5	-	8100	40	6480	
	4	13	34	21	2.75	1.5	-	8100	25	2530	
		14	34	21	2.75	1.5	-	8100	30	3645	
		15	34	21	2.75	1.5	-	8100	35	4960	
		16	34	21	2.75	1.5	-	8100	40	6480	
	5	17	34	21	3.00	1.5	-	8100	25	2530	
		18	34	21	3.00	1.5	-	8100	30	3645	
		19	34	21	3.00	1.5	-	8100	35	4960	
		20	34	21	3.00	1.5	-	8100	40	6480	
	Geometrinin Değişiminin Maksimum Deformasyonlar Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	6	21	34	21	3.00	1.612	-	10053	25	3140
			22	34	21	3.00	1.612	-	10053	30	4525
			23	34	21	3.00	1.612	-	10053	35	6160
			24	34	21	3.00	1.612	-	10053	40	8045

Geometrinin Değişiminin Maksimum Deformasyonlar Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	7	25	34	21	2.20	-	1.6	5147	25	1610
		26	34	21	2.20	-	1.6	5147	30	2315
		27	34	21	2.20	-	1.6	5147	35	3155
		28	34	21	2.20	-	1.6	5147	40	4120
	8	29	34	21	3.00	-	1.6	5147	25	1610
		30	34	21	3.00	-	1.6	5147	30	2315
		31	34	21	3.00	-	1.6	5147	35	3155
		32	34	21	3.00	-	1.6	5147	40	4120
	9	33	34	21	2.00	-	2.0	10053	25	3145
		34	34	21	2.00	-	2.0	10053	30	4525
		35	34	21	2.00	-	2.0	10053	35	6160
		36	34	21	2.00	-	2.0	10053	40	8045
	10	37	34	21	3.00	-	2.0	10053	25	3145
		38	34	21	3.00	-	2.0	10053	30	4525
		39	34	21	3.00	-	2.0	10053	35	6160
		40	34	21	3.00	-	2.0	10053	40	8045
İçsel Sürtünme Açısının Maksimum Deformasyon Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	11	41	30	21	3.00	1.5	-	8100	35	4960
		42	40	21	3.00	1.5	-	8100	35	4960
Birim Hacim Ağırlığının Maksimum Deformasyon Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	12	43	34	18	3.00	1.5	-	8100	35	4960
		44	34	23	3.00	1.5	-	8100	35	4960

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Giriş

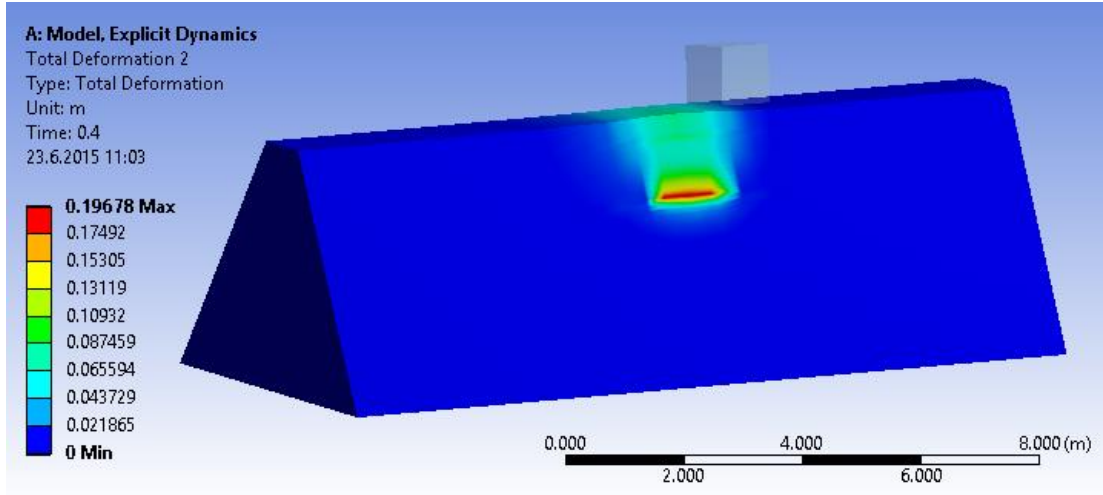
Bu bölümde, ANSYS paket programı ile yapılan analizler gösterilmiştir. Toprak dolgu set düşen kaya blok ile birlikte üç boyutlu olarak programda modellenmiştir. Set üzerine düşen kaya bloğu temsilen farklı boyutlarda ve geometrilerde beton blok kullanılarak bu bloğun set üzerinde meydana getirdiği deformasyonlara bakılmıştır. Ayrıca toprak dolgu seti oluşturmak için kullanılan zemin değiştirilerek deformasyonlardaki değişim incelenmiştir.

4.2 Analiz Sonuçları

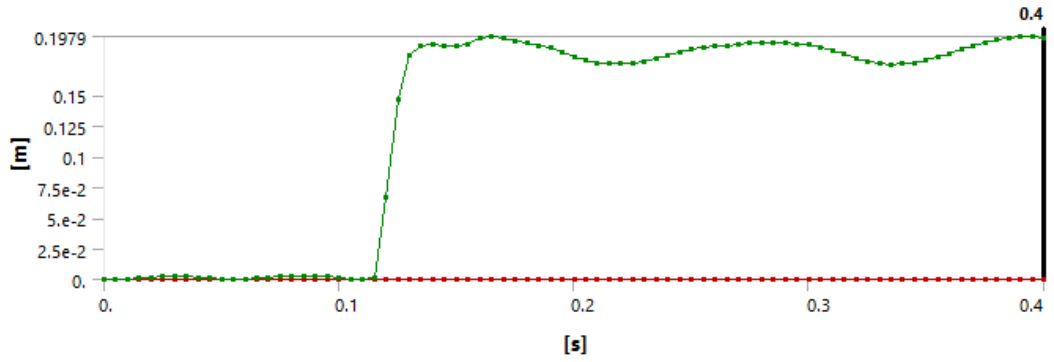
Bu bölümde ANSYS sonlu elemanlar programı yardımıyla yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 3.3'te verilen seriler şeklinde sunulmuştur.

4.2.1 Seri 1: H= 3.00 ve K=1 m Olan Küp Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarptırılması

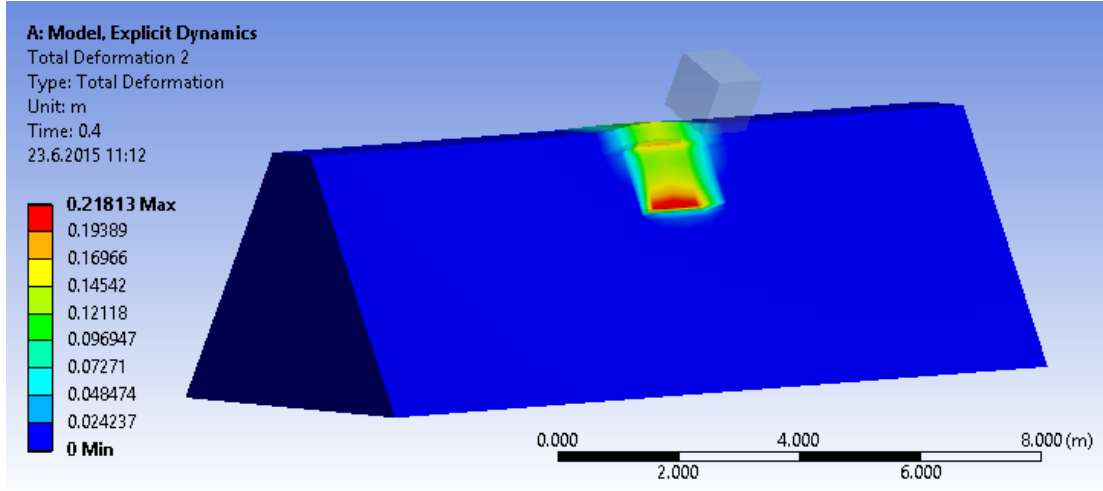
Seri 1 analizlerde küp numuneler kullanılarak hız değişiminin deformasyona etkisi incelenmiştir. Dört farklı hızda 3.00 m çarpma yüksekliğinde çarptırılacak şekilde fırlatılan küp blokların aynı toprak dolgu set üzerinde meydana getirdiği deformasyonlar gözlenmiştir. Hızın artmasıyla çarpma enerjisi arttığı için deformasyonlar da artmıştır. 1 m³'lük küp bloklar için aynı koşullar altında farklı hızlarda yapılan analiz sonuçları şekil 4.9'da verilmiştir. Ayrıca yüksek hızlarda deformasyonun daha hızlı arttığı gözlenmiştir. Şekil 4.9'a bakıldığında 35 m/s ve daha büyük hızlarda deformasyon artışları daha hızlı olurken daha düşük hız kademelerinde deformasyondaki artışın daha yavaş olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 4.1 – 4.8'de dört farklı hızda yapılan analizlerin deformasyon konturları ve zamana bağlı deformasyon grafikleri gösterilmiştir.



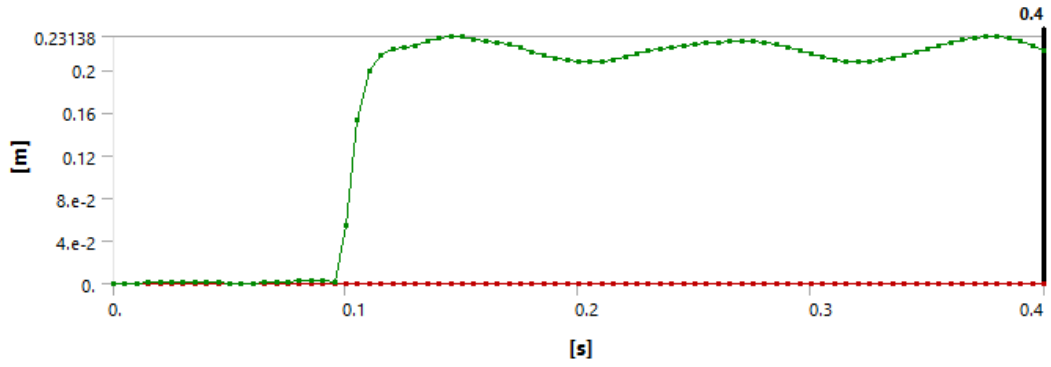
Şekil 4.1. $V=25$ m/s, $H=3.00$ m $K=1$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



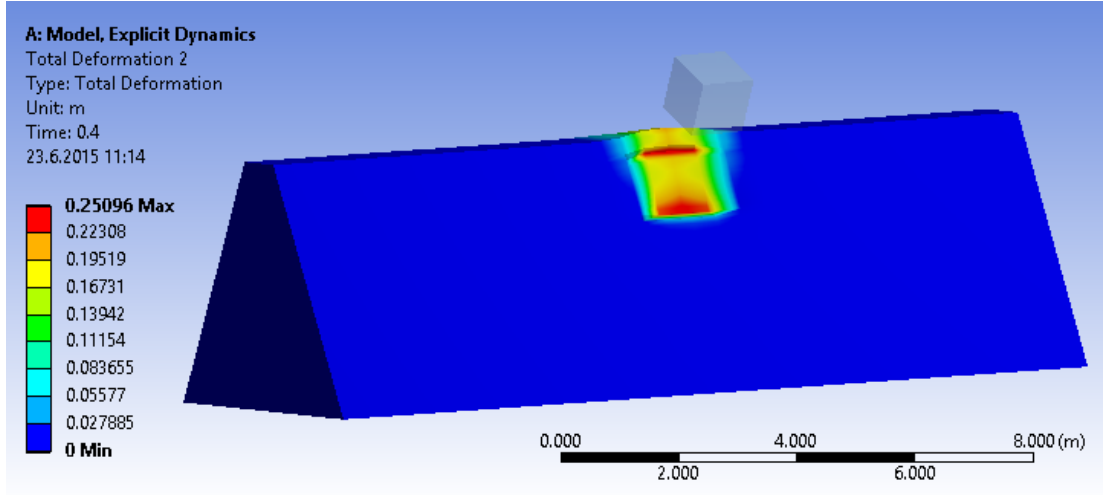
Şekil 4.2. $V=25$ m/s, $H=3.00$ m $K=1$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



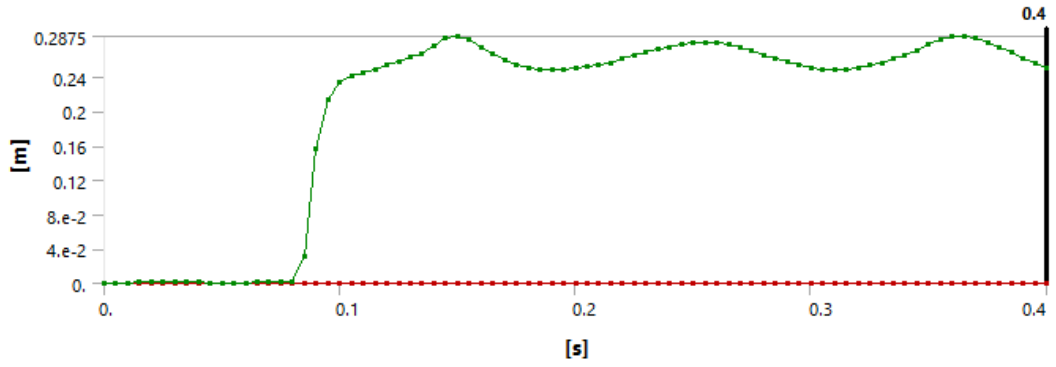
Şekil 4.3. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m $K=1$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



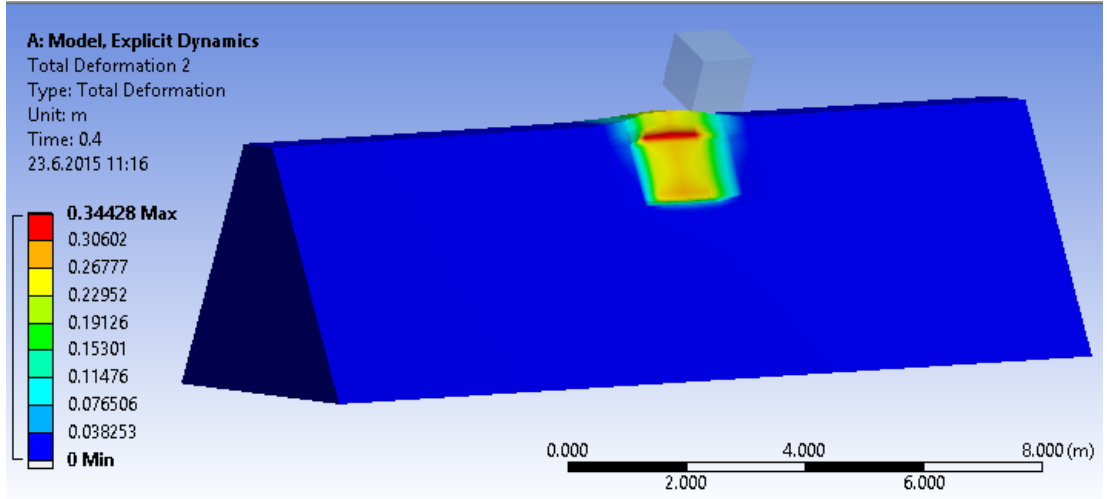
Şekil 4.4. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m $K=1$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



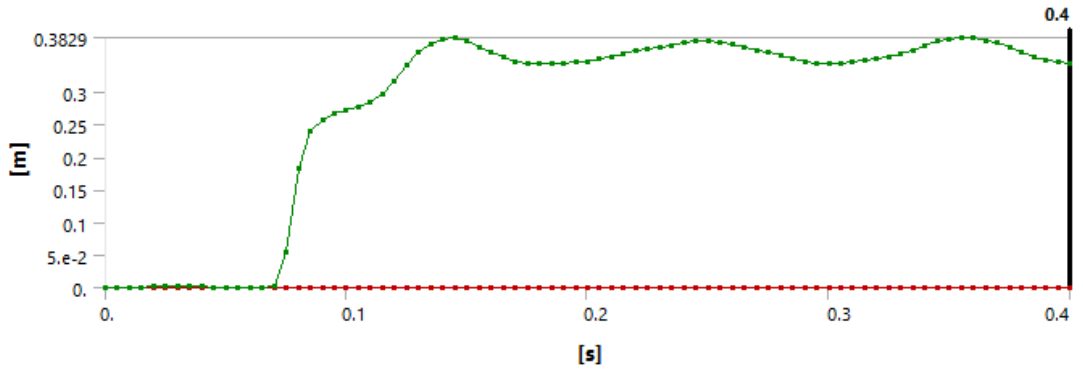
Şekil 4.5. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m $K=1$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



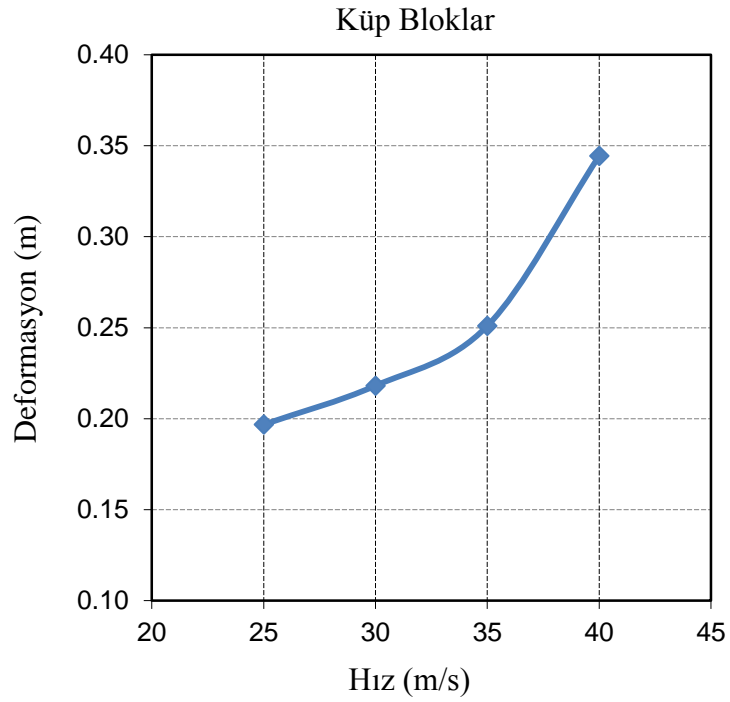
Şekil 4.6. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m $K=1$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



Şekil 4.7. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m $K=1$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



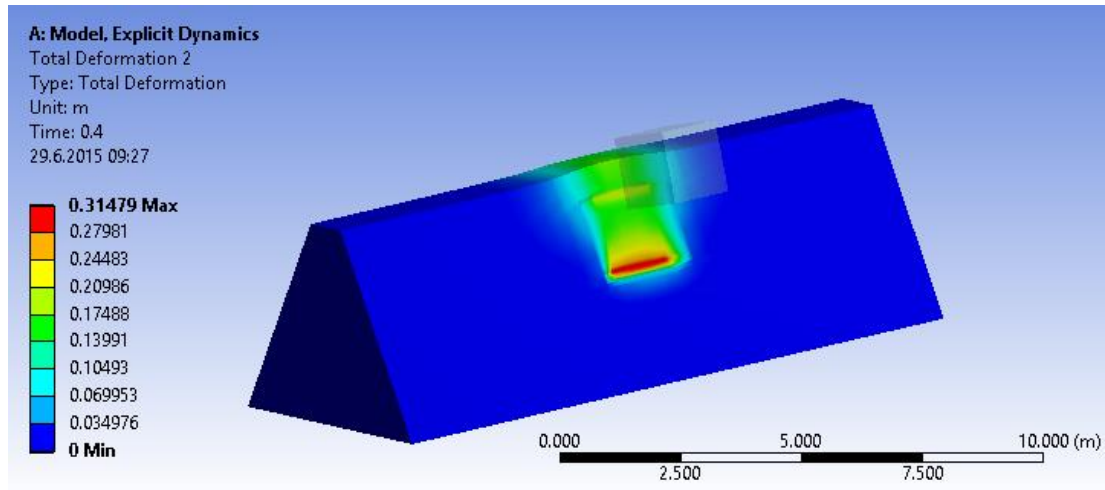
Şekil 4.8. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m $K=1$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



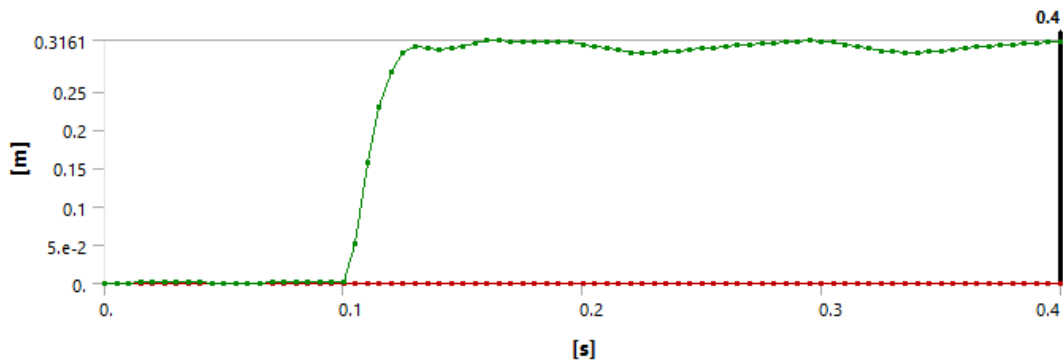
Şekil 4.9. $H=3.00$ m ve $K=1$ m olan küp blokların hız-deformasyon grafiği

4.2.2 Seri 2: H= 2.25 ve K=1.5 m Olan Küp Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması

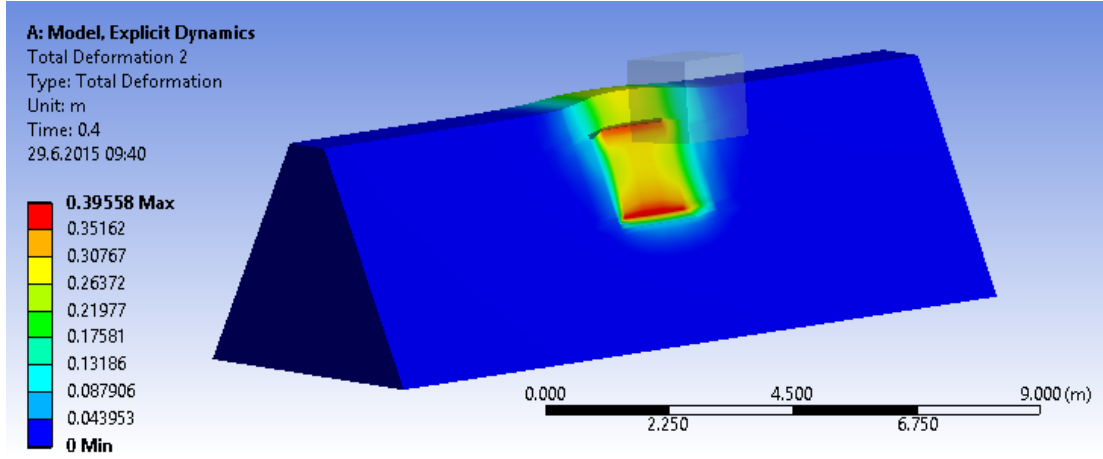
Seri 2 analizlerde 1.5 m³'lük küp numuneler çarpma yüksekliği 2.25 m olacak şekilde farklı hızlarda toprak dolgu sete çarpıtılarak meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir. Önceki seri analizlerde olduğu gibi dört farklı hız kullanılmış ve hız arttıkça deformasyon artmıştır. 1.5 m³'lük küp bloklar için aynı koşullar altında farklı hızlarda yapılan analiz sonuçları Şekil 4.18'de verilmiştir. Şekil 4.10 – 4.17'de dört farklı hızda yapılan analizlerin deformasyon konturları ve zamana bağlı deformasyon grafikleri gösterilmiştir.



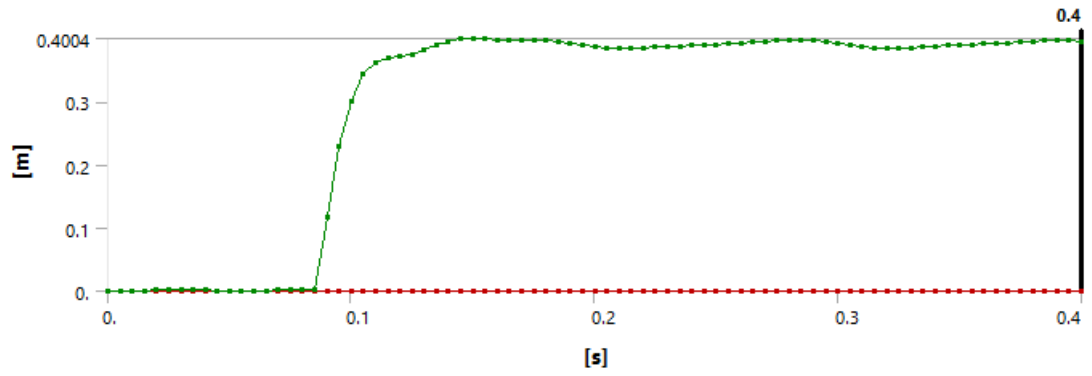
Şekil 4.10. V=25 m/s, H=2.25 m K=1.5 m olan küp bloğun deformasyon konturları



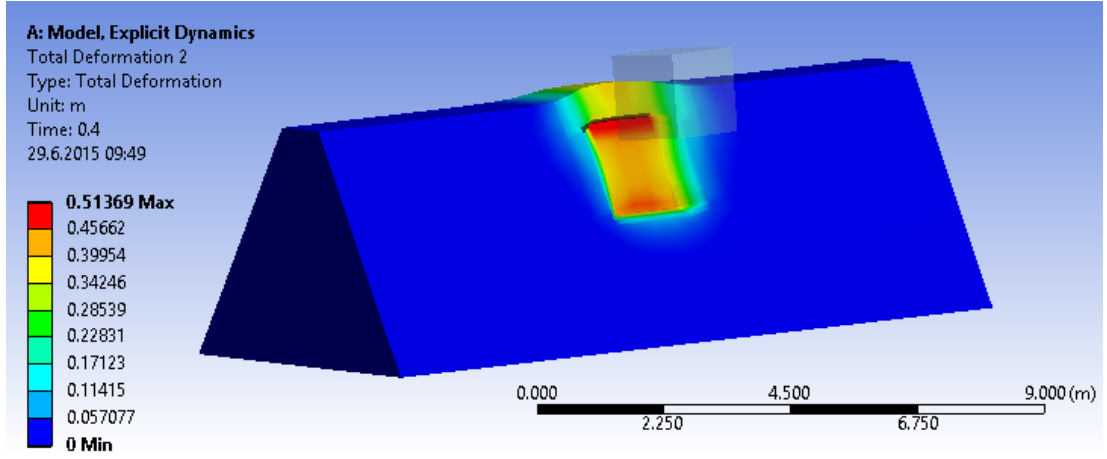
Şekil 4.11. V=25 m/s, H=2.25 m K=1.5 m küp olan bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



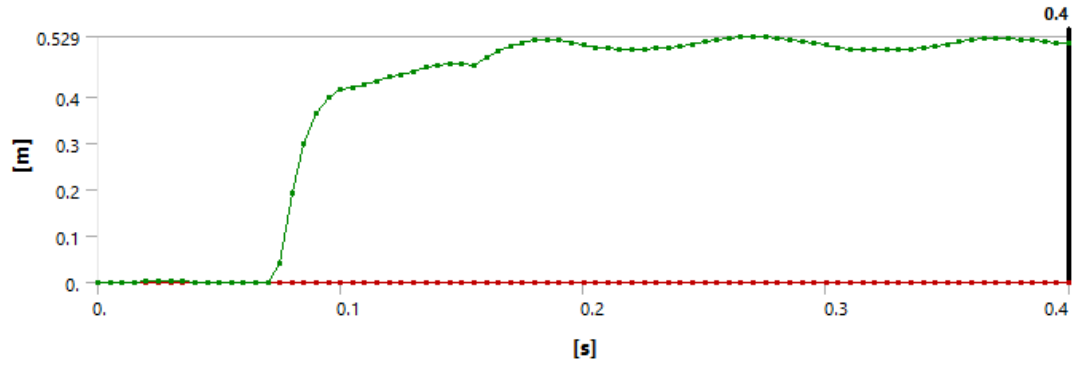
Şekil 4.12. $V=30$ m/s, $H=2.25$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



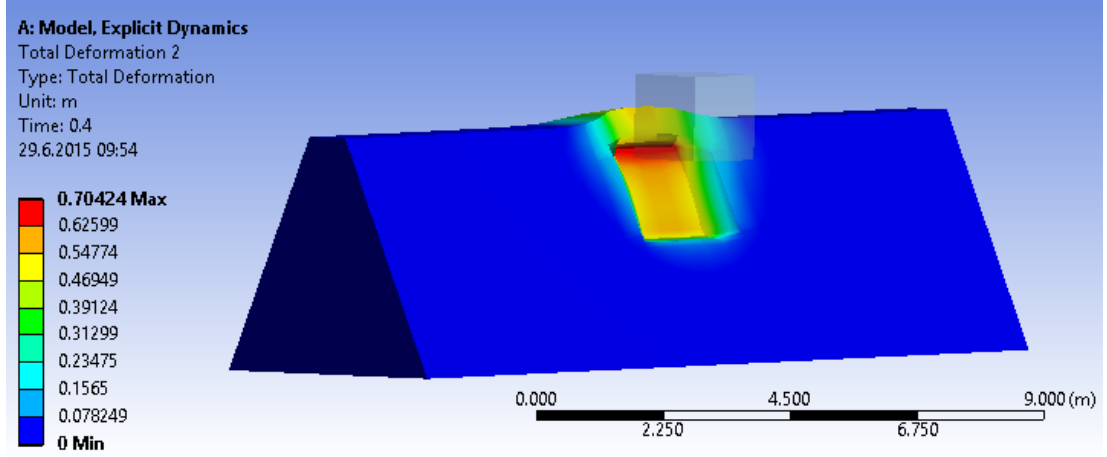
Şekil 4.13. $V=30$ m/s, $H=2.25$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



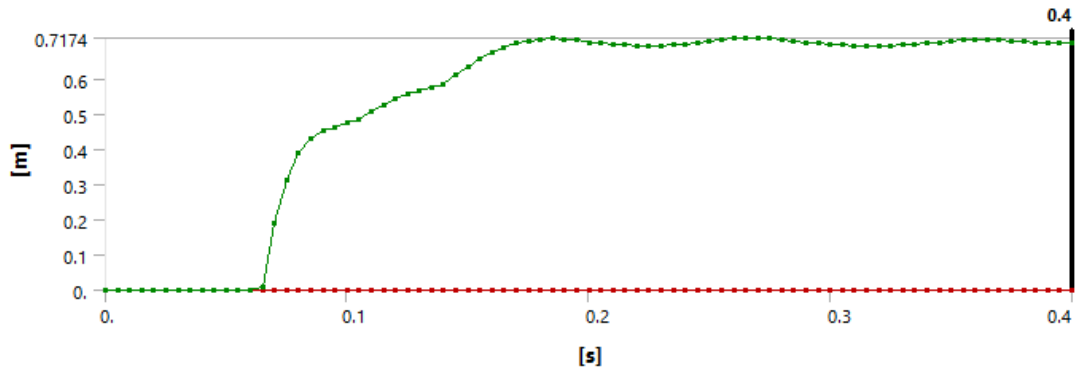
Şekil 4.14. $V=35$ m/s, $H=2.25$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



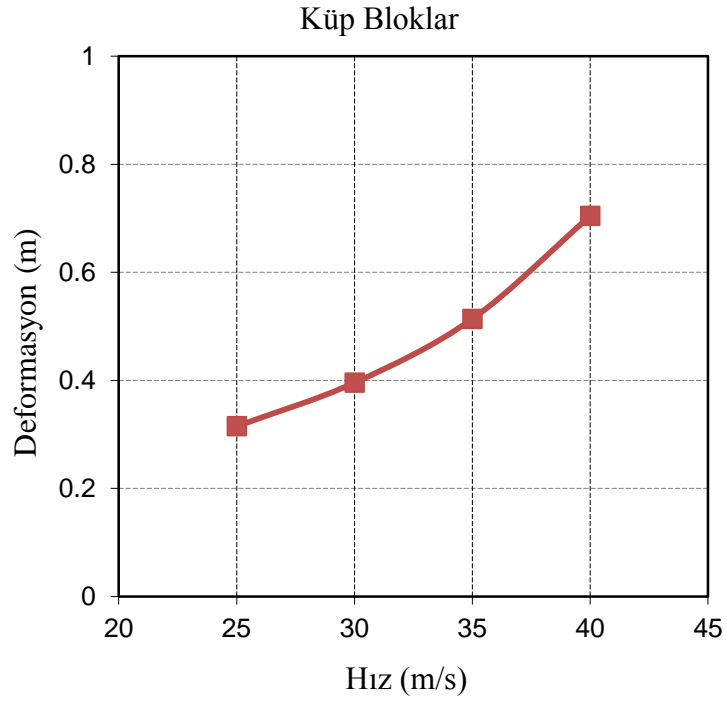
Şekil 4.15. $V=35$ m/s, $H=2.25$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



Şekil 4.16. $V=40$ m/s, $H=2.25$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



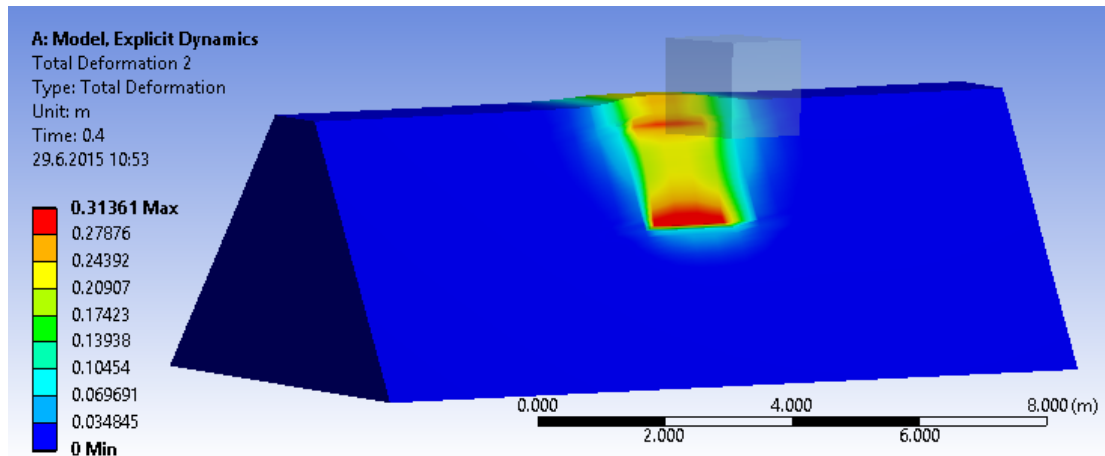
Şekil 4.17. $V=40$ m/s, $H=2.25$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



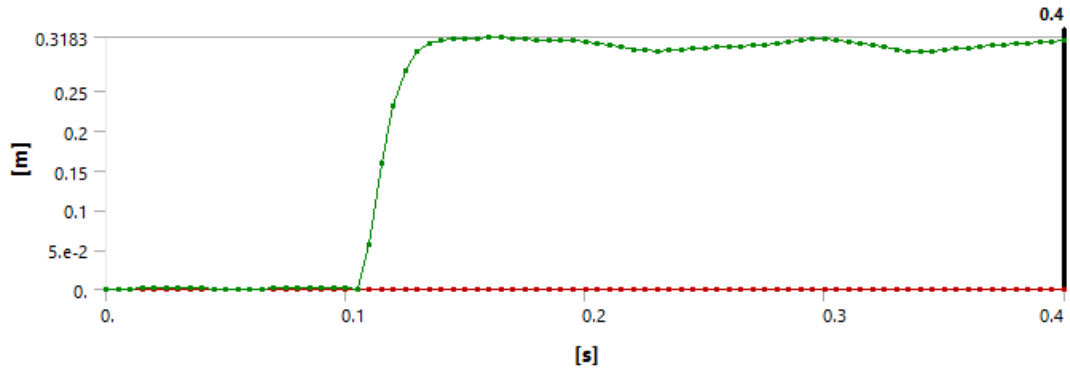
Şekil 4.18. $H=2.25$ m ve $K=1.5$ m olan küp blokların hız-deformasyon grafiği

4.2.3 Seri 3: H= 2.50 ve K=1.5 m Olan Küp Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması

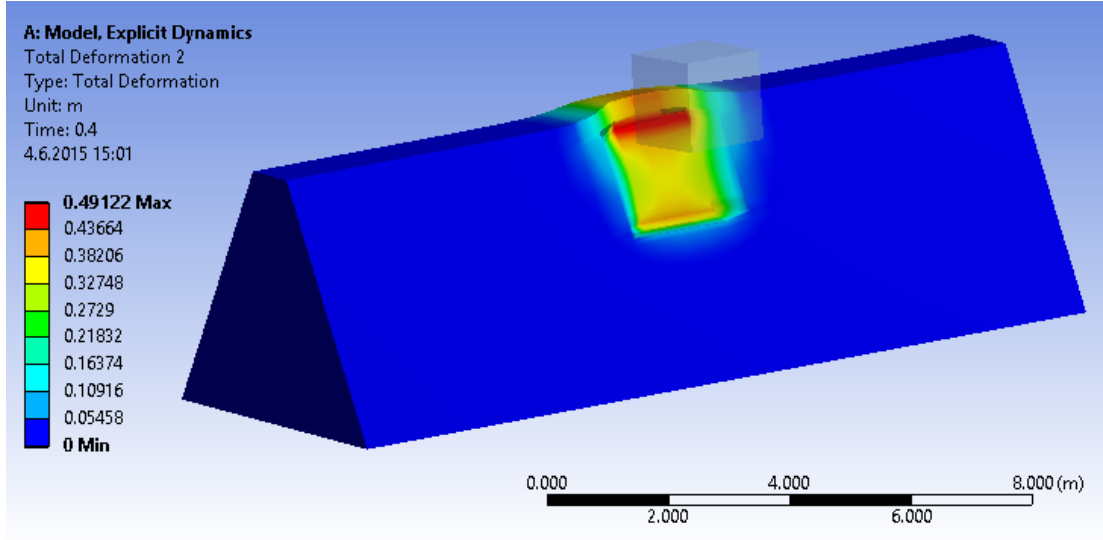
Seri 3 analizlerde 1.5 m³'lük küp numuneler çarpma yüksekliği 2.50 m olacak şekilde farklı hızlarda toprak dolgu sete çarpıtılarak meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir. Önceki seri analizlerde olduğu gibi dört farklı hız kullanılmış ve hız arttıkça deformasyon artmıştır. 1.5 m³'lük küp bloklar için aynı koşullar altında farklı hızlarda yapılan analiz sonuçları Şekil 4.27'de verilmiştir. Şekil 4.27'ye bakıldığında deformasyonlarda lineer bir artış görülmektedir. Şekil 4.19 – 4.26'da dört farklı hızda yapılan analizlerin deformasyon konturları ve zamana bağlı deformasyon grafikleri gösterilmiştir.



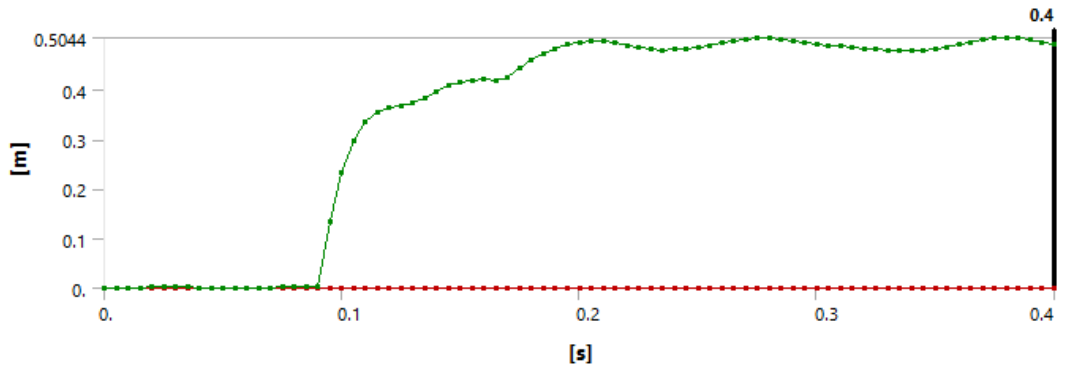
Şekil 4.19. V=25 m/s, H=2.50 m K=1.5 m olan küp bloğun deformasyon konturları



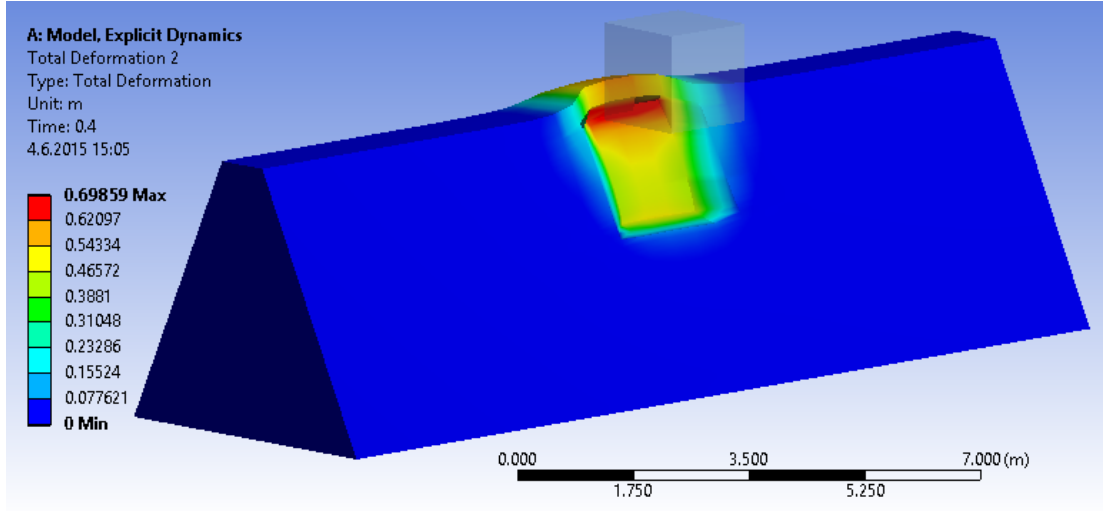
Şekil 4.20. V=25 m/s, H=2.50 m K=1.5 m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



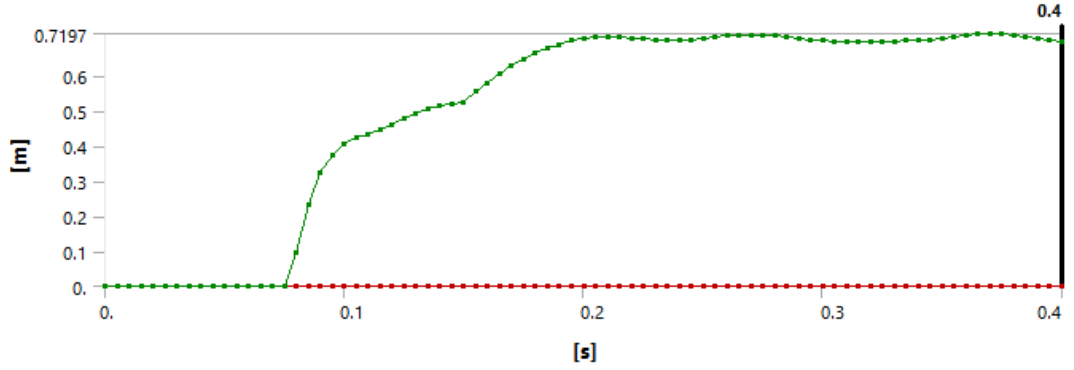
Şekil 4.21. $V=30$ m/s, $H=2.50$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



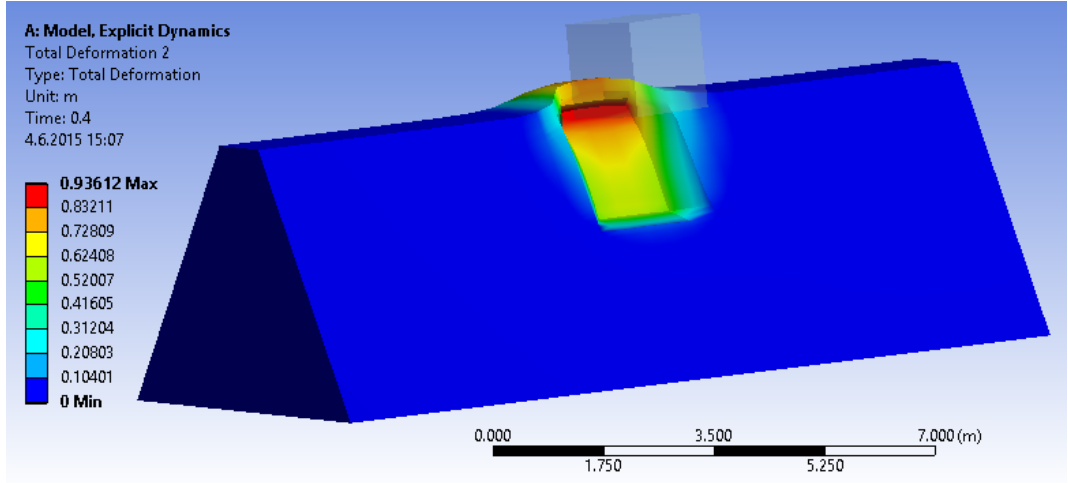
Şekil 4.22. $V=30$ m/s, $H=2.50$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



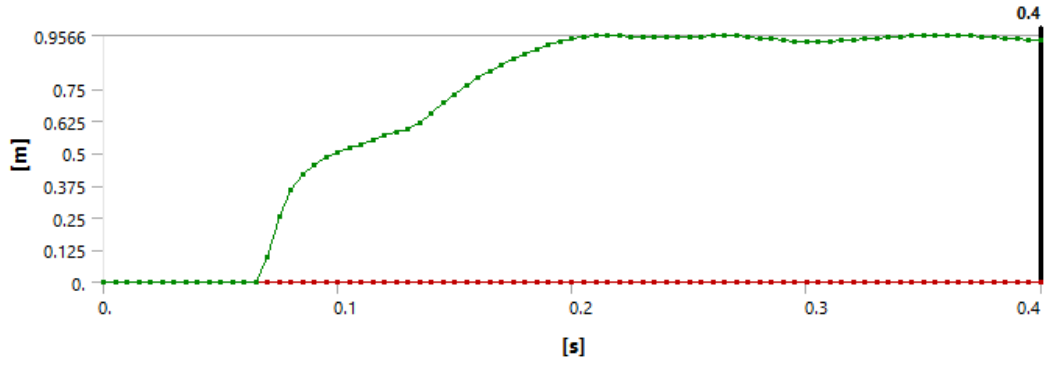
Şekil 4.23 $V=35$ m/s, $H=2.50$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



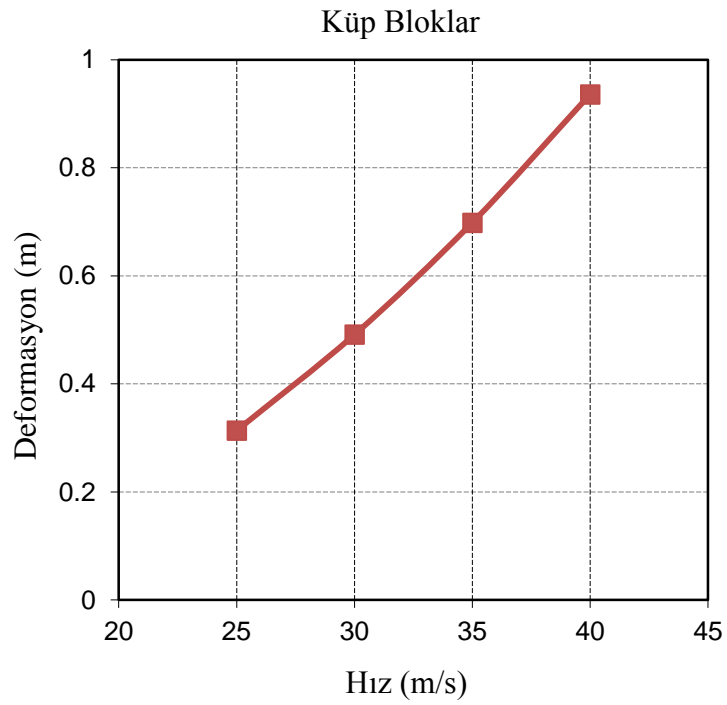
Şekil 4.24. $V=35$ m/s, $H=2.50$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



Şekil 4.25. $V=40$ m/s, $H=2.50$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



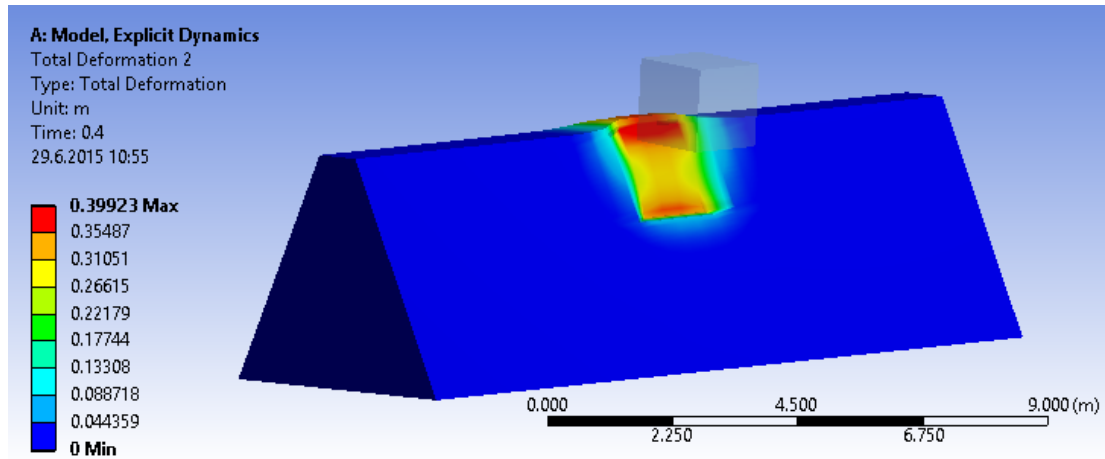
Şekil 4.26. $V=40$ m/s, $H=2.50$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



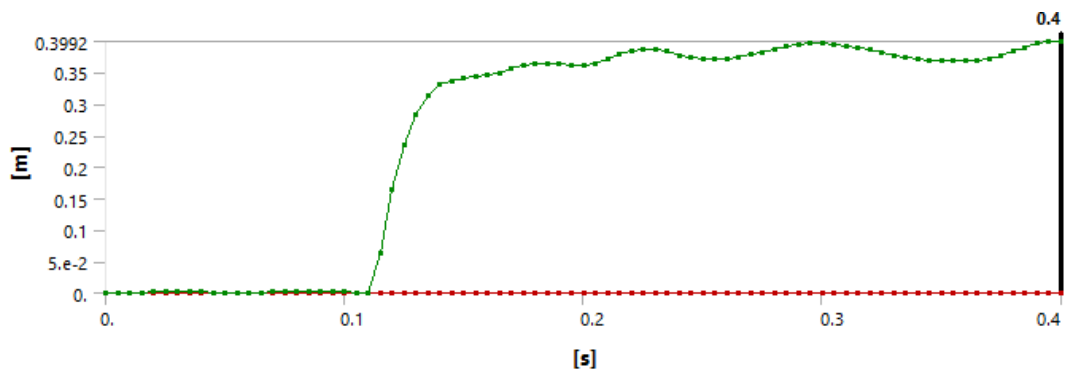
Şekil 4.27. $H=2.50$ m ve $K=1.5$ m olan küp blokların hız-deformasyon grafiği

4.2.4 Seri 4: H= 2.75 ve K=1.5 m Olan Küp Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması

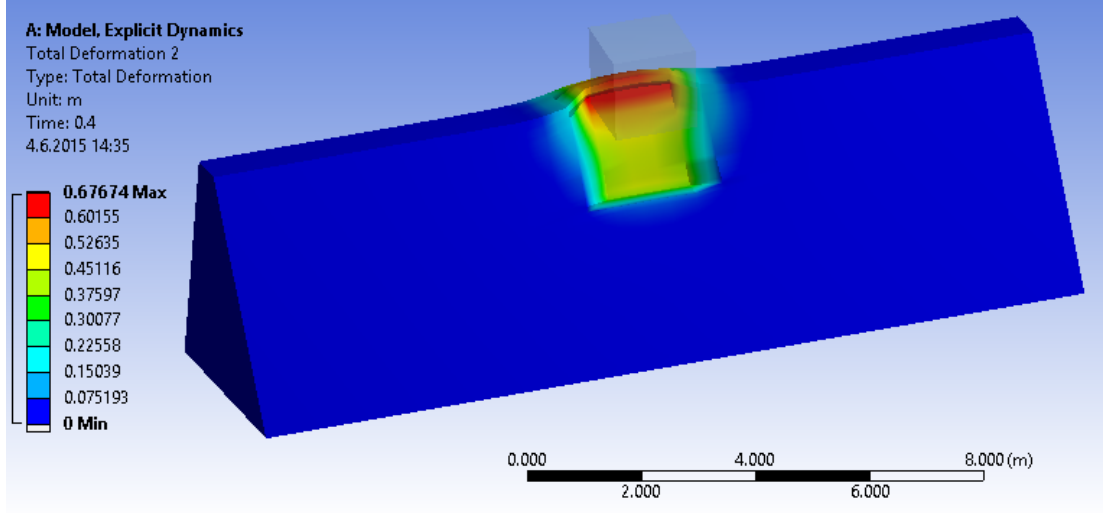
Seri 4 analizlerde 1.5 m³'lük küp numuneler çarpma yüksekliği 2.75 m olacak şekilde farklı hızlarda toprak dolgu sete çarpıtılarak meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir. Önceki seri analizlerinde olduğu gibi dört farklı hız kullanılmış ve hız arttıkça deformasyon artmıştır. 1.5 m³'lük küp bloklar için aynı koşullar altında farklı hızlarda yapılan analiz sonuçları Şekil 4.36'da verilmiştir. Şekil 4.28 – 4.35'de dört farklı hızda yapılan analizlerin deformasyon konturları ve zamana bağlı deformasyon grafikleri gösterilmiştir.



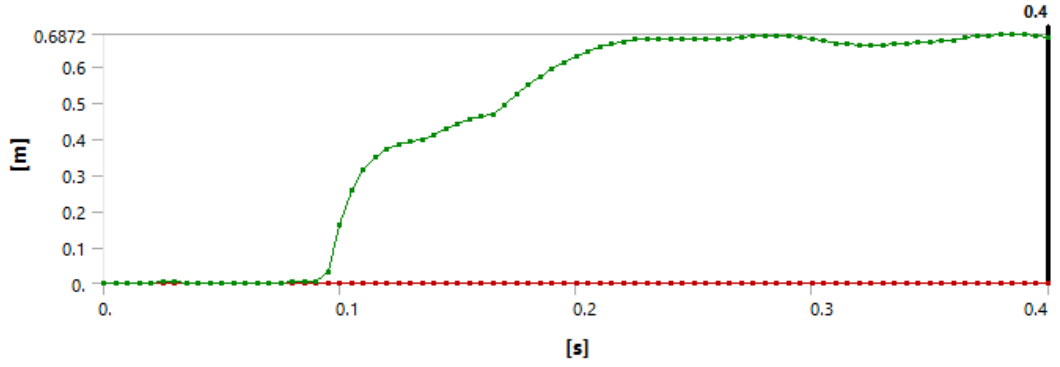
Şekil 4.28 V=25 m/s, H=2.75 m K=1.5 m olan küp bloğun deformasyon konturları



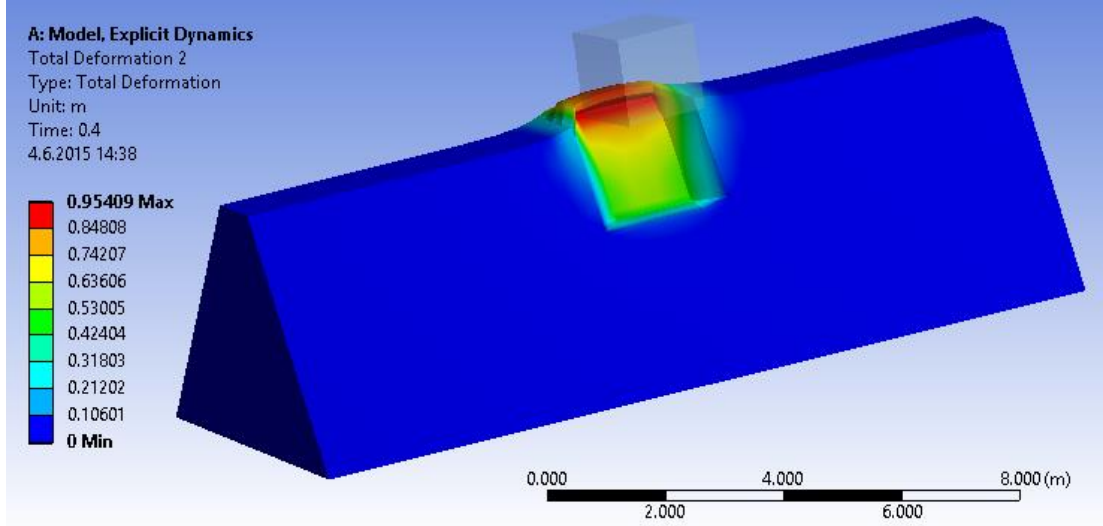
Şekil 4.29. V=25 m/s, H=2.75 m K=1.5 m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



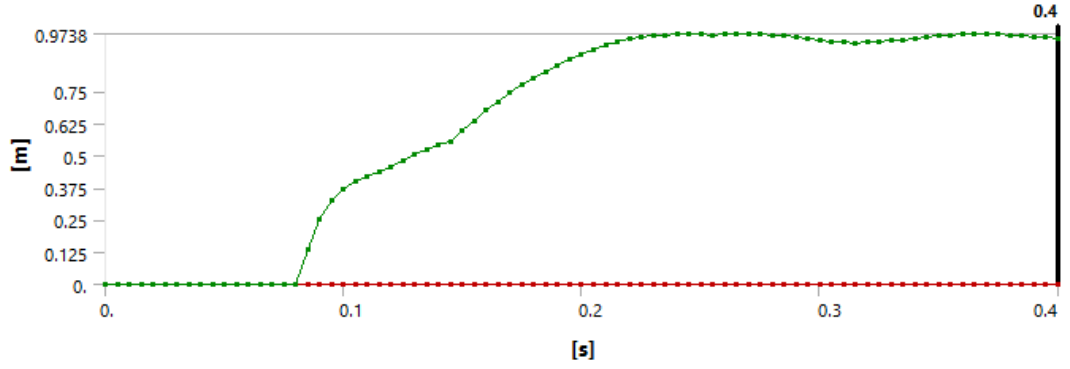
Şekil 4.30. $V=30$ m/s, $H=2.75$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



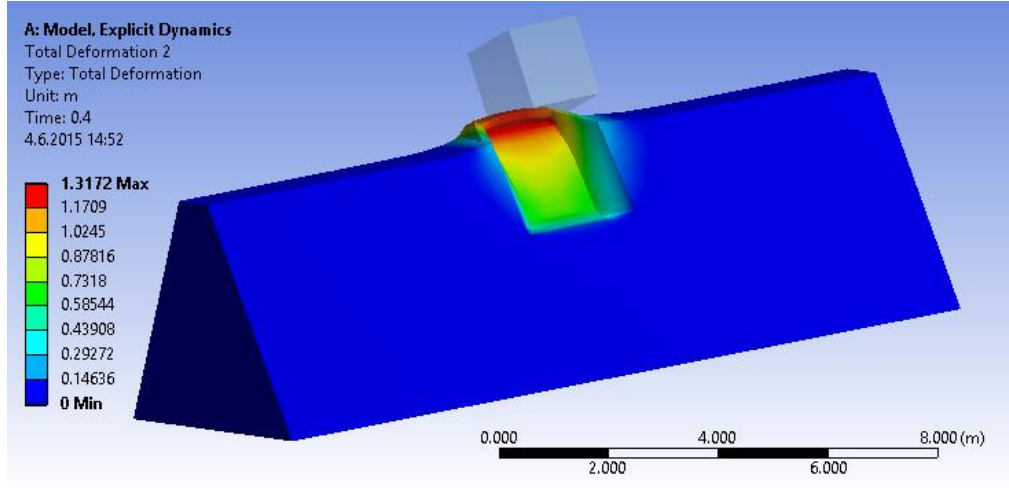
Şekil 4.31. $V=30$ m/s, $H=2.75$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



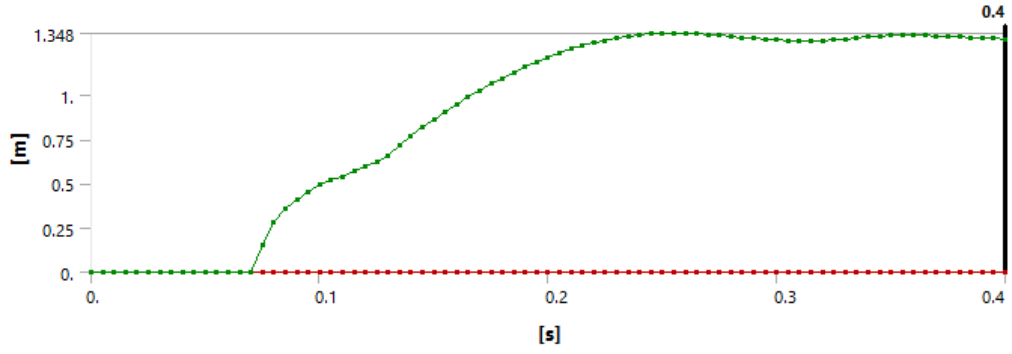
Şekil 4.32. $V=35$ m/s, $H=2.75$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



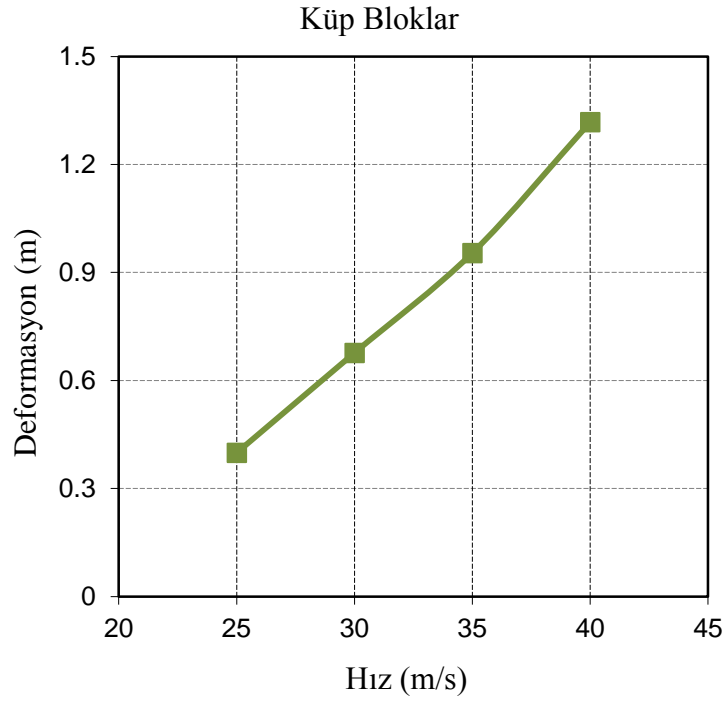
Şekil 4.33. $V=35$ m/s, $H=2.75$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



Şekil 4.34. $V=40$ m/s, $H=2.75$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



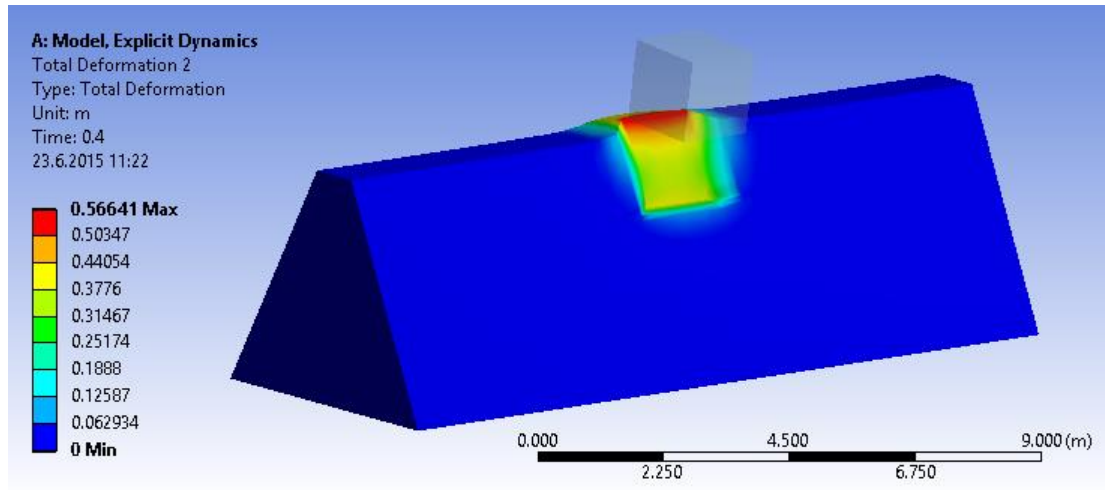
Şekil 4.35. $V=40$ m/s, $H=2.75$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



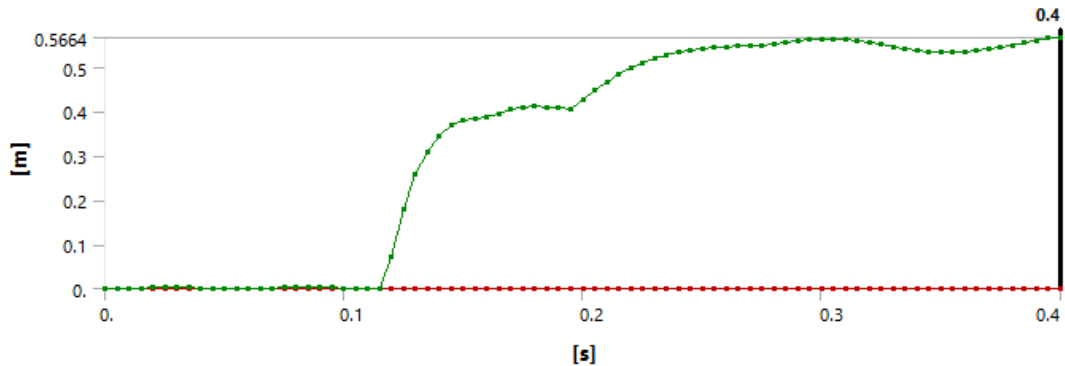
Şekil 4.36. $H=2.75$ m ve $K=1.5$ m olan küp blokların hız-deformasyon grafiği

4.2.5 Seri 5: H= 3.00 ve K=1.5 m Olan Küp Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması

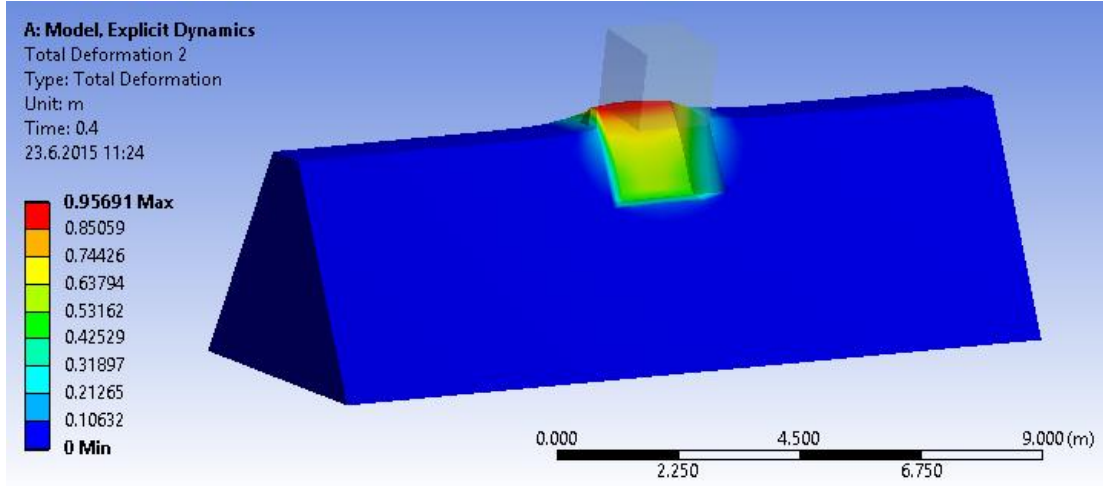
Seri 5 analizlerde 1.5 m³'lük küp numuneler çarpma yüksekliği 3.00 m olacak şekilde farklı hızlarda toprak dolgu sete çarpıtılarak meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir. Önceki seri analizlerinde olduğu gibi dört farklı hız kullanılmış ve hız arttıkça deformasyon artmıştır. 1.5 m³'lük küp bloklar için aynı koşullar altında farklı hızlarda yapılan analiz sonuçları Şekil 4.45'te verilmiştir. Şekil 4.37 – 4.44'de dört farklı hızda yapılan analizlerin deformasyon konturları ve zamana bağlı deformasyon grafikleri gösterilmiştir.



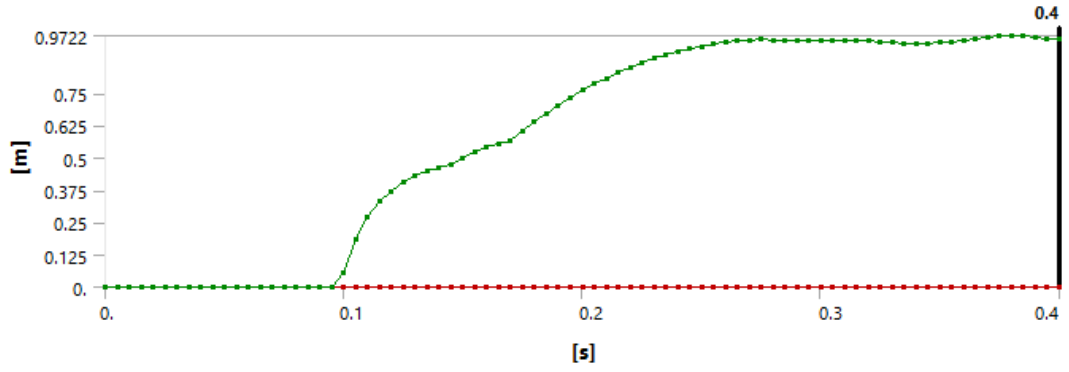
Şekil 4.37. V=25 m/s, H=3.00 m K=1.5 m olan küp bloğun deformasyon konturları



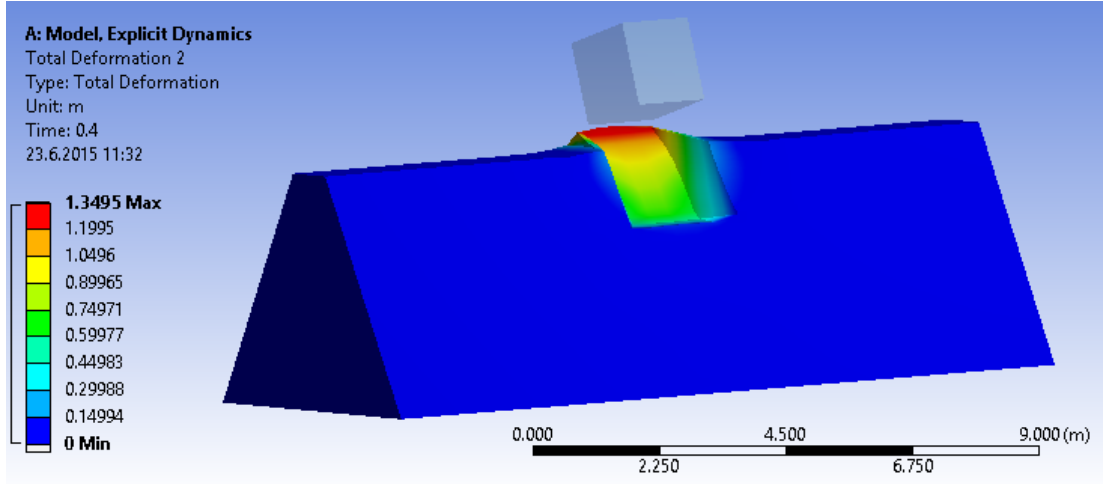
Şekil 4.38. V=25 m/s, H=3.00 m K=1.5 m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



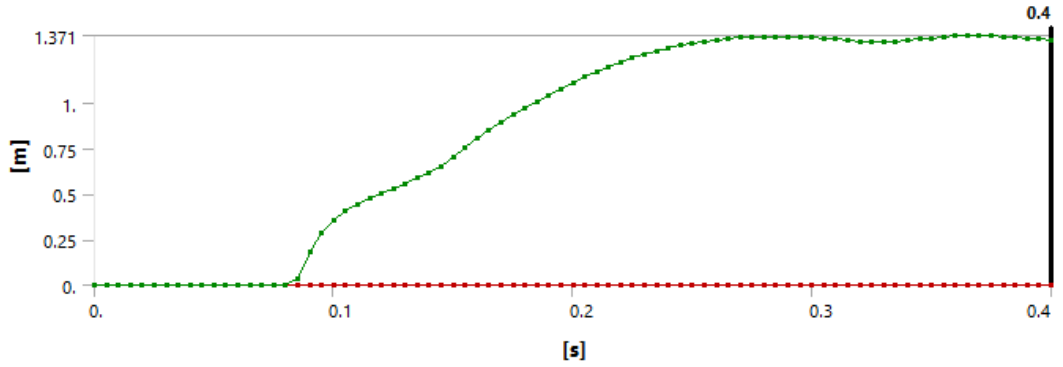
Şekil 4.39. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



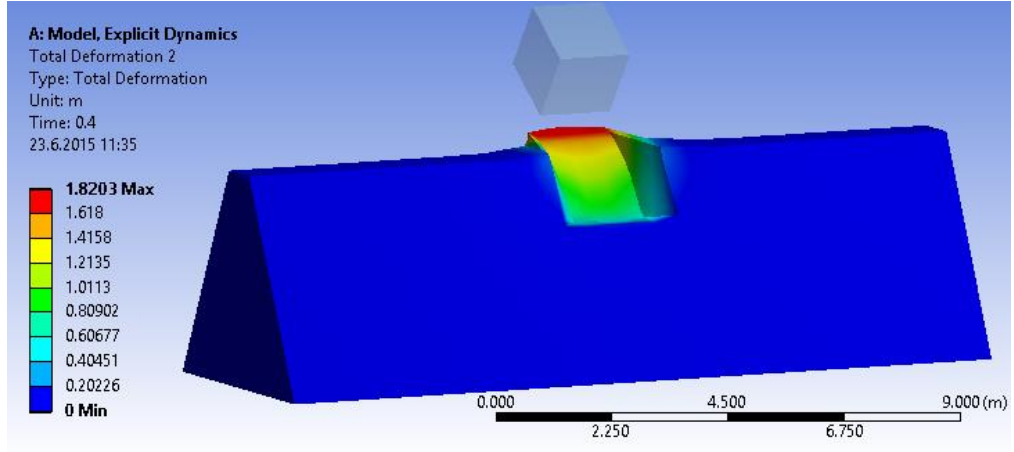
Şekil 4.40. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



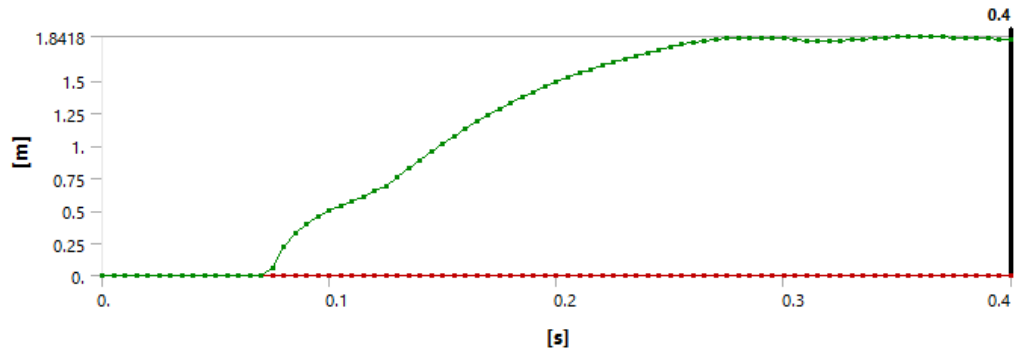
Şekil 4.41. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



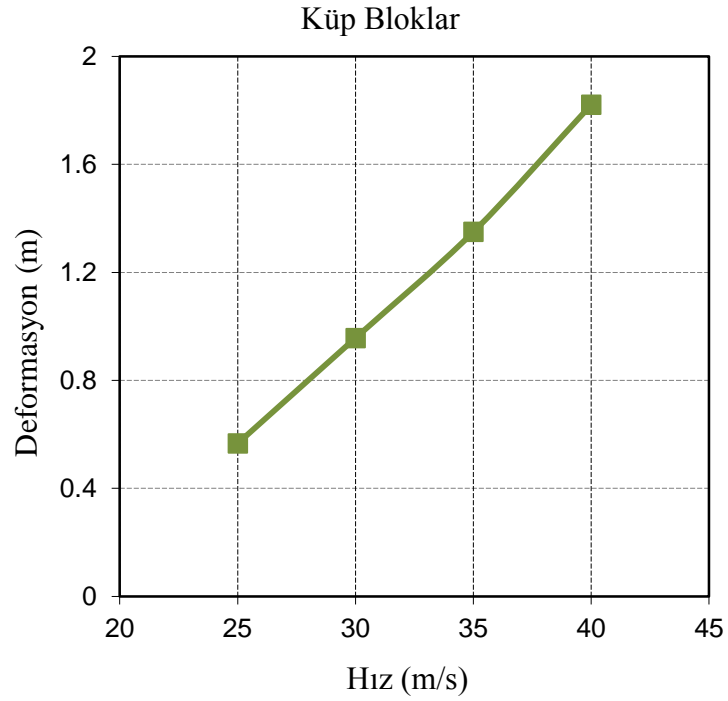
Şekil 4.42. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



Şekil 4.43. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



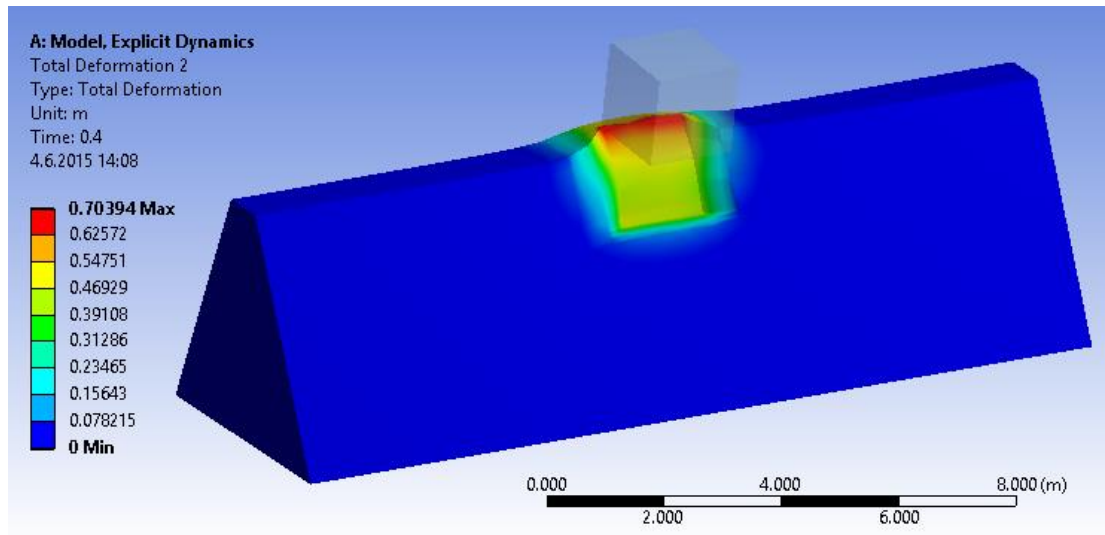
Şekil 4.44. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m $K=1.5$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



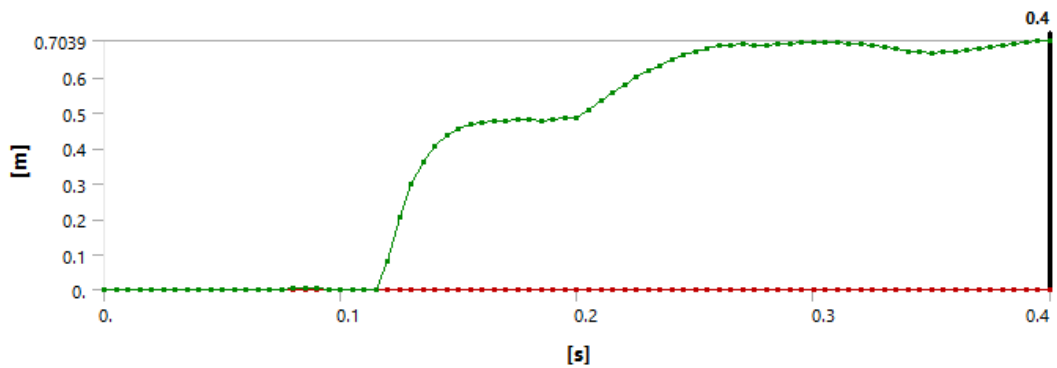
Şekil 4.45. $H=3.00$ m ve $K=1.5$ m olan küp blokların hız-deformasyon grafiği

4.2.6 Seri 6: H= 3.00 ve K=1.612 m Olan Küp Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması

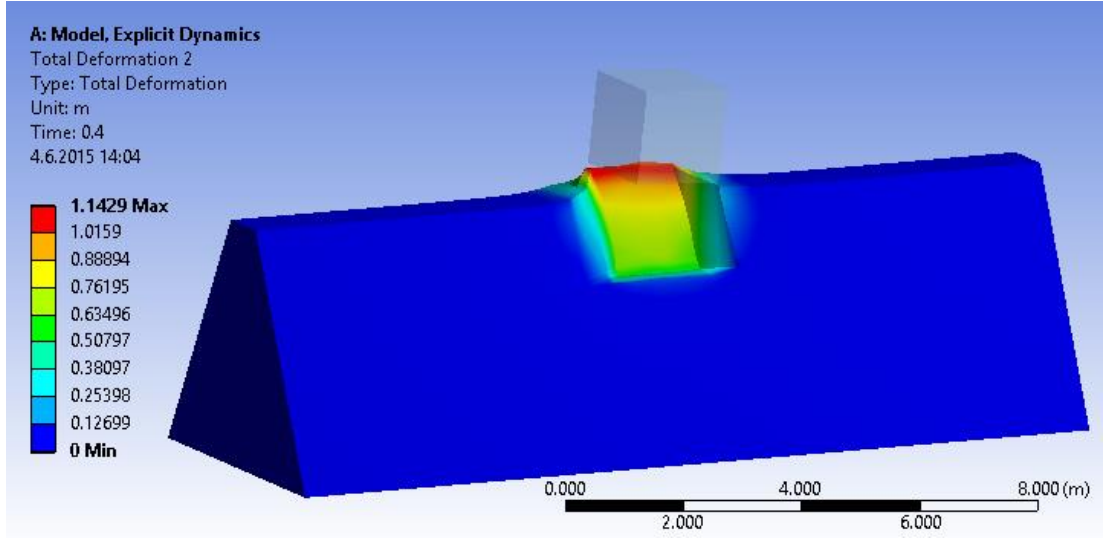
Seri 6 analizlerde 1.612 m³'lük küp numuneler çarpma yüksekliği 3.00 m olacak şekilde farklı hızlarda toprak dolgu sete çarpıtılarak meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir. Bir kenarının uzunluğu 1.612 m olan küp numunenin çapı 2 m olan küre numune ile ağırlığının eşit olması nedeniyle bu bloklar kullanılmıştır. Bu sayede aynı ağırlıkta farklı geometrilerin toprak dolgu set üzerinde oluşturduğu deformasyonlar incelenebilecektir. 1.612 m³'lük küp bloklar için aynı koşullar altında farklı hızlarda yapılan analiz sonuçları Şekil 4.54'de verilmiştir. Şekil 4.46 – 4.53'de dört farklı hızda yapılan analizlerin deformasyon konturları ve zamana bağlı deformasyon grafikleri gösterilmiştir.



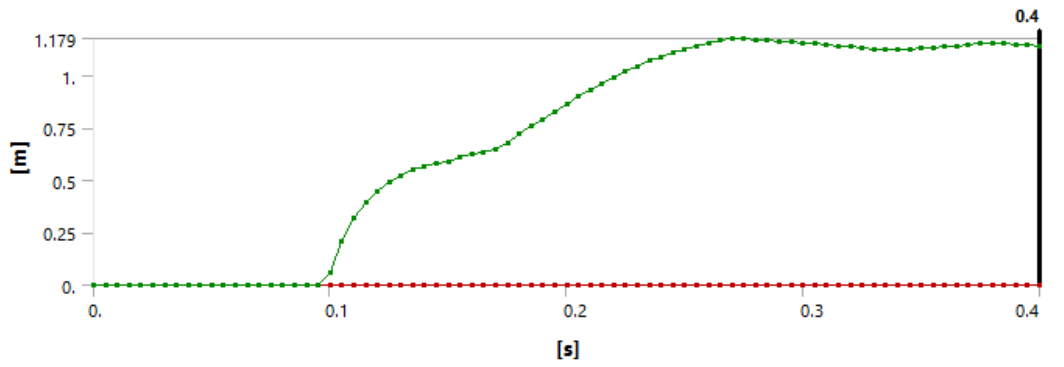
Şekil 4.46. V=25 m/s, H=3.00 m K=1.612 m olan küp bloğun deformasyon konturları



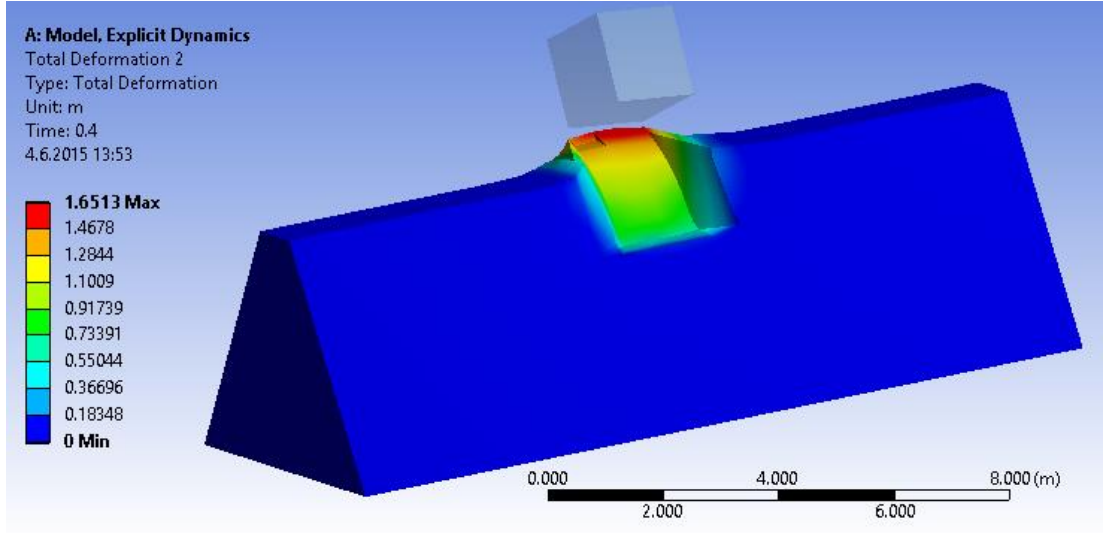
Şekil 4.47. V=25 m/s, H=3.00 m K=1.612 m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



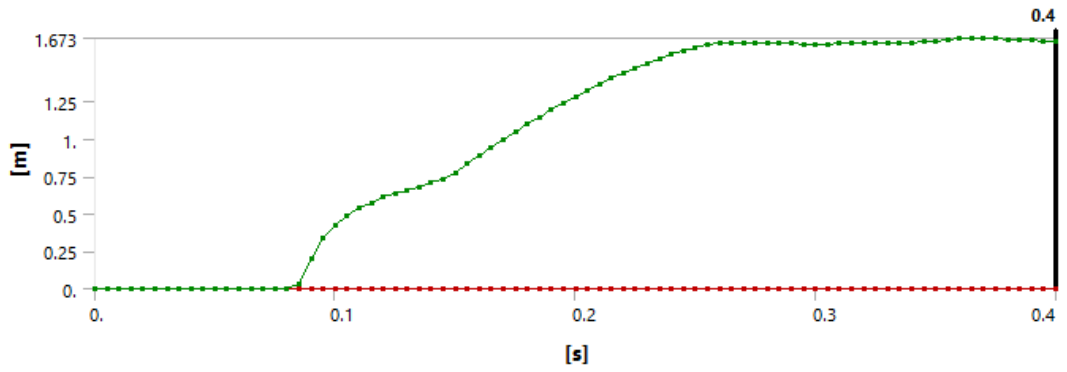
Şekil 4.48. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m $K=1.612$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



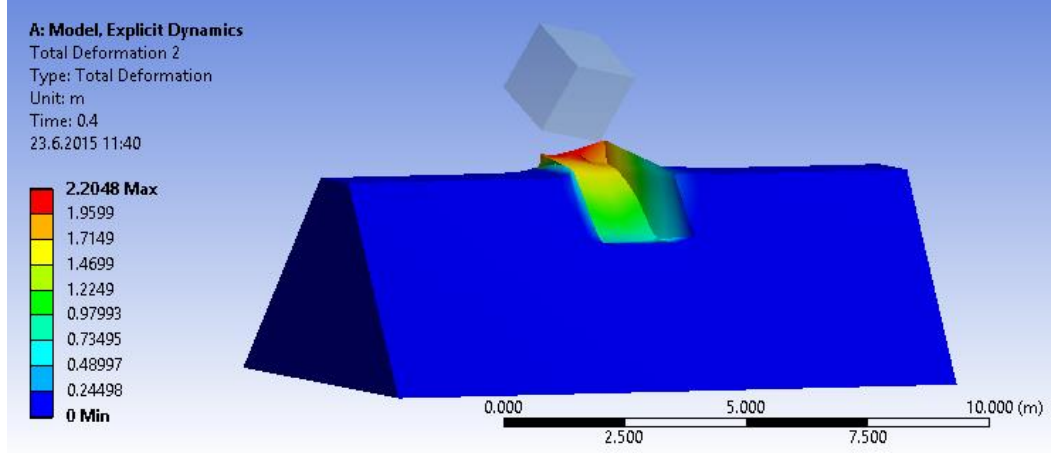
Şekil 4.49. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m $K=1.612$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



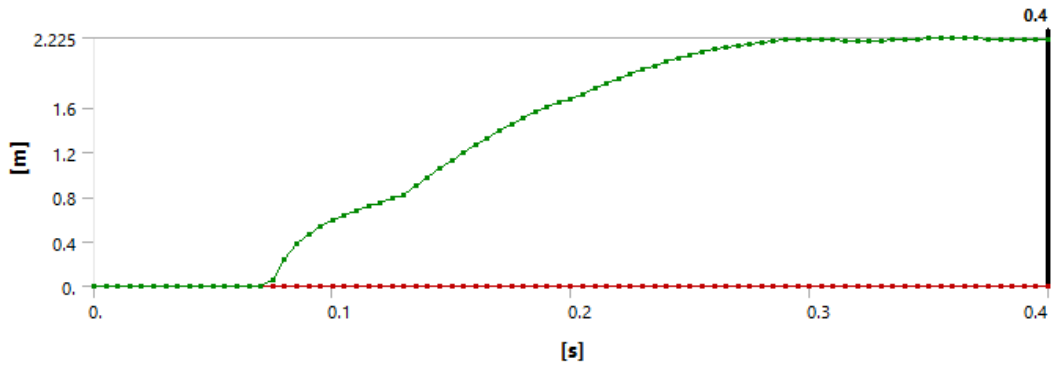
Şekil 4.50. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m $K=1.612$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



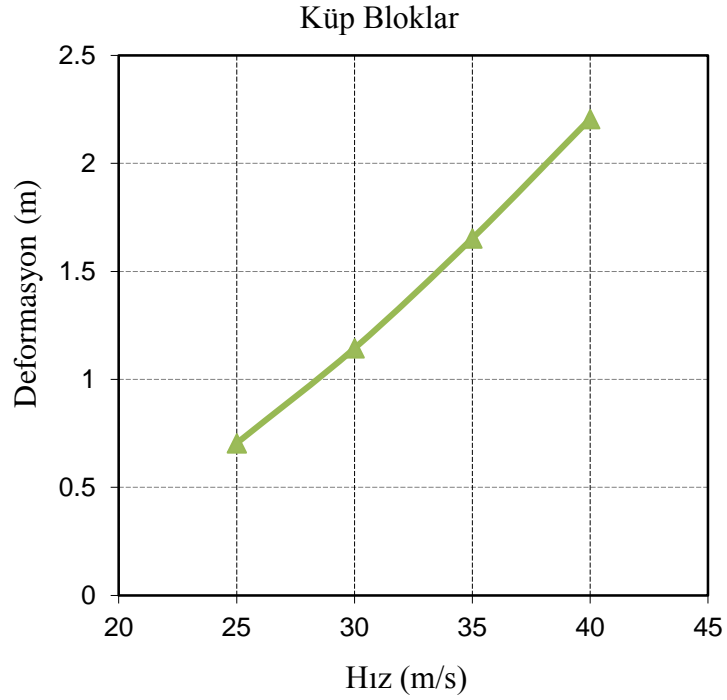
Şekil 4.51. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m $K=1.612$ m olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



Şekil 4.52. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m $K=1.612$ m olan küp bloğun deformasyon konturları



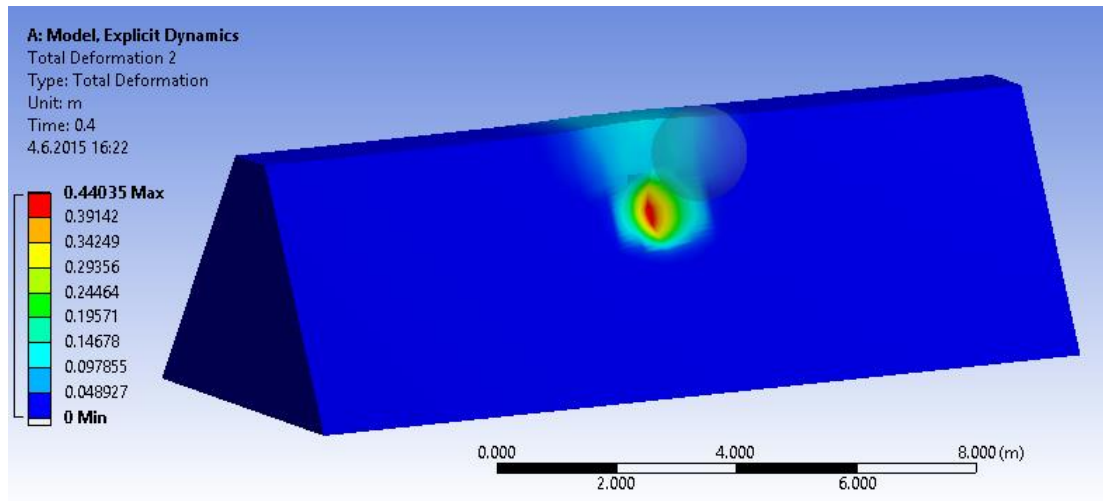
Şekil 4.53. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m $K=1.612$ m olan küp bloğun zamana bağlı -deformasyon grafiği



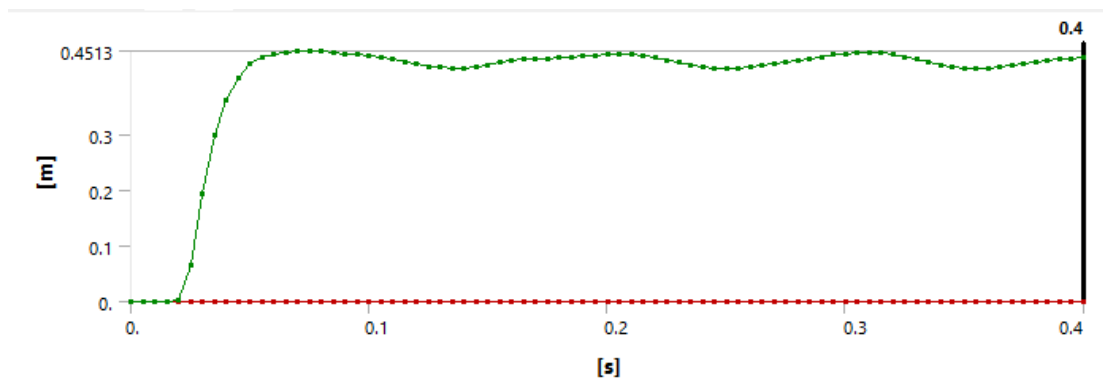
Şekil 4.54. $H=3.00$ m ve $K=1.612$ m olan küp blokların hız-deformasyon grafiği

4.2.7 Seri 7: H= 2.20 ve R=1.6 m Olan Küre Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması

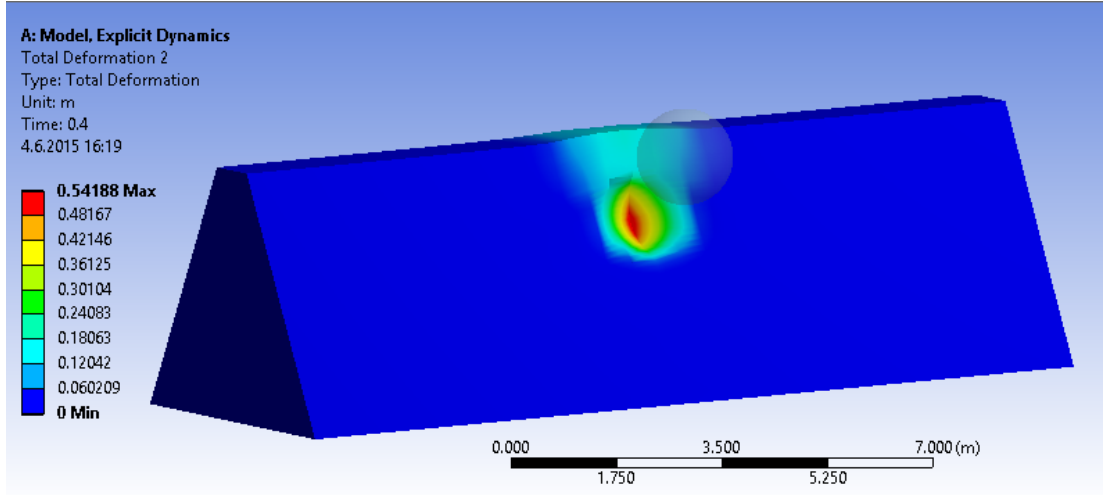
Seri 7 analizlerde çapı 1.6 m ve çarpma yüksekliği 2.20 m olan küre bloklar dört farklı hızda toprak dolgu sete çarpıtılarak deformasyonlar incelenmiştir. Küre bloklar için aynı koşullar altında farklı hızlarda yapılan analiz sonuçları Şekil 4.63’de verilmiştir. Şekil 4.55 – 4.62’de analiz sonuçlarından elde edilen deformasyon konturları ve zamana bağlı deformasyon grafikleri gösterilmiştir.



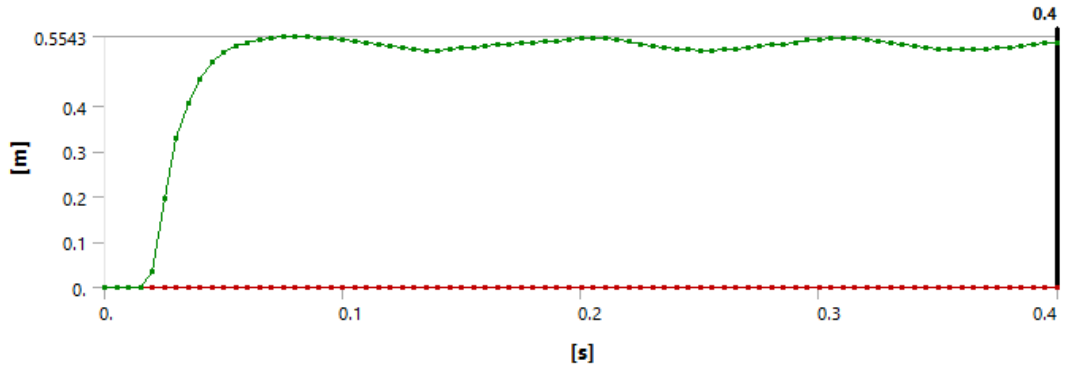
Şekil 4.55. V=25 m/s, H=2.20 m K=1.6 m olan küre bloğun deformasyon konturları



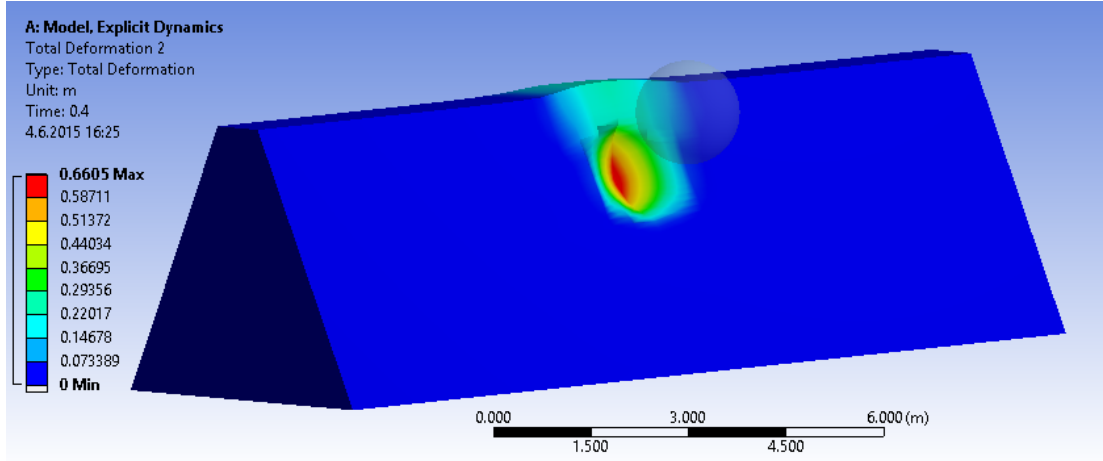
Şekil 4.56. V=25 m/s, H=2.20 m K=1.6 m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



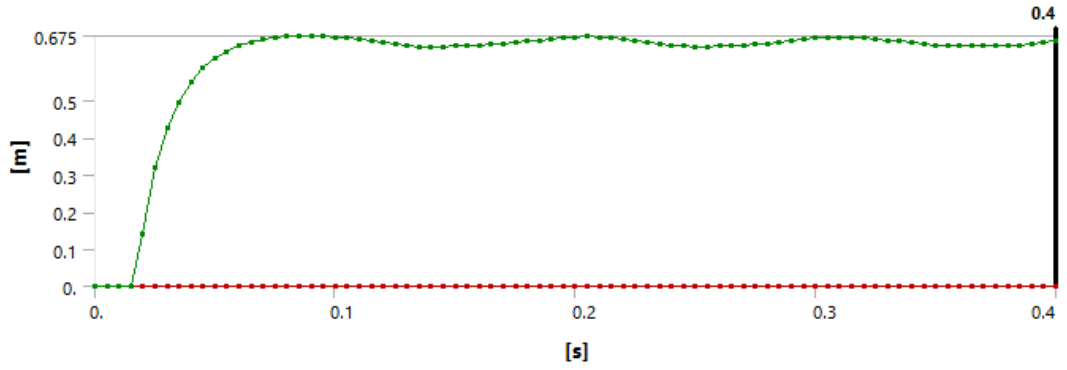
Şekil 4.57. $V=30$ m/s, $H=2.20$ m $R=1.6$ m olan küre bloğun deformasyon konturları



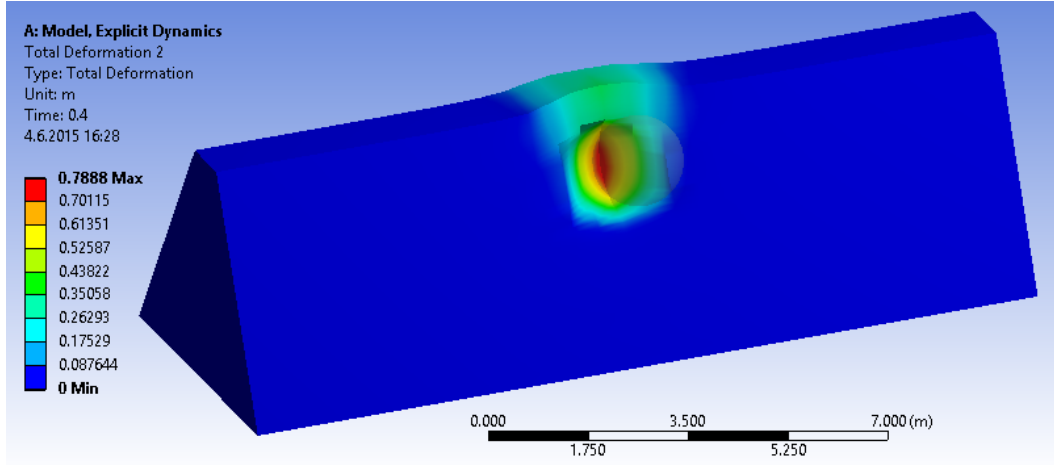
Şekil 4.58. $V=30$ m/s, $H=2.20$ m $R=1.6$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



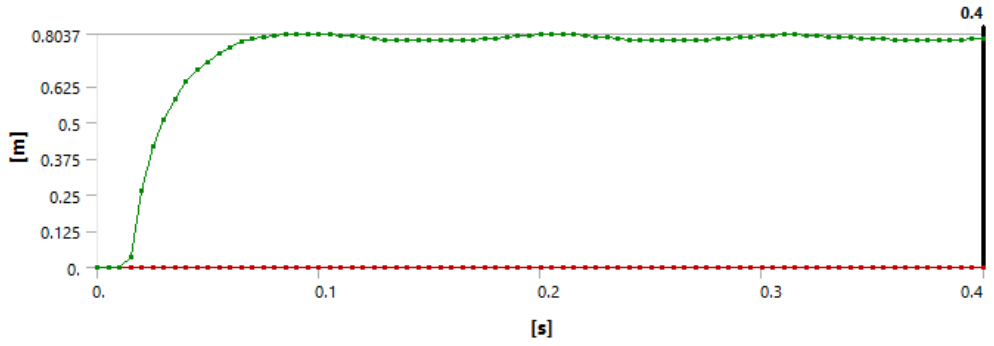
Şekil 4.59. $V=35$ m/s, $H=2.20$ m $R=1.6$ m olan küre bloğun deformasyon konturları



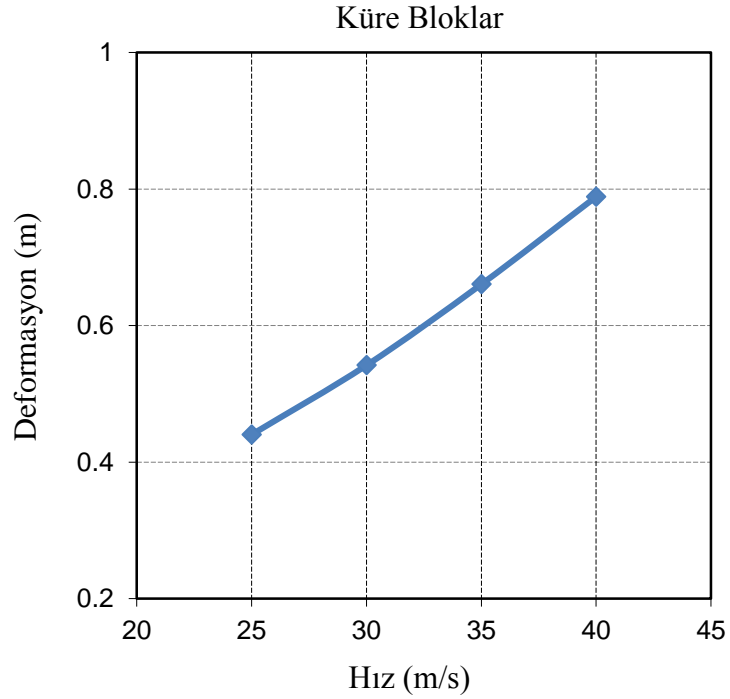
Şekil 4.60. $V=35$ m/s, $H=2.20$ m $R=1.6$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



Şekil 4.61. $V=40$ m/s, $H=2.20$ m $R=1.6$ m olan küre bloğun deformasyon konturları



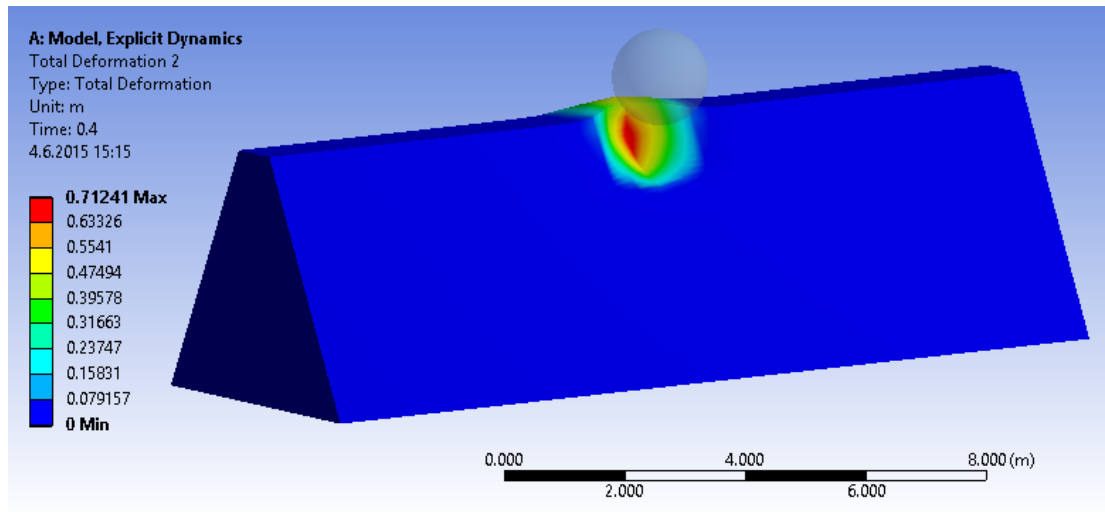
Şekil 4.62. $V=40$ m/s, $H=2.20$ m $R=1.6$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



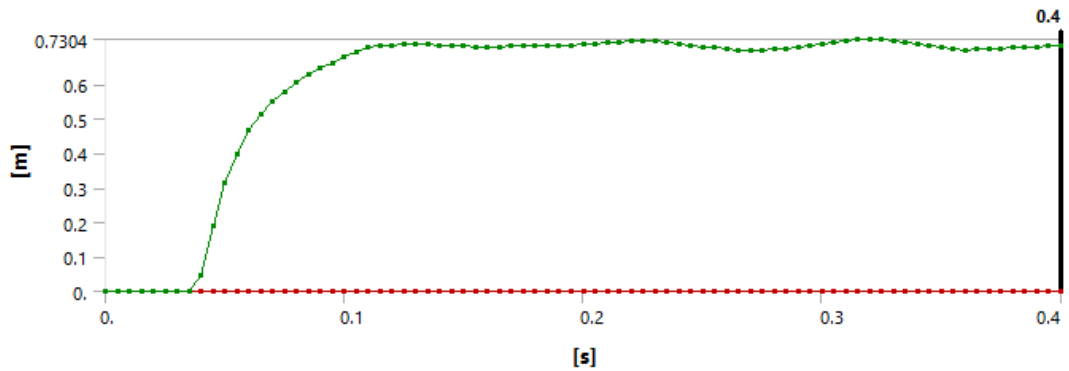
Şekil 4.63. $H=2.20$ m ve $R=1.6$ m olan küre blokların hız-deformasyon grafiği

4.2.8 Seri 8: H= 3.00 ve R=1.6 m Olan Küre Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması

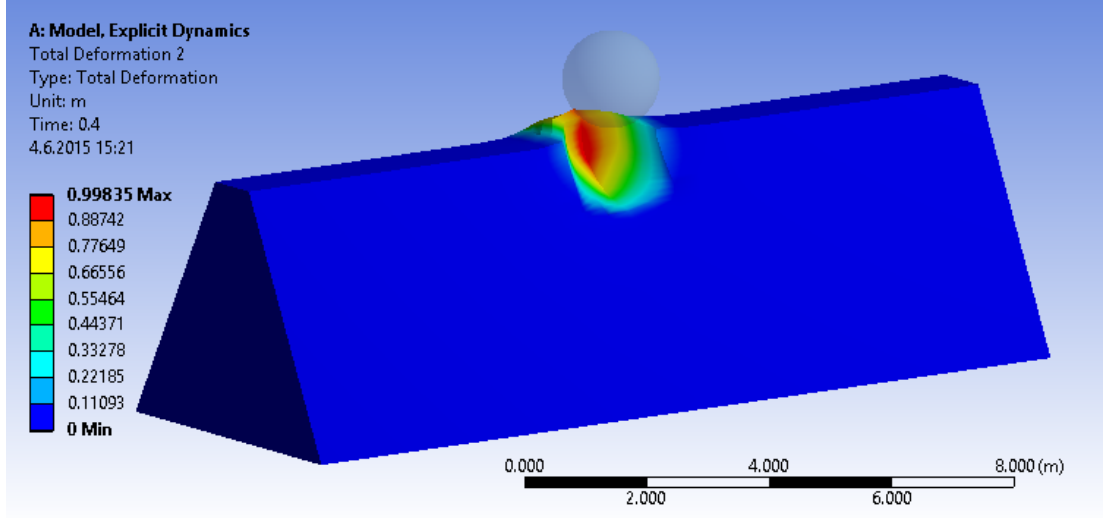
Seri 8 analizlerde çapı 1.6 m ve çarpma yüksekliği 3 m olan küre bloklar dört farklı hızda toprak dolgu sete çarpıtılarak set üzerinde oluşan deformasyonlar incelenmiştir. Küre bloklar için aynı koşullar altında farklı hızlarda yapılan analiz sonuçları Şekil 4.72’de verilmiştir. Şekil 4.64 – 4.71’de analiz sonuçlarından elde edilen deformasyon konturları ve zamana bağlı deformasyon grafikleri gösterilmiştir.



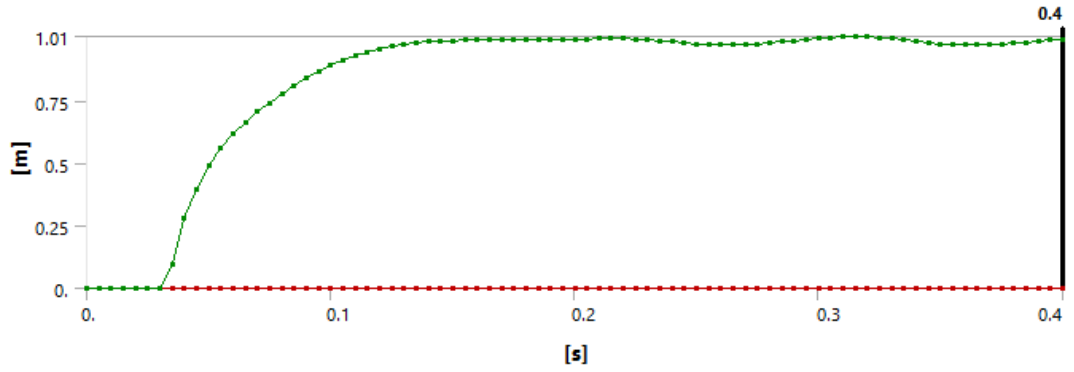
Şekil 4.64. V=25 m/s, H=3.00 m R=1.6 m olan küre bloğun deformasyon konturları



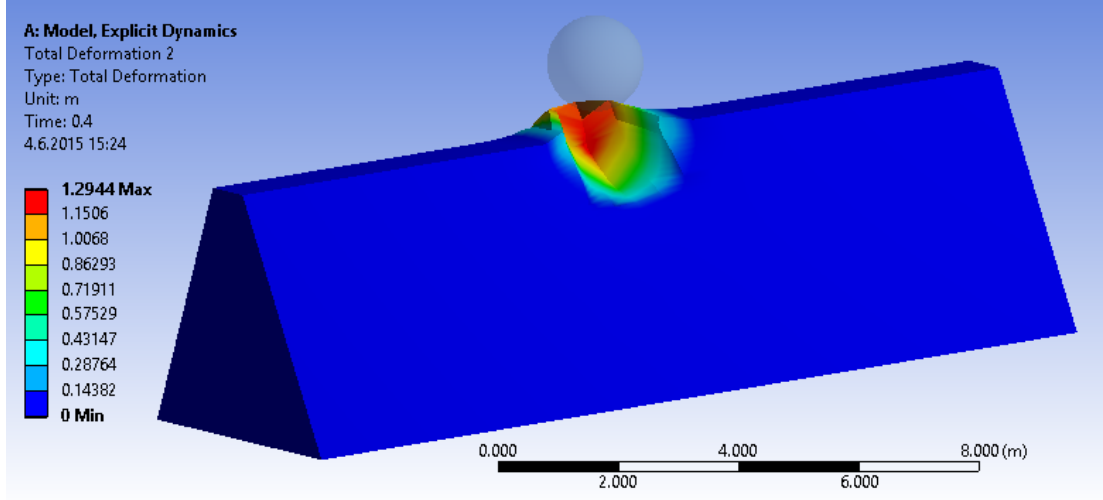
Şekil 4.65. V=25 m/s, H=3.00 m R=1.6 olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



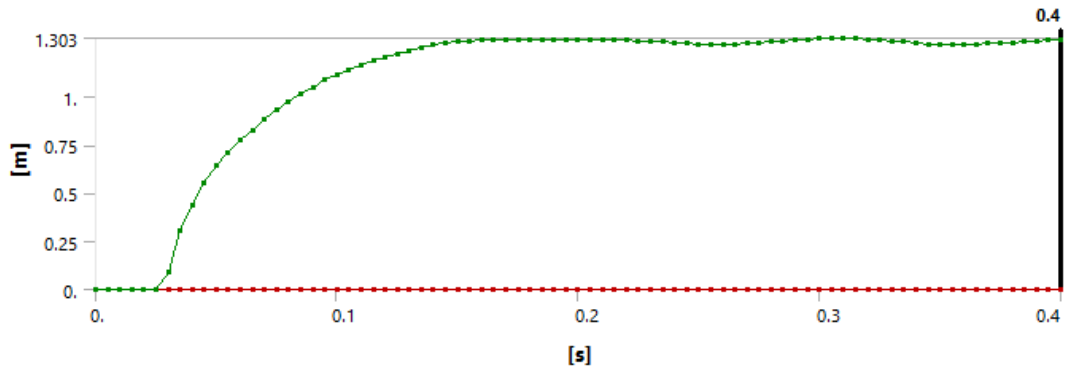
Şekil 4.66. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m $R=1.6$ olan küre bloğun deformasyon konturları



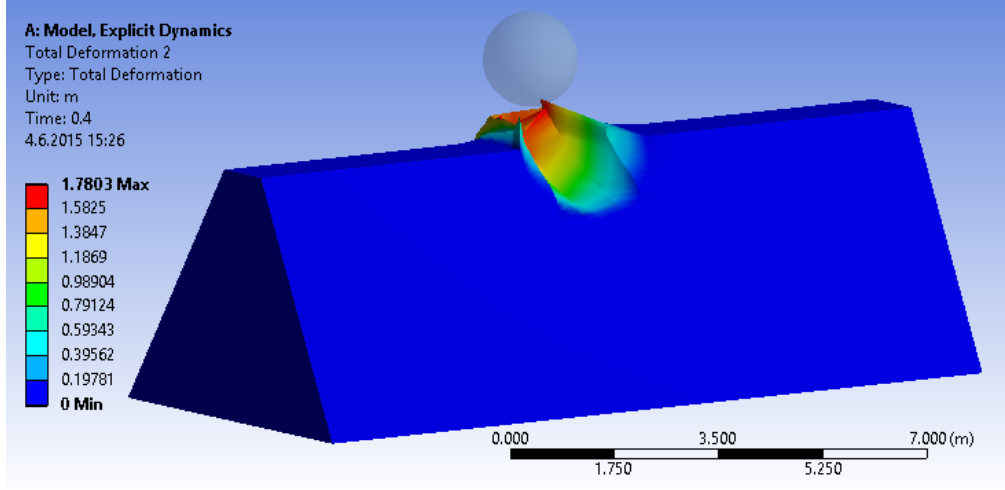
Şekil 4.67. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m $R=1.6$ olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



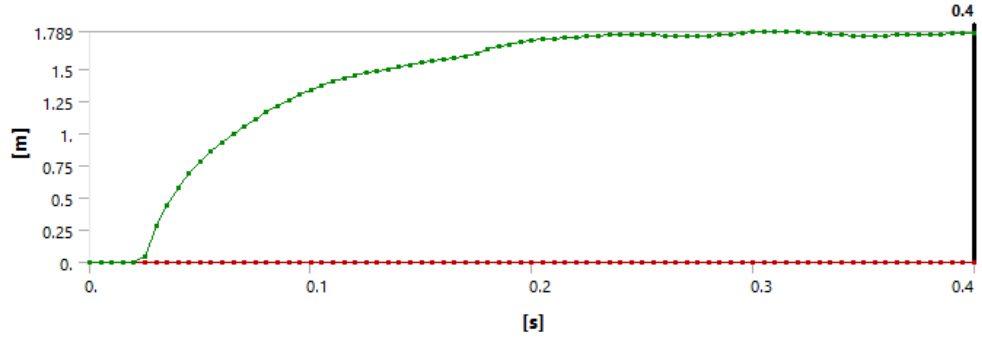
Şekil 4.68. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m $R=1.6$ olan küre bloğun deformasyon konturları



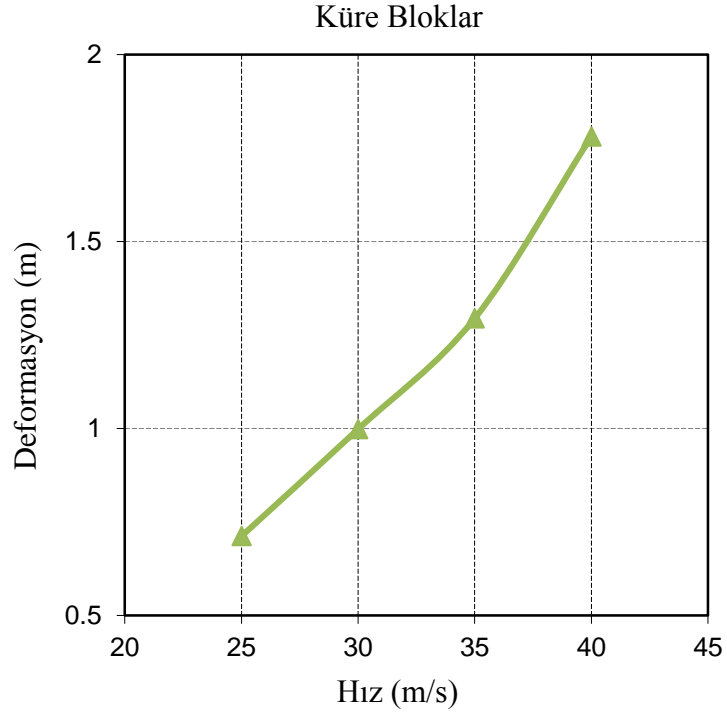
Şekil 4.69. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m $R=1.6$ olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



Şekil 4.70. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m $R=1.6$ olan küre bloğun deformasyon konturları



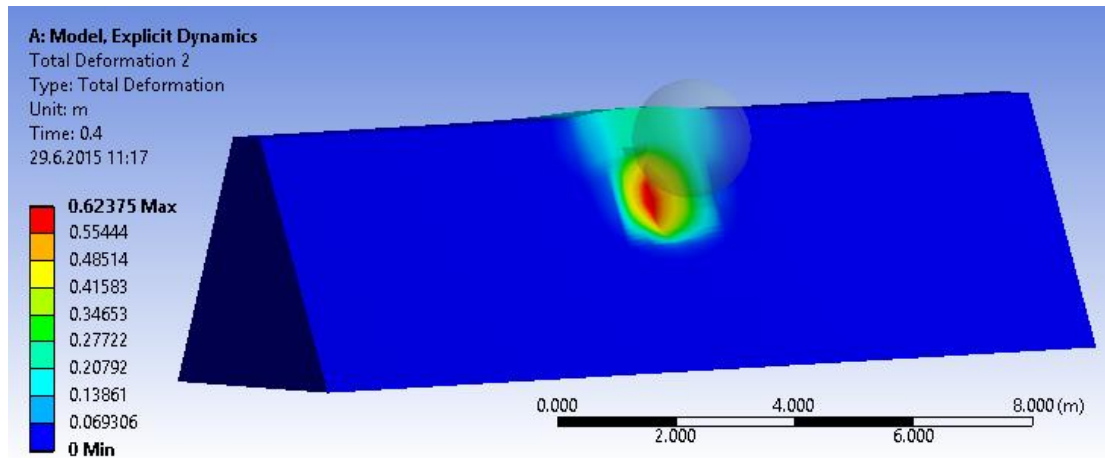
Şekil 4.71. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m $R=1.6$ olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



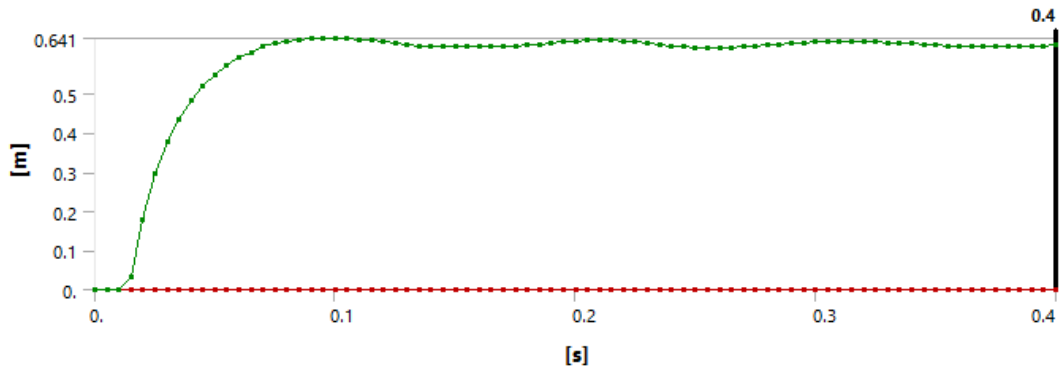
Şekil 4.72. $H=3.00$ m ve $R=1.6$ m olan küre blokların hız-deformasyon grafiği

4.2.9 Seri 9: H= 2.00 ve R=2.0 m Olan Küre Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması

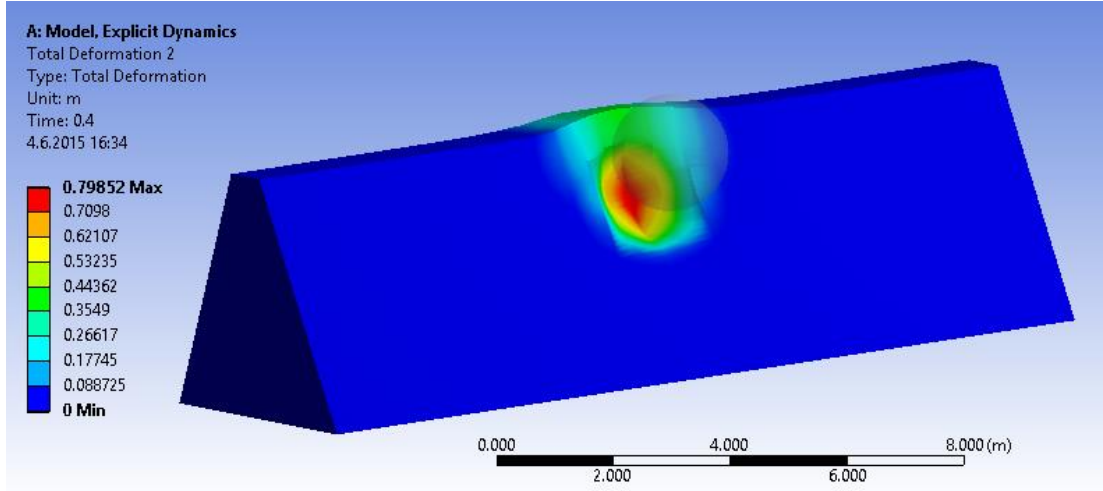
Seri 9 analizlerde çapı 2.0 m ve çarpma yüksekliği 2.00 m olan küre bloklar dört farklı hızda toprak dolgu sete çarpıtılarak set üzerinde oluşan deformasyonlar incelenmiştir. Küre bloklar için aynı koşullar altında farklı hızlarda yapılan analiz sonuçları Şekil 4.81’de verilmiştir. Şekil 4.73 – 4.80’de analiz sonuçlarından elde edilen deformasyon konturları ve zamana bağlı deformasyon grafikleri gösterilmiştir.



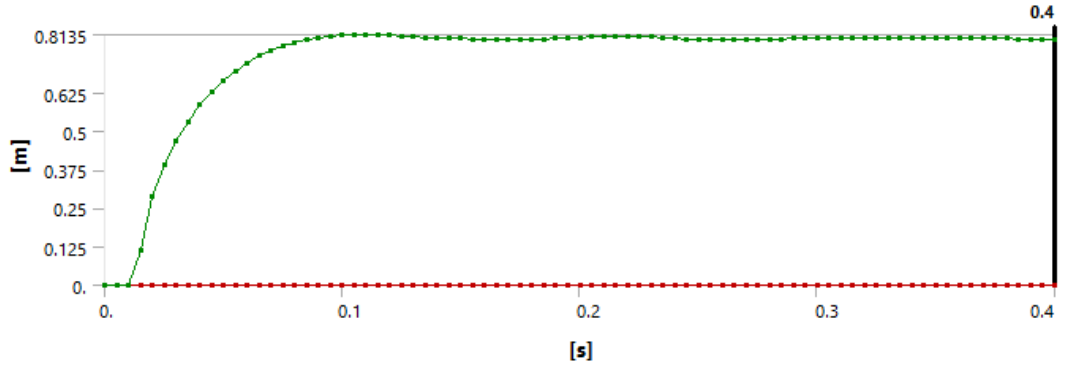
Şekil 4.73. V=25 m/s, H=2.00 m R=2.0 olan küre bloğun deformasyon konturları



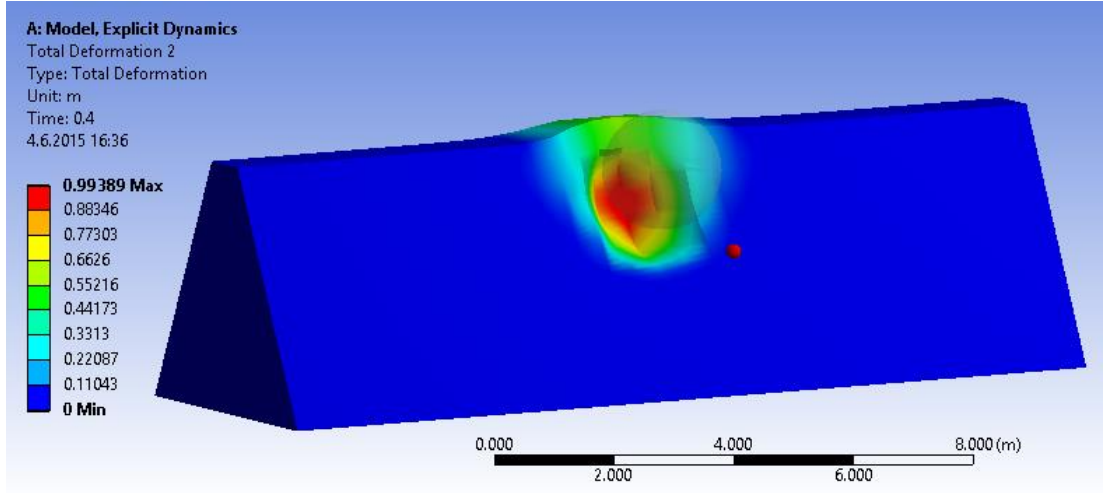
Şekil 4.74. V=25 m/s, H=2.00 m ve R=2.0 olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



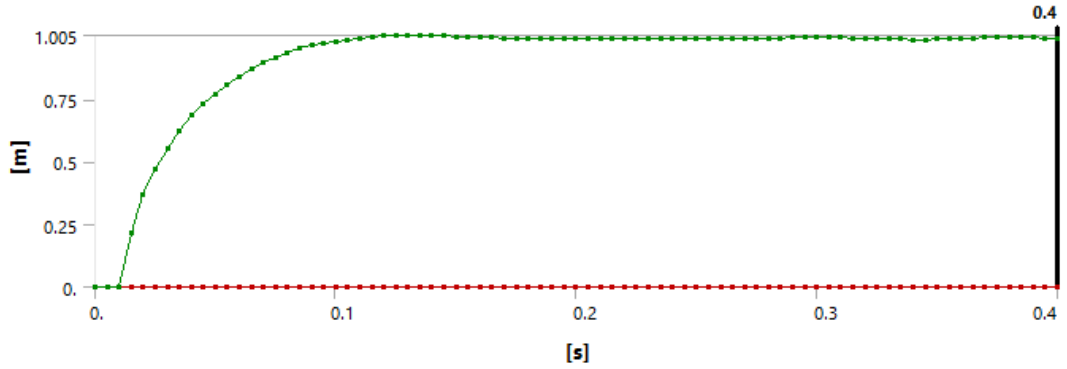
Şekil 4.75. $V=30$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları



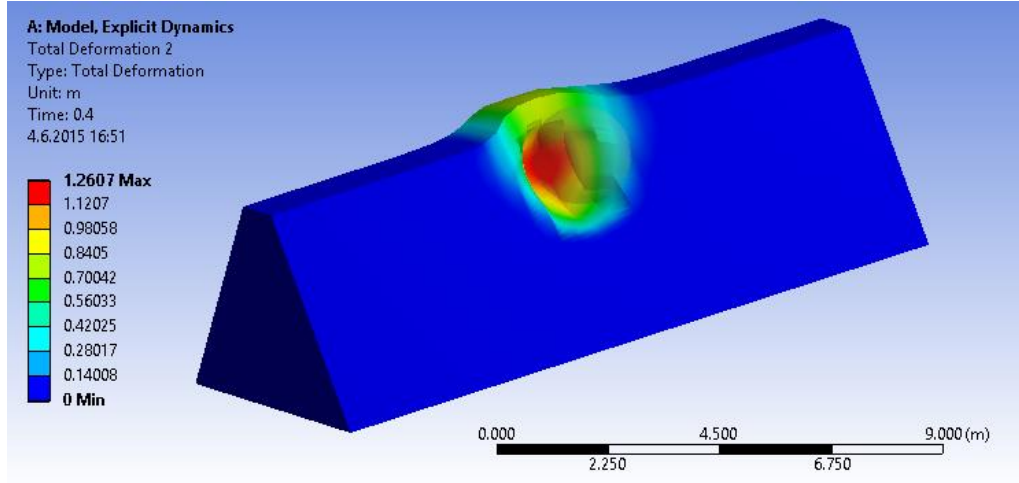
Şekil 4.76. $V=30$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



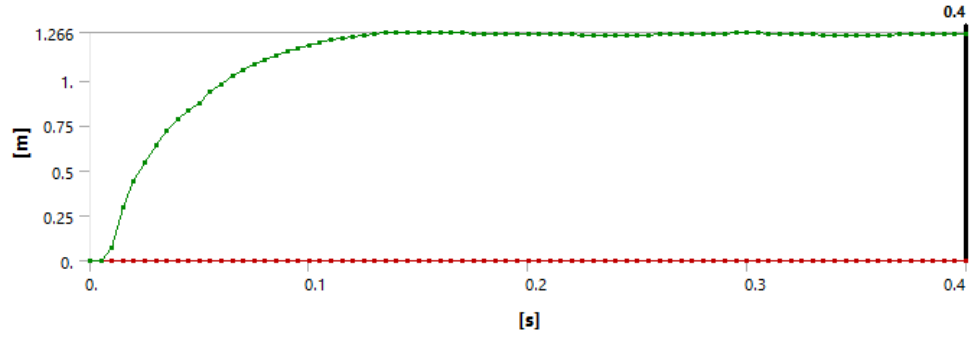
Şekil 4.77. $V=35$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları



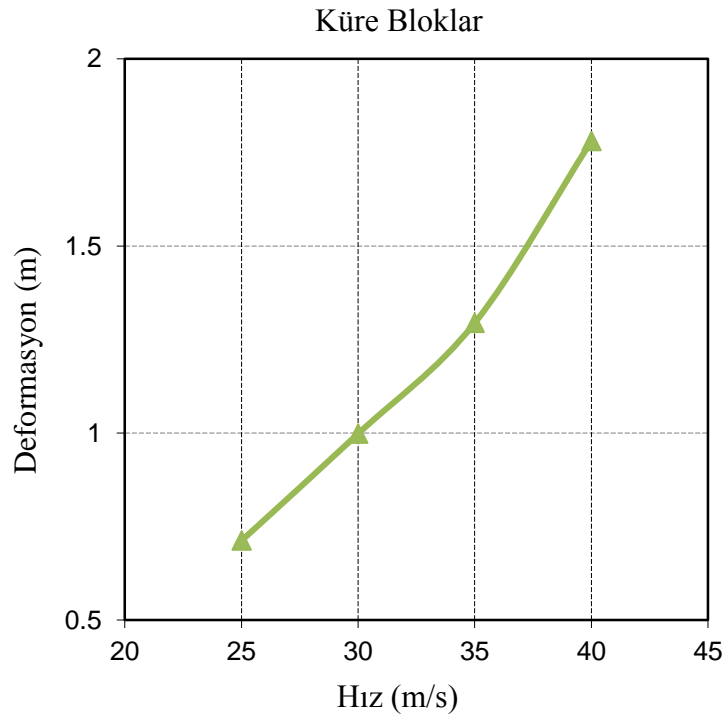
Şekil 4.78. $V=35$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



Şekil 4.79. $V=40$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları



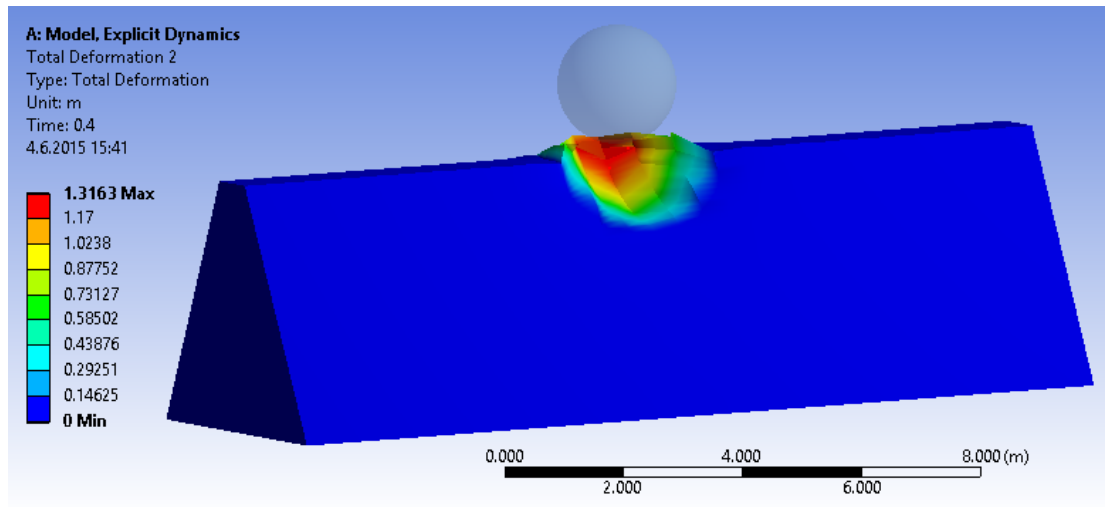
Şekil 4.80. $V=40$ m/s, $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



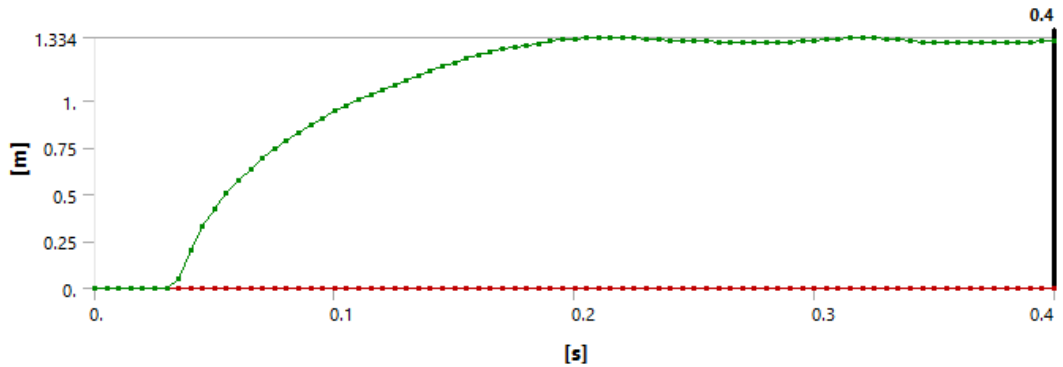
Şekil 4.81. $H=2.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre blokların hız deformasyon grafiği

4.2.10 Seri 10: H= 3.00 ve R=2.0 Olan Küre Blokların Farklı Hızlarda Toprak Dolgu Sete Çarpıtılması

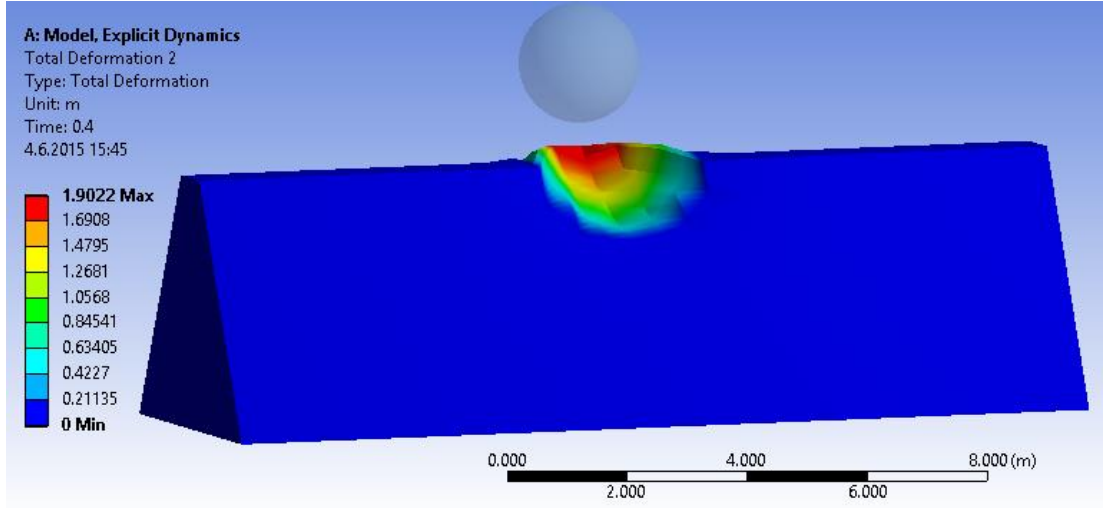
Seri 10 analizlerde çapı 2.0 m ve çarpma yüksekliği 3.00 m olan küre bloklar dört farklı hızda toprak dolgu sete çarpıtılarak set üzerinde oluşan deformasyonlar incelenmiştir. Küre bloklar için aynı koşullar altında farklı hızlarda yapılan analiz sonuçları Şekil 4.90'de verilmiştir. Şekil 4.82 – 4.89'da analiz sonuçlarından elde edilen deformasyon konturları ve zamana bağlı deformasyon grafikleri gösterilmiştir.



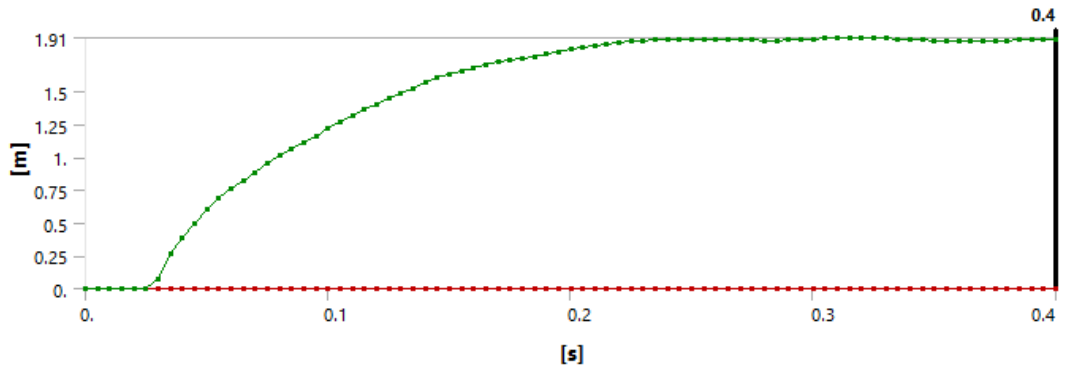
Şekil 4.82. V=25 m/s, H=3.00 m ve R=2.0 m olan küre bloğun deformasyon konturları



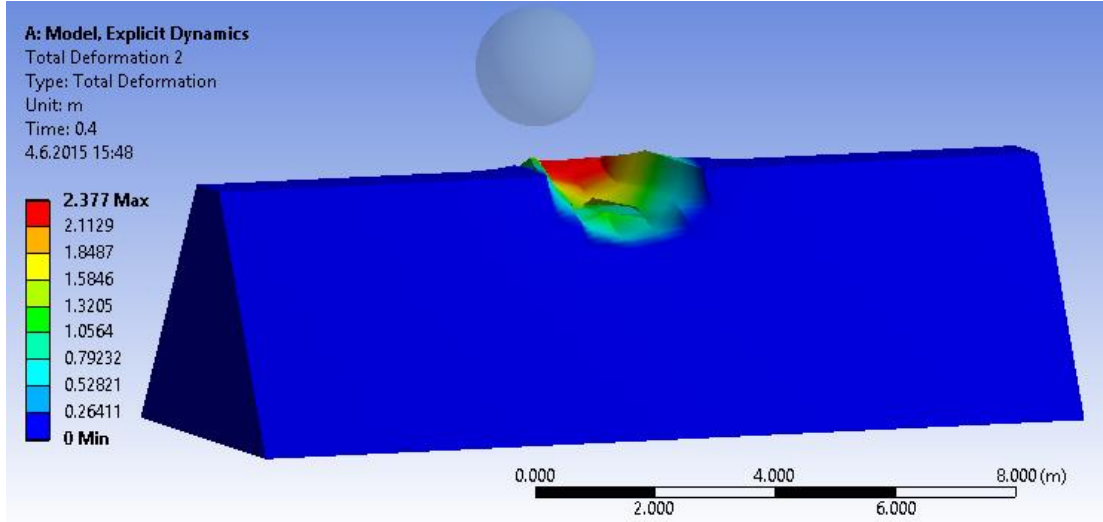
Şekil 4.83. V=25 m/s, H=3.00 m ve R=2.0 m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



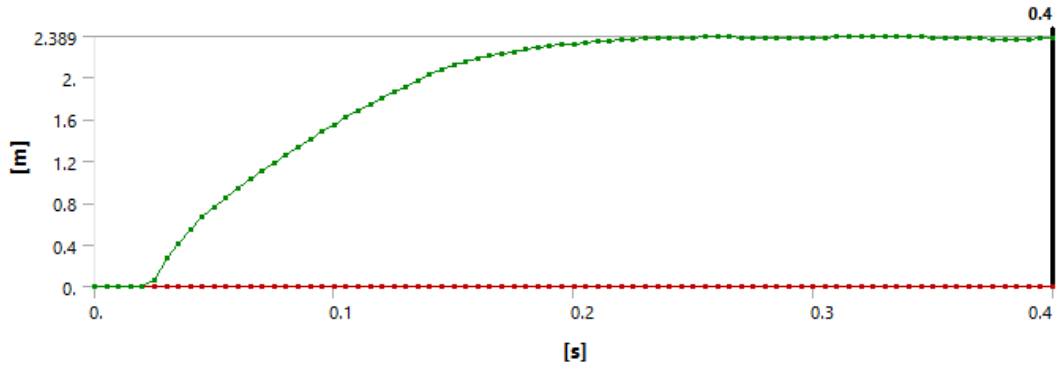
Şekil 4.84. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları



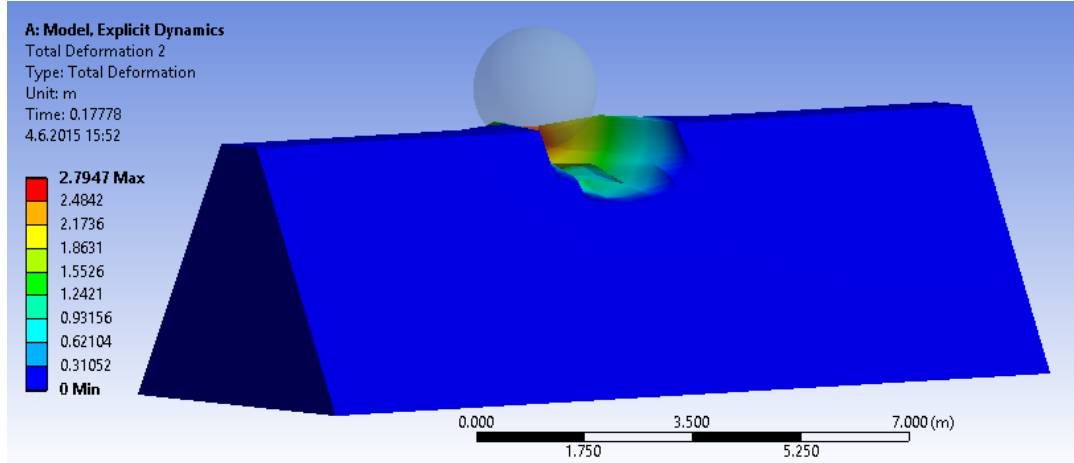
Şekil 4.85. $V=30$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



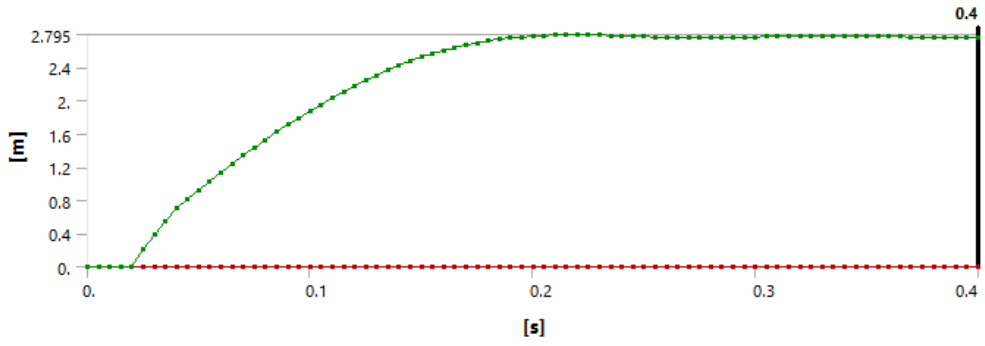
Şekil 4.86. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları



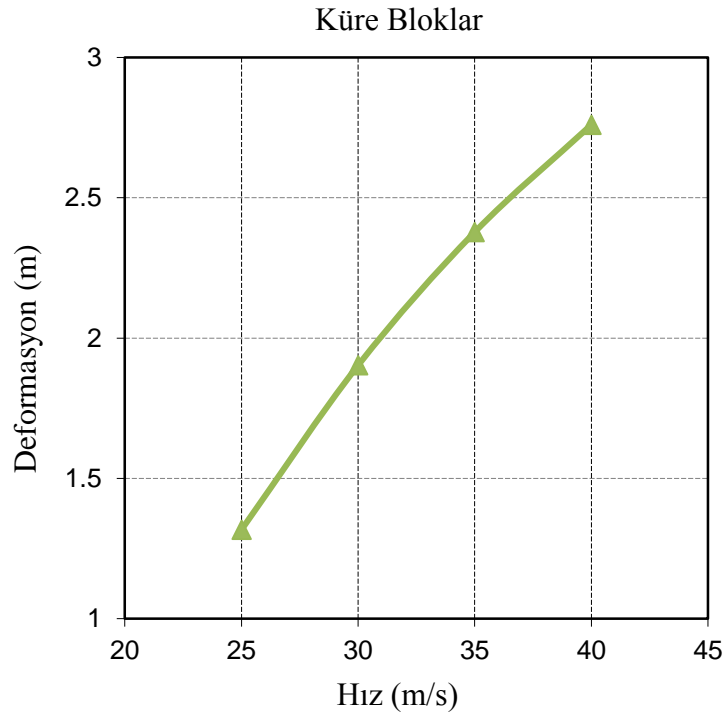
Şekil 4.87. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



Şekil 4.88. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun deformasyon konturları



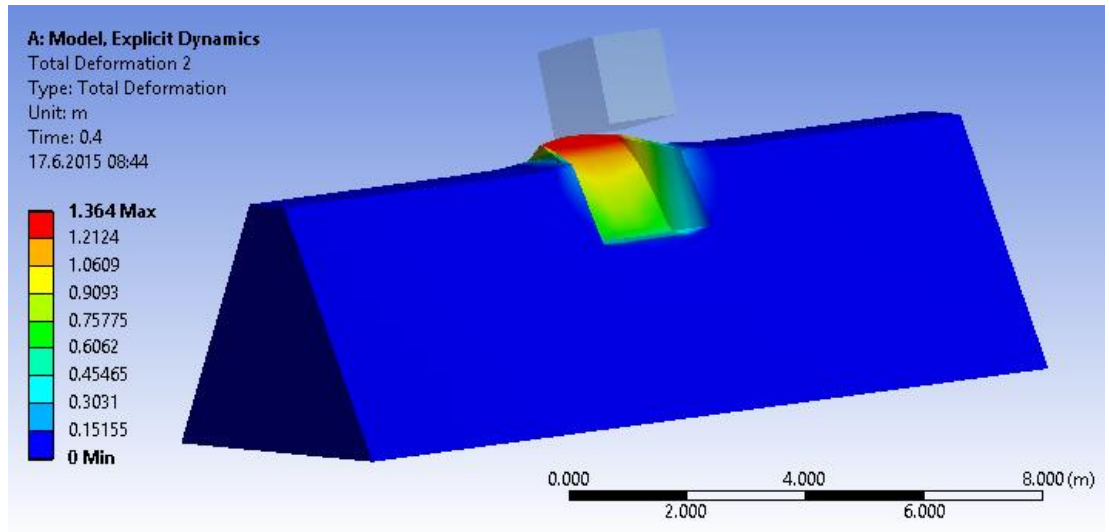
Şekil 4.89. $V=40$ m/s, $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği



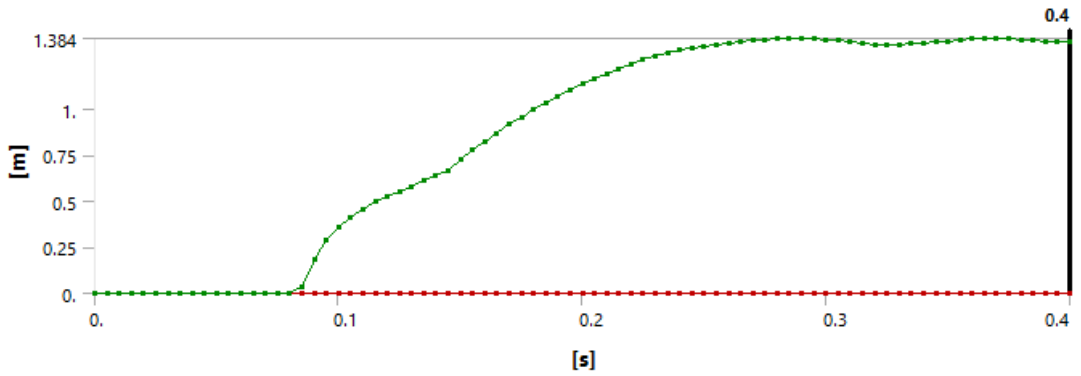
Şekil 4.90. $H=3.00$ m ve $R=2.0$ m olan küre blokların hız deformasyon grafiği

4.2.11 Seri 11: Toprak Dolgu Setin İmalatında Kullanılan Zeminin İçsel Sürtünme Açısının Değişiminin Deformasyonlara Etkisi

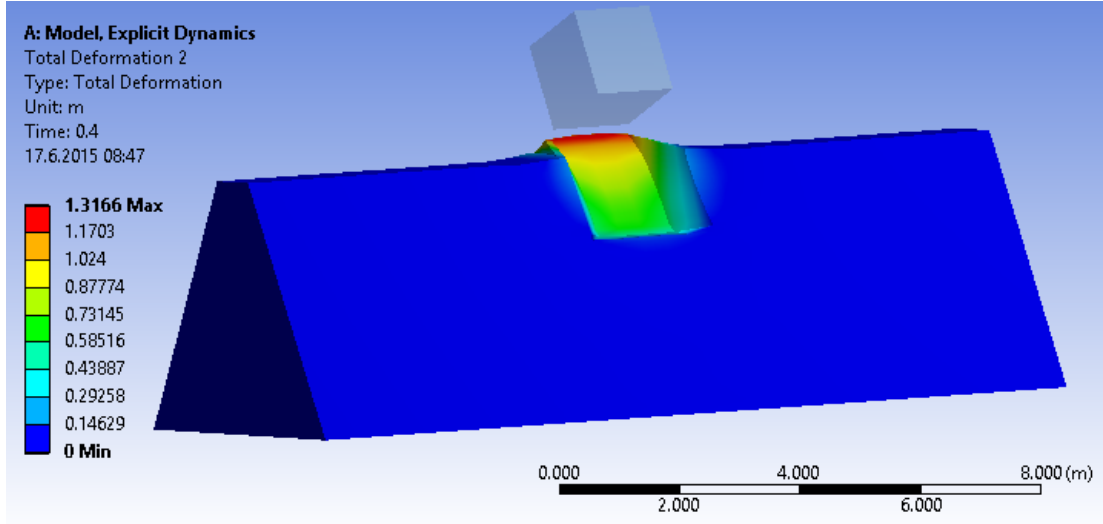
Bu seri analizlerde toprak dolgu setin imalatında kullanılan zeminin içsel sürtünme açısının değişiminin setin üzerindeki deformasyonlara olan etkisini anlayabilmek için 1.5 m^3 'lük küp bloklar kullanılarak 35 m/s hızda ve 3.00 m çarpma yüksekliğinde sete çarptırılmıştır. Analizlerde içsel sürtünme açısı 30° , 34° ve 40° olacak şekilde üç farklı değer kullanılmıştır.



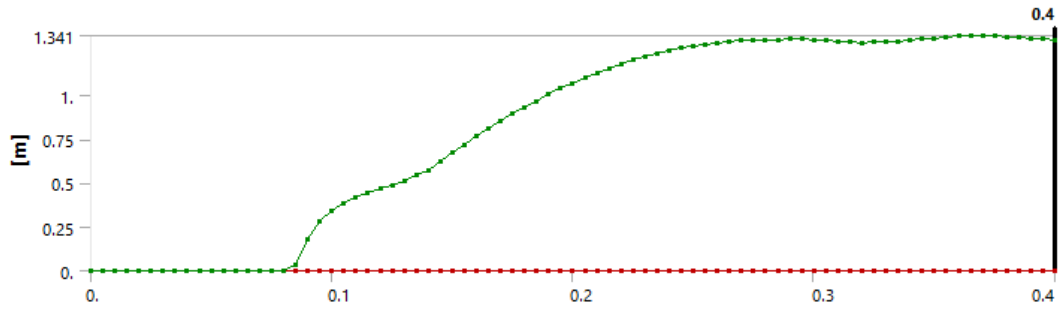
Şekil 4.91. $V=35 \text{ m/s}$, $H=3.00 \text{ m}$, $K=1.5 \text{ m}$ ve zeminin içsel sürtünme açısı 30° olan küp bloğun deformasyon konturları



Şekil 4.92. $V=35 \text{ m/s}$, $H=3.00 \text{ m}$, $K=1.5 \text{ m}$ ve zeminin içsel sürtünme açısı 30° olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği

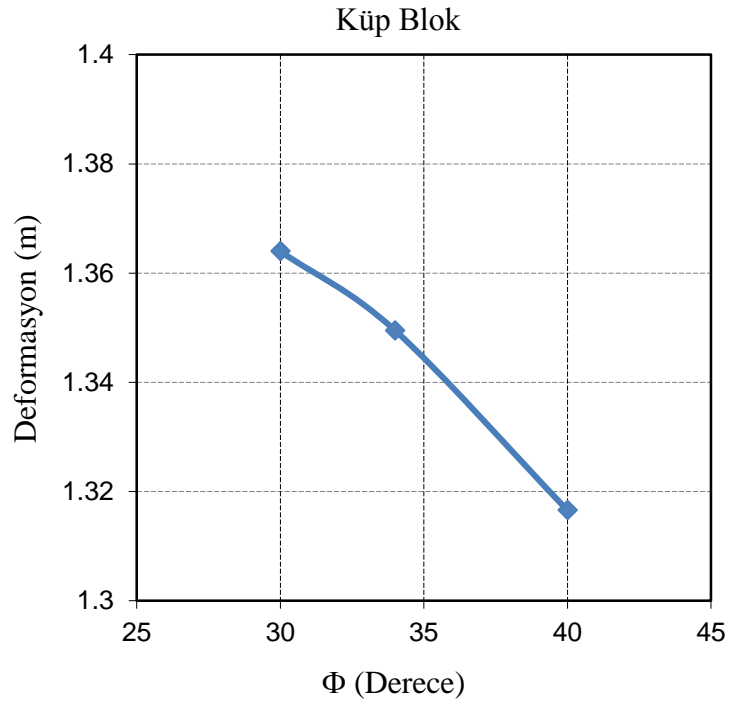


Şekil 4.93. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m, $K=1.5$ m ve zeminin içsel sürtünme açısı 40° olan küp bloğun deformasyon konturları



Şekil 4.94. $V=35$ m/s, $H=3.00$ m, $K=1.5$ m ve zeminin içsel sürtünme açısı 40° olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği

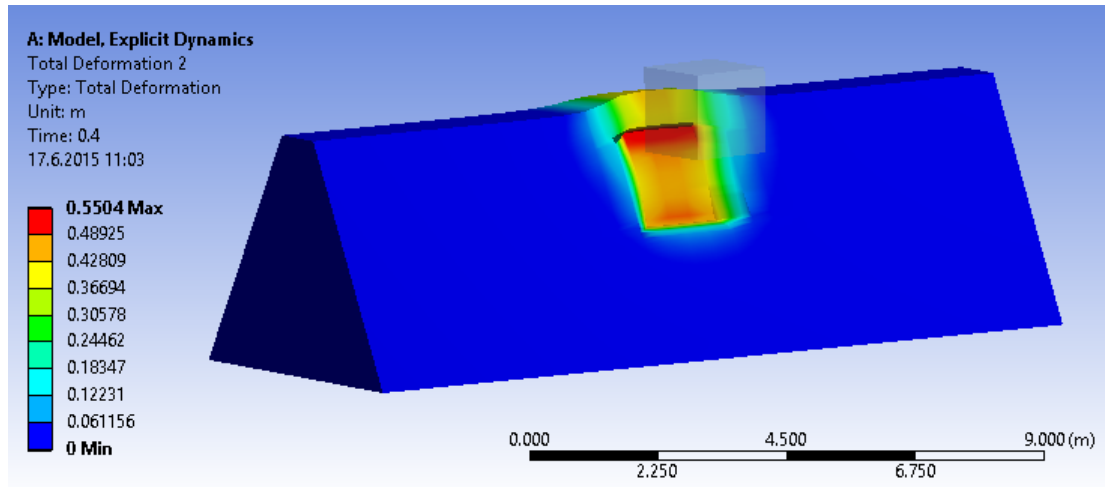
Şekil 4.95'te toprak dolgu setin imalatında kullanılan zeminin içsel sürtünme açısının deformasyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. 1.5 m³'lük küp bloklarla yapılan analizlerde bloklar toprak dolgu sete 35 m/s hızla ve 3 m çarpma yüksekliğine sahip olacak şekilde çarptırılmıştır. İçsel sürtünme açıları sırasıyla 30⁰, 34⁰ ve 40⁰ olarak alınmış ve analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.95'te içsel sürtünme açısının artmasıyla deformasyonların azaldığı görülmektedir.



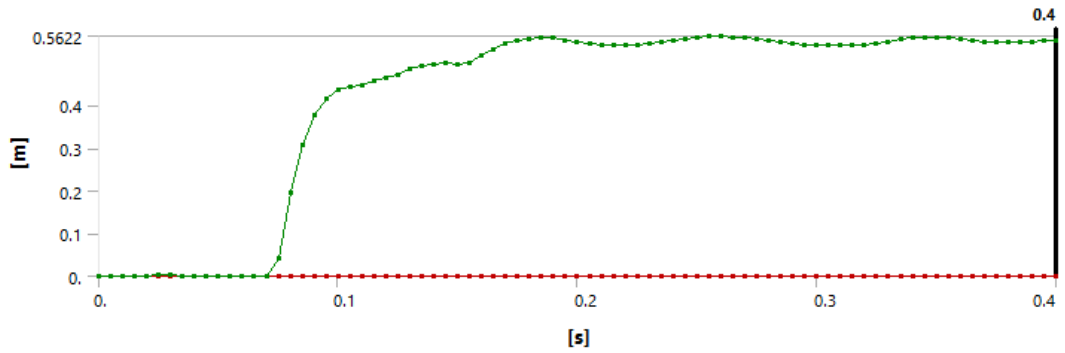
Şekil 4.95 Toprak dolgu setin imalatı için kullanılan zeminin içsel sürtünme açısının deformasyonlar üzerindeki etkisi

4.2.12 Seri 12: Toprak Dolgu Seti İmalatında Kullanılan Zeminin Birim Hacim Ağırlığının Değişiminin Deformasyonlara Etkisi

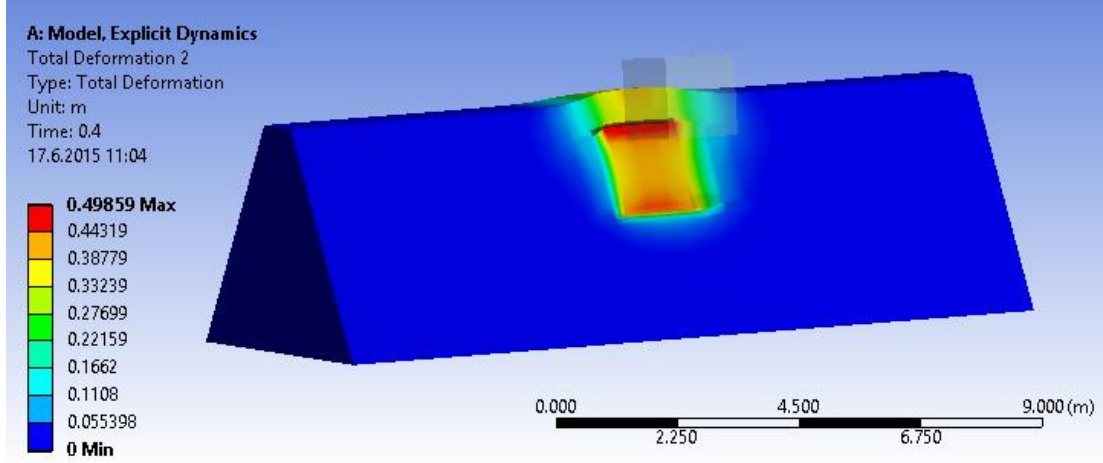
Bu seri analizlerde toprak dolgu seti oluşturmak için kullanılan zeminin farklı birim hacim ağırlıklarına sahip olması durumunda deformasyonlardaki değişim gözlenmiştir. 1.5 m^3 'lük küp bloklar kullanılarak 35 m/s hızda ve 2.25 m çarpma yüksekliğinde sete çarpıtılmıştır ve analizlerde birim hacim ağırlıklar 18 kN/m^3 , 21 kN/m^3 , 23 kN/m^3 olacak şekilde üç farklı değer kullanılmıştır.



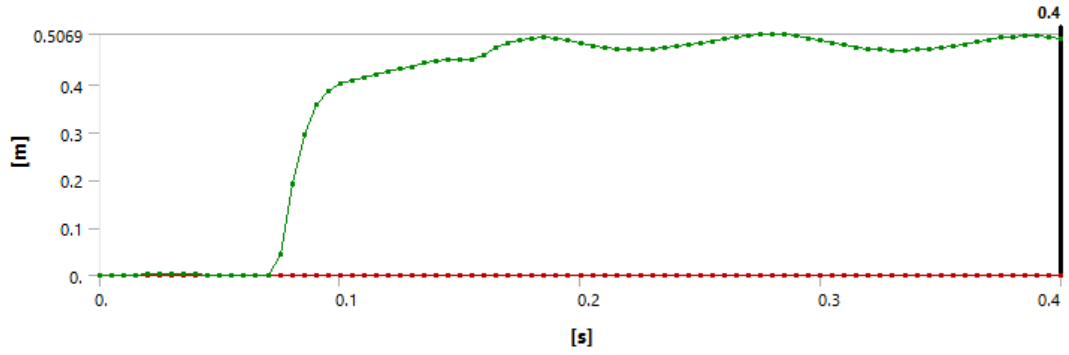
Şekil 4.96. $V=35 \text{ m/s}$, $H=2.25 \text{ m}$, $K=1.5 \text{ m}$ ve zeminin birim hacim ağırlığı 18 kN/m^3 olan küp bloğun deformasyon konturları



Şekil 4.97. $V=35 \text{ m/s}$, $H=2.25 \text{ m}$, $K=1.5 \text{ m}$ ve zeminin birim hacim ağırlığı 18 kN/m^3 olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği

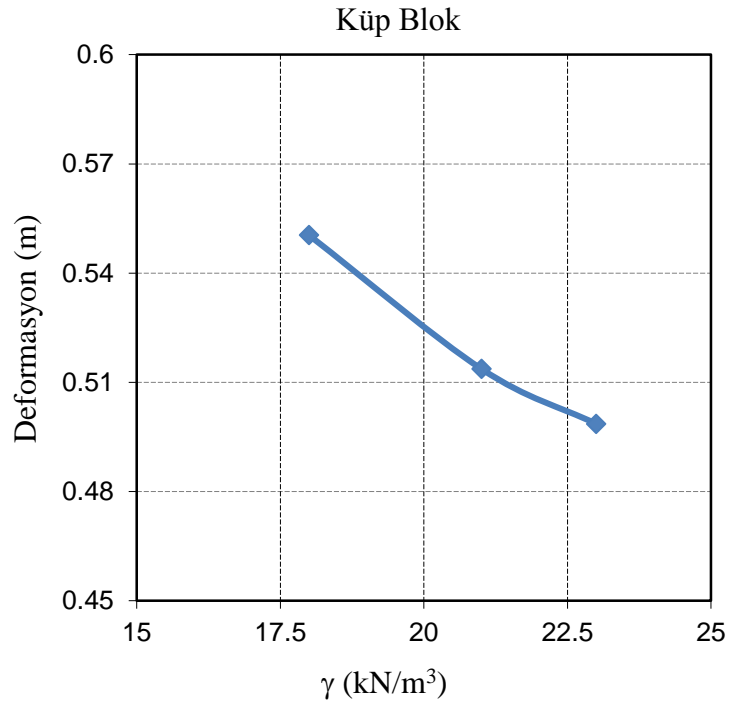


Şekil 4.98. $V=35$ m/s, $H=2.25$ m, $K=1.5$ m ve zeminin birim hacim ağırlığı 23 kN/m³ olan küp bloğun deformasyon konturları



Şekil 4.99. $V=35$ m/s, $H=2.25$ m, $K=1.5$ m ve zeminin birim hacim ağırlığı 23 kN/m³ olan küp bloğun zamana bağlı deformasyon grafiği

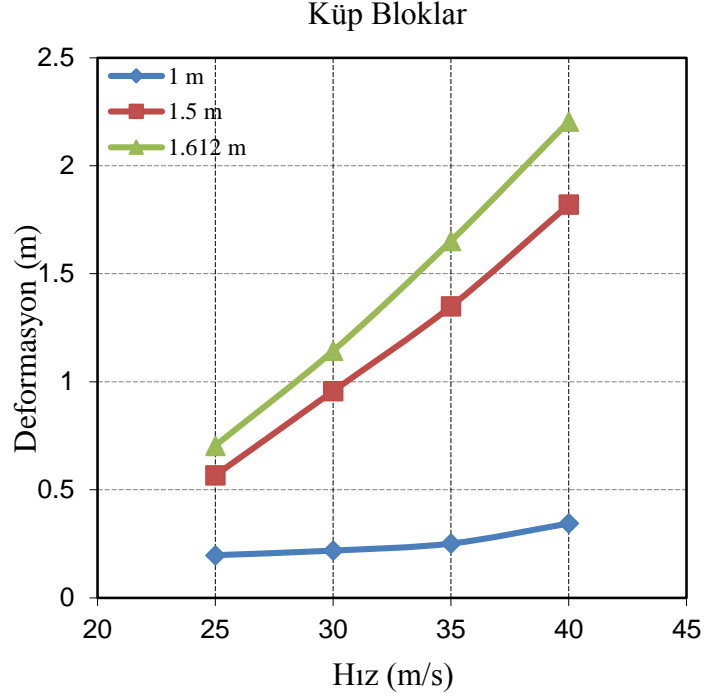
Şekil 4.100’de toprak dolgu setin yapımı için kullanılan zeminin birim hacim ağırlığının deformasyonlara olan etkisi incelenmiştir. 1.5 m³’lük küp bloklar 2.25 m çarpma yüksekliğinde olacak şekilde 35 m/s hızla fırlatılarak toprak dolgu çarptırılmıştır. Analizlerde birim hacim ağırlıklar sırasıyla 18 kN/m³, 21 kN/m³, 23 kN/m³ alınmıştır. Zeminin birim hacim ağırlığının artmasıyla deformasyonların azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.100. Toprak dolgu setin imalatı için kullanılan zeminin birim hacim ağırlığının deformasyonlar üzerindeki etkisi deformasyonlar

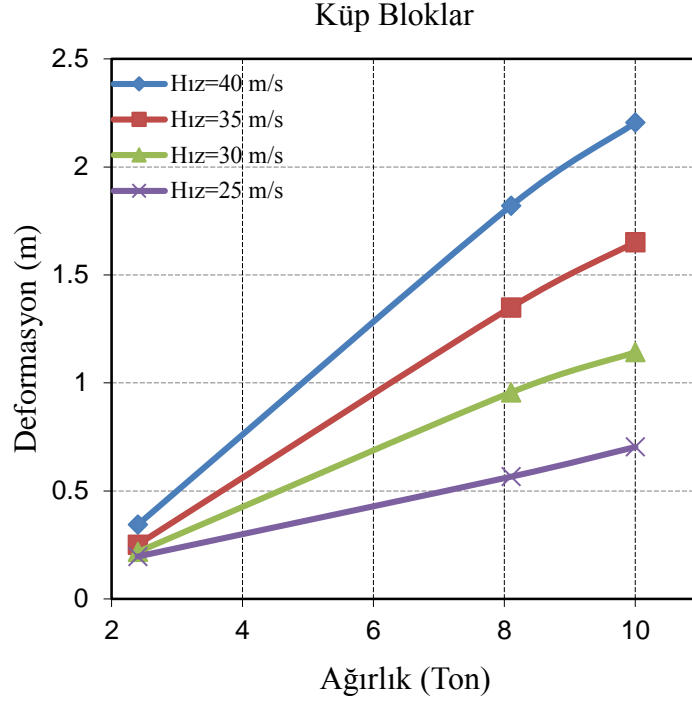
4.3 Karşılaştırmalı Analizler

Farklı kütlelerdeki kaya blokların deformasyonları nasıl değiştiği Şekil 4.101’de görülmektedir.



Şekil 4.101. Farklı hızlara sahip küp blokların meydana getirdiği maksimum deformasyonlar

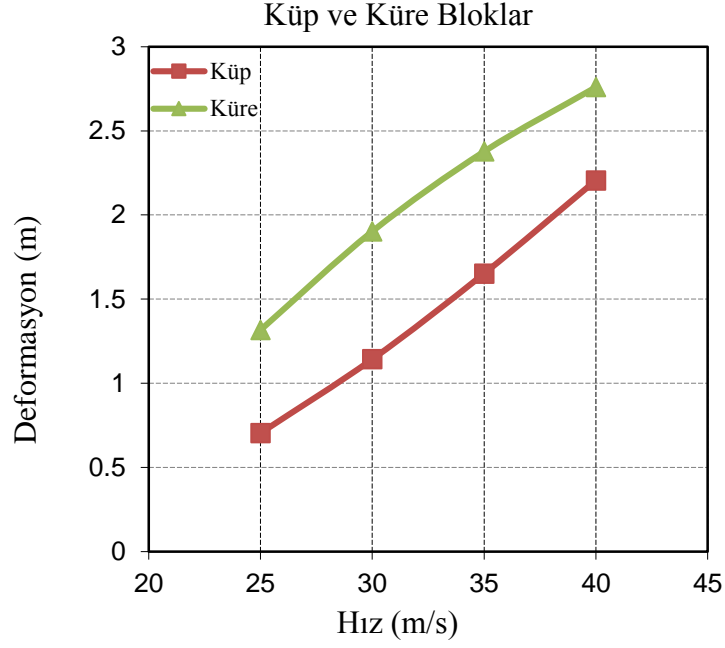
Şekil 4.101’de üç farklı küp blok kullanılarak her biri dört farklı hızda toprak dolgu sete çarptırılacak şekilde 12 analiz yapılmıştır. Küp blokların ayrıtları sırasıyla 1 m, 1.5 m ve 1.612 m ve ağırlıkları 2400 kg, 8100 kg ve 10053 kg’dır. Örneğin 25 m/s hıza sahip bloklar toprak dolgu sete çarptırıldıklarında 1 m³’lük blok 0.20 m deformasyona sebep olurken 1.5 m³’lük blok 0.56 m ve 1.612 m³’lük blok 0.70 m deformasyona sebep olmaktadır. Ayrıca hız arttıkça farklı kütlelerin etkisi grafikte daha net görülmektedir. Aynı şekilde hız azaldığında farklı kütlelerin oluşturduğu deformasyonların birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.102. Farklı kütlelere sahip küp blokların meydana getirdiği maksimum deformasyonlar

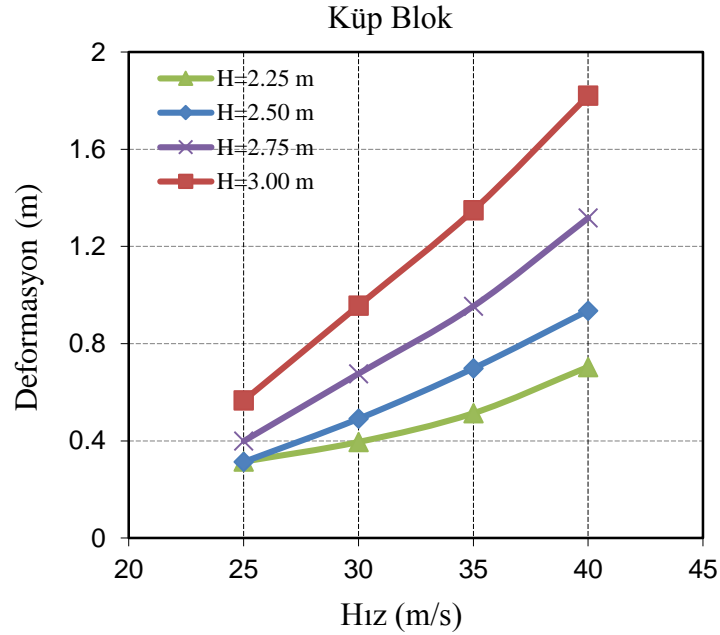
Ağırlığın deformasyonlar üzerindeki etkisini gösteren bir diğer grafik de Şekil 4.102’de verilmiştir. Şekilde yatay eksen ağırlıkları dikey eksen ise deformasyonları göstermektedir. Dört farklı hız kademesinde yapılan analizlerde ağırlık arttıkça deformasyonlar arasındaki fark net bir şekilde görülmektedir. Fakat düşük ağırlıklarda farklı hızlara sahip blokların toprak dolgu set üzerinde oluşturduğu deformasyonların birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Geometrinin deformasyonlar üzerindeki etkilerinin anlaşılabilmesi için analizlerde düşen kaya bloğu temsilen iki farklı geometriye sahip beton bloklar kullanılmıştır. Önceki seri analizlerde olduğu gibi bunlardan ilki bir kenarının uzunluğu 1.612 m olan küp blok iken diğeri çapı 2.0 m olan küresel bloktur. Çapı 2.0 m olan küresel bloğun ağırlığı bir kenar uzunluğu 1.612 m olan küp bloğa eşit ve 10053 kg olarak hesaplanmıştır. Geometrinin değişiminin deformasyonlara etkisini anlayabilmek için aynı ağırlığa sahip küp ve küre bloklar kullanılmıştır. Aynı şartlar altında toprak dolgu sete çarpıtılan farklı geometrideki bu blokların meydana getirdikleri maksimum deformasyonlar Şekil 4.103’te gösterilmiştir.



Şekil 4.103. Farklı geometrilere sahip küp blokların meydana getirdiği maksimum deformasyonlar

Şekil 4.103'den de görüldüğü üzere küre numunelerin küp numunelere oranla daha büyük deformasyonlara yol açtığı görülmektedir. Aynı ağırlık ve aynı hıza sahip küp ve küre numunelerin dolayısıyla çarpma enerjileri de aynıdır fakat küre numunelerin meydana getirdiği deformasyonlar daha büyüktür.



Şekil 4.104 Farklı çarpma yüksekliklerine sahip küp blokların meydana getirdiği maksimum deformasyonlar

Çarpma yüksekliğinin deformasyonlar üzerindeki etkilerinin araştırılması için yapılan analizlerde aynı hız ve ağırlığa sahip 1.5 m³'lük küp blokların merkezinden olmak üzere yerden yükseklikleri 2.25 m, 2.50 m, 2.75 m ve 3.00 m olacak şekilde toprak dolgu sete çarptırılarak deformasyonlar gözlenmiştir. Şekil 4.104 farklı çarpma yüksekliklerine sahip bu küp blokların toprak dolgu set üzerinde oluşturdukları deformasyonları gösterilmektedir.

Şekil 4.104'de verilen analiz sonuçlarında, farklı çarpma yüksekliklerine sahip küp blokların toprak dolgu set üzerinde oluşturdukları deformasyonlar yüksek hız kademelerine çıkıldıkça daha net bir şekilde görülmektedir. Hız 25 m/s iken deformasyonlar birbirine çok yakınken hız 40 m/s'ye çıkarıldığında deformasyonların açık bir şekilde birbirinden farklı olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada kaya düşmesinin toprak dolgu set üzerinde meydana getirdiği deformasyonlar üzerinde çalışılmıştır. Literatürden yararlanılarak önceki çalışmalarda yapılmış olan arazi deneyleri üç boyutlu olarak ANSYS sonlu elemanlar programında modellenmiş ve doğrulanmıştır. Daha sonra düşen kaya blokların ve toprak dolgu setin bazı özellikleri değiştirilerek parametrik çalışılmıştır. Düşen kaya bloğun hızı, kütlesi, geometrisi ve çarpma yüksekliği değiştirilerek deformasyonlardaki değişim gözlenmiştir.

1. Kaya blokların hızları arttıkça toprak dolgu set üzerindeki deformasyonların arttığı gözlenmiştir. Yüksek çarpma enerjilerine sahip kaya bloklarında hızın deformasyonlar üzerindeki etkisi daha açık bir şekilde görülmektedir.
2. Kaya blokların kütlelerinin artması toprak dolgu set üzerindeki deformasyonları artırmıştır. Tıpkı hız değişkeninde olduğu gibi yüksek çarpma enerjilerinde kütlelerin deformasyonlar üzerindeki etkisi daha net bir şekilde görülmektedir.
3. Küresel kaya bloklar aynı şartlar altında kübik kaya bloklara göre toprak dolgu set üzerinde daha fazla deformasyon meydana getirmişlerdir.
4. Toprak dolgu setin imalatında kullanılan zeminin içsel sürtünme açısı arttıkça deformasyonların azaldığı görülmüştür. İçsel sürtünme açısı % 35 arttırıldığında toprak dolgu set üzerinde meydana gelen deformasyonlarda yaklaşık olarak % 4 azalma gerçekleşmiştir.
5. Toprak dolgu seti oluşturmak için kullanılan zeminin birim hacim ağırlığı arttıkça çarpmadan dolayı set üzerinde meydana gelen deformasyonlar azalmıştır. Birim hacim ağırlığın içsel sürtünme açısına göre deformasyonların azalmasında daha etkili olduğu görülmüştür. Çünkü birim hacim ağırlığın % 30 oranında arttırılmasıyla deformasyonlar % 10 oranında azalmıştır.

5.2 Öneriler

- 1- Sıkça görülen kaya düşmelerinde, yüksek çarpma enerjisine sahip kaya blokların durdurulması için, kaya düşmelerini önleme yapılarından olan toprak dolgu setler önemli bir yere sahiptir. Hem imal edilmesi kolay olan hem de ekonomik olan toprak dolgu setlerin diğer önleme yapılarına göre daha çok tercih edilebilir bir önleme yapısı olarak görülmektedir.
- 2- Kaya düşmelerine karşı kullanılacak toprak dolgu setler için henüz bir standart bulunmamaktadır. Parametrik çalışmalar genişletilip standart oluşturulmasına yardımcı olunabilir.
- 3- Toprak dolgu setin imalatında kullanılan zeminin içsel sürtünme açısı ve birim hacim ağırlığının yüksek olması daha yüksek çarpma enerjilerine sahip kaya blokların durdurulmasına yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Andrew, R. D., Bartingale, R., Hume, H. 2011. “Context sensitive rock slope design solutions - Chapter 6 - Rockfall protection”, Rock Mechanics – Rock Falls, 11,002
- [2] ANSYS 14.5 Release.
- [3] Barrett, R. K. and White, J. L. 1991. “Rock fall prediction and control, in: Proceedings of National Symposium on Highway and Railway Slope Maintenance”, Association of Engineering Geologists, Chicago, USA, 23–40.
- [4] Bertrand, D., Nicot, F., Gotteland, P., and Lambert, S. 2005. “Modelling a geo-composite cell using discrete analysis”, *Comput. Geotech.*, 32(8), 564–577.
- [5] Bertrand, D. 2006. “Modélisation du comportement mécanique d’une structure cellulaire soumise à une sollicitation dynamique localisée”, Ph.D. thesis, Université Joseph Fourier, Grenoble, France.
- [6] Bourrier, F., Lambert, S., Heymann, A., Gotteland, P., Nicot, F. 2011. “How multi-scale approaches can benefit the design of cellular rockfall protection structures”, *Can. Geotech. J.*, 48, 1803-1816.
- [7] British Standard 8006 Code for practice for strengthened/reinforced soils and other fills.
- [8] Burroughs, D. K., Henson, H. H., and Jiang, S. S. 1993. “Full scale geotextile rock barrier wall testing, analysis and prediction”, in Proceedings of Geosynthetics, Vancouver, Canada, 30 March– 1 April 1993, 959–970.
- [9] Calvetti, F. and Di Prisco, C. 2007. “Linee guida per la progettazione di gallerie paramassi”, Starrylink Editrice Brescia, Brescia, Italy, 184 pp.
- [10] Carotti, A., Peila, D., Castiglia, C., and Rimoldi, P. 2000. “Mathematical modelling of geogrid reinforced embankments subject to high energy rock impact”, in Proceedings of Eurogeo, II European Geosynthetics Conference and Exhibition, Bologna, Italy, 15–18 October 2000, 305–310.
- [11] Castiglia, C. 2000. “Studio del comportamento di rilevati paramassi”, M.S. thesis, Politecnico di Torino, Italy.
- [12] Czurda K., Berceanu V. and Van Den Ham G. 2002. “GIS Modelling of rockfall and FE-Modelling of Slope Creep Events”, International Congress Interpraevent in the Pacific Rim, Matsumoto, Japan, Volume 2, pp.505-514.

- [13] Del Greco, O., Fornaro, M., and Oggeri, C. 1994. "Modification of a quarry face: stabilization criteria and environment reclamation", in Proceedings of 7th International Congress IAEG, Lisboa, Portugal, 5–9 September 1994, 4109–4118.
- [14] Demir, A. 2006. Temel Mühendisliğinde Çekme Dayanımının İrdelenmesi ve Kazıklı Temellerin Çekme Dayanımının Analizi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 96, 2006.
- [15] Di Prisco, C. and Vecchiotti, M. 2006. "A rheological model for the description of boulder impacts on granular strata", *Geotechnique*, 56(7), 469–482.
- [16] Di Prisco, C. and Vecchiotti, M.: Impatti di blocchi di roccia su rilevati rinforzati" modellazione teorica e spunti progettuali, *L'Ingegnere e l'Architetto*, 10(1), 62–69, 2003.
- [17] Escallon J.P., Wendeler C., Chatzi E., Bartelt P. 2014. "Parameter identification of rockfall protection barrier components through an inverse formulation", *Engineering Structures*, 77, 1-16.
- [18] Eurocode 7, EN 1997 - 1:2004 Geotechnical Design Part 1: General Rules
- [19] Gerber E. and Scheidegger A. E. 1974. "On The Dynamics of Scree Slope", *Rock Mechanics* 6:25-38.
- [20] Giani, G. P. 1992. "Rock slopes stability analysis", Balkema, Rotterdam, Netherlands, 347 pp.
- [21] Grassl H., 2002. Volkwein A. and Bartelt P.: "Experimental and Numerical Modeling of Highly Flexible Rockfall Protection Barriers", Swiss Federal Institute of Snow and Avalanche Research SLF.
- [22] Hofmann, R., Vollmert, L., Mölk, M. 2013. "Rockfall protection embankments-design concept and construction details", in Proceeding of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris.
- [23] Labiouse V. and Descoedres F. 1999. "Possibilities and Difficulties in Prediction Rockfall Trajectories", Joint Japan-Swiss Scientific Seminar on Impact Load by Rock Falls and Design of Protection Structures, Kanazawa Japan, 4-7 October.
- [24] Labiouse, V., Descoedres, F., and Montani, S.: Experimental study of rock sheds impacted by rock blocks, *Structural Engineering International*, 3, 171-175, 1996.

- [25] Lambert, S., Gotteland, P., Bertrand, D., and Nicot, F. 2007. “Comportement m´ecanique de g´eo-cellules soumises a impact”, in Proceedings of Congr´es de M´ecanique, Grenoble, France, 27–31 August 2007, 23–24.
- [26] Lambert, S., Nicot, F., and Gotteland, P. “Experimental study of the impact response of geo-cells as components of rockfall protections diches”, in Proceedings of Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection, Morschach, Switzerland, 23–25 June 2008, 52–54.
- [27] Lambert, S., Heymann, A., Gotteland, P., Nicot, F. 2014. “Real scale investigation of the kinematic response of a rock fall protection embankment”, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 1269-1281.
- [28] Lazzari, A., Troisi, C., and Arcuri, G. 1996. “Protezione di nuclei abitati contro la caduta di massi mediante rilevati in terra rinforzata esperienze della Regione Piemonte”, in Proceedings of Giornata di Studio su La protezione contro la caduta di massi dai versanti rocciosi, Torino, Italy, 24 October 1996, 85–94.
- [29] “Likya Haber İnternet Sitesi” Erişim adresi: <http://www.likyahaber.net>, Erişim tarihi:13.01.2013.
- [30] “Milliyet Gazetesi” Erişim adresi: <http://www.milliyet.com.tr>, Erişim tarihi:25.06.2011.
- [31] Maegawa, K., Van, P. T. 2011. “Experiments on rockfall protection embankments with geogrids and cushions”, *Int. J. Of GEOMATE*, Vol. 1, No. 1, pp. 19-24.
- [32] Nomura, T., Inoue, S., Fuchigami, M., Yokota, Y., Kubo, T., Tatta, N., and Arai, K. 2002. “Experimental research of reinforced soil wall for rock-fall protection”, in Proceedings of 7th International conference on geosynthetics, Nice, France, 22–27 September, 303–308.
- [33] Oggeri, C. and Peila, D. 2000. “Protection of transportation system against rock falls”, in Proceedings of Landslides in research, theory and practice, 8th International Symposium on Landslides, Cardiff, UK, 26–30 June 2000, 1141–1146.
- [34] Oggeri, C., Peila, D., and Recalcati, P.: Rilevati paramassi, in: Proceedings of Convegno Bonifica di versanti rocciosi per la protezione del territorio, Trento, Italy, 11–12 March 2004, 191–232, 2004.

- [35] Ok, B. 2014. *Ankraj Plakalarının Farklı Zemin Koşullarındaki Çekme Kapasitelerinin İncelenmesi*. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye, 171, 2014.
- [36] Paronuzzi, P. 1989. “Criteri di progettazione di rilevati paramassi”, *Geologia tecnica*, 1, 23–41.
- [37] Pasqualotto, M., Hugonin, B., and Vagliasindi, B. 2005. “Rilevati in terra rinforzata a protezione dalla caduta massi in Val di Rhemes (AO)”, *GEAM Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, 114(1), 55–67.
- [38] Pasqualotto, M., Peila, D., and Oggeri, C. 2004. “Prestazioni di un sistema di rilevati a scogliera soggetti ad impatto di massi”, in *Proceedings of Convegno Bonifica di versanti rocciosi per la protezione del territorio*, Trento, Italy, 435–442, 2004.
- [39] Peckover, F. L. and Kerr, W. G. 1977. “Treatment and maintenance of rock slopes on transportation routes”, *Can. Geotech. J.*, 14(4), 487–507.
- [40] Peila, D., Oggeri, C., and Castiglia, C. 2007. “Ground reinforced embankments for rockfall protection: design and evaluation of full scale tests”, *Landslides Investigations and Mitigation*, 4(3), 255–265.
- [41] Peila, D. and Oggeri, C. 2006. “Tecnologia e aspetti progettuali di interventi di bonifica e di messa in sicurezza di versanti rocciosi soggetti a fenomeni di caduta massi”, in *Proceedings of XI Ciclo di Conferenze di Meccanica e Ingegneria delle Rocce*, Torino, Italy, 28–29 November 2006, 85–112.
- [42] Peila, D., Rimoldi, P., Recalcati, P., Guasti, G., and Castiglia, C. 1999. “Prove in vera grandezza su rilevati paramassi rinforzati con geogriglie”, *GEAM Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, XXXVI(2–3), 149–154.
- [43] Pertolo B., Oggeri C., Peila D. 2006. “Full scale procedure for testing cortical rock fall protection systems”, *DITAG – Department of Land, Environment and Geotechnology*, Politecnico di Torino, Turin, Italy.
- [44] Plassiard, J. P., Donz'e, F. V., and Lorentz, J. 2008. “Simulations of rockfall impacts on embankments using a discrete element method”, in *Proceedings of Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection*, Morschach, Switzerland, 23–25 June 2008, 84–86.
- [45] Plassiard, J. P., Donze F. V. 2010. “Optimizing the design of rockfall embankments with a discrete element method”, *Engineering Structures*, 32, 3817-3826.

- [46] Ronco, C., Peila, D., Oggeri, C. 2009. “Design of reinforced ground embankments used for rockfall protection”, in *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 1189–1199.
- [47] Scheidegger, A. E. 1973. “On the prediction of reach and velocity of catastrophic landslides”, *Rock Mechanics*, 5, 231–236
- [48] Scheidegger, A. E. 1975. “Physical Aspects of Natural Catastrophes, Elsevier”, Amsterdam / New York.
- [49] Spadari M., Giacomini A., Buzzi O., Fityus S., Giani G. P. 2011. “In situ rock fall testing in New South Wales, Australia”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 49, 84-93.
- [50] Stolarski, T.A., Nakasone Y., Yoshimoto, S. (2006). *Engineering Analysis with ANSYS Software*, Oxford Kitabevi, Burlington (2006)
- [51] Tissieres, P. 1999. “Ditches and reinforced ditches against falling rocks, in”, *Proceedings of the Joint Japan-Swiss Scientific Seminar on Impact load by rock fall and design of protection structures*, Kanazawa, Japan, 4–7 October 1999, 65–68.
- [52] Wyllie, C.W. and Norrish, I. N. 1996. “Stabilization of rock slopes”, *Landslides Investigations and Mitigation*, 247, 474–506.
- [53] Wyllie D. C. 2013. “Calibration of rock fall modeling parameters”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 67, 170-180.
- [54] Yoshida, H. 1999. “Recent experimental studies on rockfall control in Japan”, in *Proceedings of the Joint Japan-Swiss Scientific Seminar on Impact load by rock fall and design of protection structures*, Kanazawa, Japan, 4–7 October 1999, 69–78.

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı: Gökhan ALTAY

2. Doğum Tarihi: 14/07/1987

3. Ünvanı: Araştırma Görevlisi

4. Öğrenim Durumu:

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Lisans	İnşaat Mühendisliği A.B.D.	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi (<i>İngilizce</i>)	2006 - 2012
Yüksek. Lisans	İnşaat Mühendisliği A.B.D.	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2013 -

5. Akademik Ünvanlar

Araştırma Görevlisi: 2013- Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Geoteknik

6. Yönetilen Yüksek Lisans ve Doktora Tezleri

6.1. Yüksek Lisans Tezleri

6.2. Doktora Tezleri

7. Yayınlar

7.1. Uluslararası Science Citation Index (SCI) ve Social Citation Index (SSCI) Tarafından Taranan Dergilerde Yayınlanmış Makaleler

7.2. Diğer Bilimsel Dergilerde Yayınlanmış Makaleler (SCI veya SSCI'ya Girmeyen)

7.3. Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Yayınlanmış Bildiriler

1. A. Demir, T. Sarıcı, B. Bağrıaçık, M. Laman, **G. Altay**, B. Ok, “Experimental and Numerical Studies on Behavior of Stone Columns with Geogrid Encasement”, International Civil Engineering & Architecture Symposium for Academicians, (ICESA), Side-Antalya, TURKEY, pp. 25-33, 17-20 May 2014.

7.4. Ulusal Bilimsel Toplantılarda Yayımlanmış Bildiriler

1. **G. Altay**, C. Kayadelen, A. Demir, M. Çelik “Geotekstil-Kum Arayüzey Sürtünme Açısının Kesme Kutusu Deneyi İle İncelenmesi”, 5. Geoteknik Sempozyumu, Makale No:82, 5-7 Aralık, Adana, 2013.
2. T. Sarıcı, A. Demir, **G. Altay**, M. Laman, B. Ok, B. Bağrıaçık, “Kil İçindeki Taş Kolonun Küçük Ölçekli Model Deneyler İle Değerlendirilmesi”, Makale No:81, 5. Geoteknik Sempozyumu, 5-7 Aralık, Adana, 2013.
3. A. Demir, B. Ok, M. Laman, B. Bağrıaçık, T. Sarıcı, **G. Altay**, “Çoklu Ankraj Plakalarının Kum Zeminlerdeki Çekme Kapasitesinin İncelenmesi”, Makale No:80, 5. Geoteknik Sempozyumu, 5-7 Aralık, Adana, 2013.
4. B. Bağrıaçık, M. Laman, B. Ok, A. Demir, T. Sarıcı, **G. Altay**, “Kum Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Deneysel ve Teorik olarak Belirlenmesi”, Makale No:83, 5. Geoteknik Sempozyumu, 5-7 Aralık, Adana, 2013.
5. B. Bağrıaçık, B. Ok, T. Sarıcı, **G. Altay**, A. Demir, M. Laman, “Geogridle Güçlendirilmiş Kum İçerisine Gömülü Model Kazıkların Çekme Kapasitesinin Deneysel İncelenmesi”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2. Özel Konulu (Teori ve Uygulamada Zemin-Yapı Etkileşimi) Sempozyumu, Sayfa 145-150, 24-25 Nisan, Antalya, 2014.
6. **G. Altay**, A. Demir, B. Bağrıaçık, M. Laman, B. Ok, T. Sarıcı, “Geogridle Güçlendirilmiş Esnek Yol Kaplamaların Nümerik Olarak Değerlendirilmesi”, Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı, Sayfa 87-97, 29-30 Mayıs, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 2014.

7.5. Yazılan uluslararası kitaplar veya kitaplarda bölümler

7.6. Uluslararası atıflar

8. Sonuçlandırılmış Projeler

9. İdari Görevler

10. Bilimsel ve Mesleki Kuruluşlara Üyelikler

11. Ödüller