

MERMER ATIKLARININ İADEN
İŞLEMLERİNDE SİBİTASYON AMAÇLI
• DEĞERLENDİRİLEBİLİRLİĞİ

THE EVALUATION OF MARBLE WASTE
MATERIALS FOR STABILISATION PURPOSES IN
MINING OPERATIONS

Doç. Dr. Lutfullah GÜNDÜZ, Doç. Dr. Ahmet ŞENTÜRK
Sükyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İsparta.

ÖZET: Bu çalışmada değişik yörelere ait farklı mermer türlerine ait atık malzeme için
madm işlemlerinde dolgu olarak kullanılabilirliği için mermerin *msEz* yöntemi ile analiz
edilmiş ve dolgu karotaj sonuçları özet olarak sunulmuştur.

ABSTRACT : This paper presents the evaluation techniques of different marble waste
materials from different regions as cemented backfills in mining operations based on
the analytical approach. The analysis findings of backfill characterisation are
presented in brief.

1. GİRİŞ

«Menas» artan talebi karşılamak amacıyla, ülkemizdeki mermer işleme tesislerinin sapanda bir artış gözlemlenmektedir. Bunun da bir sonucu olarak da, mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerde, kamuoyu gözünde çevreyi ve tabii güzelliği bozması sebebiyle olumsuz bir tepki oluşturan mermer atık sahalarının yaygınlaştığı görülmektedir. Bunun yavaş yavaş mermer ocaktan üretiminde ve tesislerde işlenmesi sürecindeki zorluklar ve yataim maliyetlerin yüksekliği dikkate alındığında, bu atık malzemelerin kaçınılmaz birer mali kayıp olduğuna görülmektedir. Bunun için, mermer işleme tesis atıklarının endüstriyel bazda yeniden değerlendirilmesi etildi ve atıkların tüketim açısından kullanılabilirliği ve amaca uygunluk derecesi, fiziksel durumu, renk, desen ve teknolojik özellikleri bakımından yeterli derecede değerlendirilmesinin, ülkemiz mermerciliğine yararlı bir katkı olacağı düşünülmektedir. Atık sahalarına atılan malzemelerin değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar, mermer işleme tesis atıklarının yapı malzemesi olarak kullanımının yanı sıra, farklı boyut dağılımlarına indirilmiş toz atıkların, mimaride süsleme hammaddesi, dolgu malzemesi ve/veya tamamsal amaçlı katkı malzemesi v.b. kullanım alanları görülebilmektedir.

Mermer atıkları, parça boyutu olarak işleme tesislerinden iki farklı ürün olarak çıkmaktadır. Birinci ürün, iri boyutta *parça mermer atıkları*, ikinci ürün ise koloidal yapıda büyük miktarı 150 mikronun altında olan maksimum parça boyutu 2 mm'ye ulaşabilen *kesim toz atığı* olmaktadır. Bunların değerlendirme alanları farklılık göstermektedir. İri boyutlu parça atıklar, inşaat sektöründe yapı elemanı olarak kullanılabilirken, toz atıklar ise direkt olarak farklı endüstri dallarında kullanılabilme imkanı bulmaktadır. Her iki tür atığın değerlendirilebileceği alanlar:

Parça mermer atıklar;

- Beton agregası,
- Döşeme plağı agregası,
- Sıkıştırılmış yol zemini,
- Baraj + dolgu malzemesi,
- Demir yolu zemin malzemesi
- Paledyan - yer döşeme malzemesi,
- Diğer alanlar.

Toz mermer atıklar;

- Zirai kireçtaşı - Zirai toprak ve zemin ayarlayıcı,
- Yem ve minerali besinler,
- Sıva katkı malzemesi,
- Çimento üretimi,
- Kireç üretimi,
- Kafeine dolomit liritimi,
- Curof yapıcı malzeme,
- Refrakter malzeme,
- Asit **nötrleştirilmede,**
- Cam üretilen Bilde,
- Kağıt fireiminde,
- Şeker rafmasyorrenda,
- Baca gazından küldirtita ©derinimde,
- Diğerleri.

Farklı mermer atıldan, fiziksel, mekanik ve ktayaral özelliklerine bağlı olarak deftik alanlarda kolanıña isimmektedir. Ancak, yapılan modemlerde düşük kalte mermer irin ve törevlerloı« **abklirt**, miltar okral oldukça yüksek oranlarda biitafimaida beraber, ferki endüstriyel alanlarda kollanan oranım« düşük olduğu gözlenmektedir. Bu aaiacıa, farklı kalite standaiHarms sahip mermer attkUarattn maden işjelmeletinde doıg» (ramble) malzemesi olarak koiaaslaHirigi üzerine bir dizi teknik analiz çahsmaları yapılmış ve nümerik' analiz metodian fle analiz batgıian ir&ieimrifer. Bu makalede, mermer atıklarınının madea işletmelerinde stabilzasyon amaçlı dolgu malzemesi olarak îadlaiîMAik kriterleri tartışılmakta ve analiz bulguları özet olarak sunulmaktadır.

2. DOLGU STABILİASYONU - FONKSİYONU

Yeraltı maden işletmeciliğinde dolguto yöntemlerin BygBlandsğt metal madencilgiade dolgunun fonksiyonları, yapısal ve yapsa! olmayan fonksiyonlar olarak İH temelde irdelenebilir. Dolgunun yapısal olmayan fonksiyonu, emniyeti bir çatışma platforma oluşturması ve/veya yeratanda atik maddeleri değerlendirme metoda olarak eie aJmafelfc Yapısal bir malzeme olarak ise, dolg» belirli bir basınç dayanımına sahip ohnası veya madeaciük faaiyeferine imkan sağlaması ve böylece de maximum cevher kazamnuria da imkan sağkyamtaesidff. Diğer taraftan, dolgu, yerate mekanizasyommda kullanılabilen ağtr maden makmafafımı efektif olarak çahşabilnesi için bir **çabama** platform» da sagtoyabihaektcf.

Yeraltı madenciliğinde dolgu uygulamaları, cevher üretimi sürecinde patik uygulamaların görülmektedir. Ancak, çimentolu dolgu uygulamaları, yeraltı mukavemet şartlarının iyileştirilmesi bakımından göreceli olarak yenidir ve uygulama şartları geliştirilmektedir. Ayrıca, bunun yanında diğer amaçlar için de fonksiyonel olarak kullanılmaktadır.

Dolgu karışım parametreleri optimum çimento oranlarının, dolgu malzemesi türünün (cevher atıkları, kaya dolgusu v.b.), uygun tane boyutu dağılımının ve karışımın katı/su karışım oranının belirlenmesi gerekmektedir. Dolgu karışımının temel özellikleri; çalışabilirlik, basınç dayanımı, yağunluk, sıcaklık karakteristikleri, elastik deformasyon özelliği ve duraylılık parametreleridir. Ancak, karışım için en önemli olan özellikler ise;

- dolgu karışımın çalışabilirliği,
- belirli bir kür süresinde arzu edilen basınç dayanım değeri,
- minimum çimento kullanımı veya maksimum su/çimento oranı ve bazı durumlarda da kullanılacak malzeme türünün etüdü ile karışımın duraylılığının sağlanmasıdır.

Çalışabilirlik parametresi, dolgu karışımının kompakt olabilecek biçimde herhangi bir arzu edilen şekli verilebilmesi ve güvenli bir konumda boru hatları ile taşınmasının yapılabilmesini gösterir. Ancak, duraylılık ise, basınç etkisine karşı sert ve sagten bir şekilde uzun süre dayanıma sahip olabilmek özelliğidir. Diğer taraftan, basınç dayanım karakteristiği ise, yeraltı madencilik faaliyetlerine mukavemet sağlamak ve üretim yeri yan duvarlarına tahkimat görevi görmektir. Dolgu karışımının basınç dayanımı ele alındığında, karışım oranları kaya mekaniği prensipleri çerçevesinde iki farklı basınç dayanım değeri; tek eksenli basınç dayanımı, ve üç eksenli basınç dayanımı belirlenmektedir.

Dolgu karışımı, bağlayıcı elemanlarıyla birlikte kata malzeme tane boyutu dağılımına bağlı olarak belirli bir sınıflandırma yapılabilir. Örnek olarak; çok ince taneli atık malzemeli veya iri taneli gang mineralleri kullanılabilir. Dolayısıyla, dolgu karışımı şu temel bileşenleri içerir:

- dolgu malzeme türü,
- bağlayıcı elemanlar (genellikle Portland Çimentosu),
- su miktarı,
- ilave bağlayıcı elemanlar (Pulverize Kül, Kireçtaşı, cüruf gibi).

3. MERMER ATIKLARININ DOLGU KÂRAKTERİZÂSYONU

Mermer atıklarının stabilizasyon amaçlı dolgu malzemesi olarak kullanılabilirlik kriterlerinin araştırılmasında kullanılacak girdi verilerinin elde edilmesi amacıyla, SDÜ Mermer Teknolojisi Laboratuvarında bir dizi tekno mekanik analizler yapılmıştır. Farklı yörelere ait mermer işleme tesislerindeki atıklarından alınan blok ve parça atıklar, primer ve sekonder kırıcılarda kırılarak tamamı -12mm boyutunun altına indirilmiştir. Farklı boyut fraksiyonlarının, karışımlarda kullanılması amacıyla sınıflandırma işlemine tabi tutularak analizler için 3 farklı boyut fraksiyonu belirlenmiştir:

- « -12 mm boyut fraksiyonu (karışık boyut),
- » -12mm / -2.5mm+1mm boyut fraksiyonu (%50 - %50 karışım oranında),
- -12mm+2.5mm/-1mm boyut fraksiyonu (%50 - %50 karışım oranında).

Analizlerde kullanılan mermer türleri:

- | | |
|----------------|-----------------------|
| O Bordo Grizo | a Rozaiya |
| O Elazığ Sryah | ● Onix |
| • Salome | ● Hazar Pembe |
| • Leylak | a Elazığ Vişne |
| O Venüs | ● Kavak Beyazı |
| • Bej | LJ Traverten |

Mermer teknolojisi laboratuvarında farklı kompozisyonlarda mermer atıklarının kullanımı ile hazırlanan çimento+kaolün karışımları hazırlanmış ve tekno mekanik analizler yapılmıştır. Analiz bulgularına göre, basınç dayanım performans karakteristiğinin tahmini amacıyla, dayanıma etkileyen parametreler arasında, istatistiksel lineer regresyonel ilişkiler araştırılmış ve değişik karışım kombinasyonlarına sahip karışım türleri için pratik olarak kullanılacak performans tahmin metodu geliştirilmiştir. Yapılan tekno mekanik etüdlerle, farklı kombinasyonlarda hazırlanmış olan mermer atığı karışımları üzerinde, tek eksenli basınç dayanım testleri yapılmıştır. Analizlerde KPC 325 (Katkısız Portland Çimentosu) karışımları için hacimce %2 - %20 oranları kullanılmıştır. Ancak KPC kullanım miktarını minimize etmek amacıyla Çizelge 1 de belirtilen oranlarda da ilave bağlayıcı eleman kullanımı irdelenmiştir. Mermer atıklarının karışımlarında 0.15 - 0.20 su/katı (S/K) oranları kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler ise nominal boy/çap (h/d) oranı 2 olacak şekilde 100mmx100mm boyutlu silindirik kalıp numuneleri hazırlanmış ve testler 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerinde ve normal oda sıcaklığında yapılmıştır.

Çıradgpljave baefayira eleman kollanımı.

Çimento (Ç)	Su/Kan Oram (S/K)	Su/Çtmento Qram (S/K)	Kül/Su Oram (Kül/S)
%20	0.15	•0.58	0.74
	0.17	0.66	0.65
	0.20	0.78	0.55
%15	0.15	0.75	0.57
	0.17	0.85	0.50
	0.20	1.00	0.43
%10	0.15	1.14	0.38
	0.17	1.29	0.34
	0.20	1.51	0.28
%7	0.15	1.68	0.26
	0.17	1.90	0.23
	0.20	2.24	0.20

Kanşım iompoAyoniasnsi basınç dayasimma elki edea faktMerinia iacelenmeskdeki amaç, kansan bæepnimn ne gibi koralara iharak testet etmek *gmMğjsâ* anlamaktır. Böylece, basınç dayanımı yüksek malzeme irefmek mümkün olacaktır Ancak, kanşım oranlan doğru «asla» «yolarak tesbit ©dise Me basınç dayanmu, bileşim Aşında çimento ile üfpl parametreler, sa İaiktan, kanşana» kompoâtesi gjibi daha pekçok değişik faktörlerin etJsM atonda MtaiBiaktadff. Boyut dağılım fraksiyonunun, basınç dayanımı üzerine e&isM araştamak ve değerlendirmek üzerine, fatih boyut feEsiyoriarMda ofaştonia» karismitafm. anaiz bul^danndaa, çok değişkeni regrasyon aaiMeri yapımdıdır. Bwada örnek olarak, traverte« atık parçalatma ait bulgular verilmiştir:

^B Kanşık boyat fraksiyona \Leftrightarrow Su/Kan = 0.15

$$\sigma_c = 0.085 \times 10^{0.088 A1} + 0.015 \times 10^{0.102 A1} A2$$

^S Kanşık boyot frafiyosm \Leftrightarrow Su/Katı = 0.20

$$\sigma_c = 0.121 \times 10^{0.092 A1} + 0.014 \times 10^{0.101 A1} A2$$

^B -İi .2 mm / -2.5+1mm boyot fraksiyon» \Leftrightarrow Su/Katı = 0.17

$$\sigma_c = -0.353 \times 10^{-0.032 A1} + 0.834 \times 10^{0.024 A1} \log A2$$

^S -11.2 +2,5İHİİİ / -İİİBB boyut fraksiyon» \Leftrightarrow Su/Katı = 0.17

$$\sigma_c = 0.236 \times 10^{0.045 A1} + 3.197 \times 10^{0.022 A1} \log A2$$

burada S/K : Su/kan roam (%),

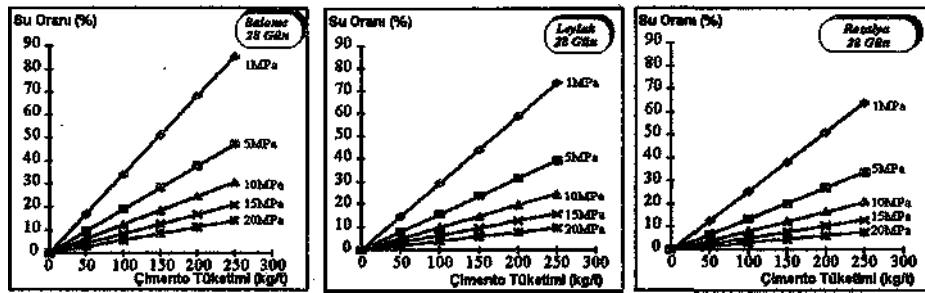
σ_c : Basınç dayanımı (kg/cm²),

A1 : Çimento orace (%),

A2 : Kür suresi (gün),

olarak sembolize etmektedir.

Analizlerin irdelemesinden elde edilen sonuçlar, karışımların basınç dayanımına etkiyen bağımlı ve bağımsız değişkenlerin, farklı kombinasyonlardan elde edilen değerlerle oluşturulan grafikler üzerinde optimum performans tahmin kriteri bulunmaya çalışılmıştır. Optimum çimento tüketimi ve arzu edilen karışım basınç karakteristiğinin tahmini için, oluşturulmuş olan eşitliklerden yararlanılarak aşağıdaki su ve çimento tüketim kombinasyonları Sekti 1 de verilmiştir.



Şekil 1. Su ve KPC tüketim kombinasyonları.

4. DOLGU STABİLİZASYON ANALİZİ

Mermer amfannın çimentok dolgu olarak kullanıldığı maden işletmelerinde dolgu stabilite analizinin yapılabilmesi amacıyla bilgisayar destekli bir dizi nümerik analiz algoritması kullanılmıştır. Bu analizlerde iki farklı model irdelemeye alınmıştır:

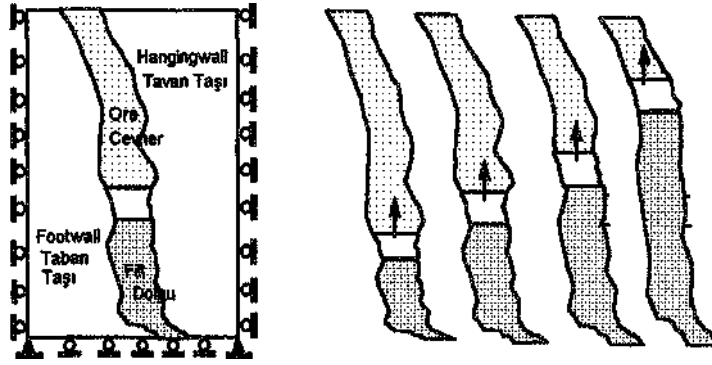
- Cevher damarı - dalım açısı boyunca,
- Cevher damarı - ayak uzunluğu boyunca.

Her iki modelde de dolgu, farklı yapılarda tabakalı katmanlar olarak düşünülmüştür. Örnek olarak, üretim ayağında üst katmanda yüksek çimento dozajında ince taneli dolgu karışımı kullanılırken alt katmanlarda ise daha az çimento oranında iri taneli dolgu karışım kompozisyonları kullanılabilir. Dolgu stabilite analizlerinde gerilme-genleşme karakteristiklerinin beürinmesi amacıyla nümerik modellemede şu girdi verileri temel değişken parametreler olarak kullanılmaktadır:

- Dolgu malzemesi türü,
- Efasisite Modülü,
- Poisson Oram,
- Kür süresi,
- Çimento oranı,
- » Primer - sekonder yeraltı formasyon basınç seviyeleri,
- Dolgu yoğunluğu,
- Kohezyon,
- İçsel sürtünme açısı.

Cevher Daman - Daktm Açm Bëymmem

Bu matematiksel ve nümerik modelimede, ince ve dik yatana bir cevher damarının kes-doldur sistemi ile işletilmesini sembolize eden ve dolgu olarak mermer atıklarının farklı dozajlarda çimentolu olarak kullanılması durumu irdelemeye atamıştır. Burada, cevher daman alttan üste doğru damar kalınlığı nisbetinde ayak genişliği alınarak dilim dilim çalışması prensibi uygulanmış ve analizlerde Marılan dilim modelleri Şekü 2 de sembolize edilmiştir. Bu modeËemede, dolgunun yankayaç formasyonlarından gelen basınç etkisinde gerilme ve cevher daman dalımı boyunca yatay deformasyon oranlarının belirlenmesi analiz edilmektedir.



Şekil 2 Dilimli dolgulu çalışma sembolik seldi.

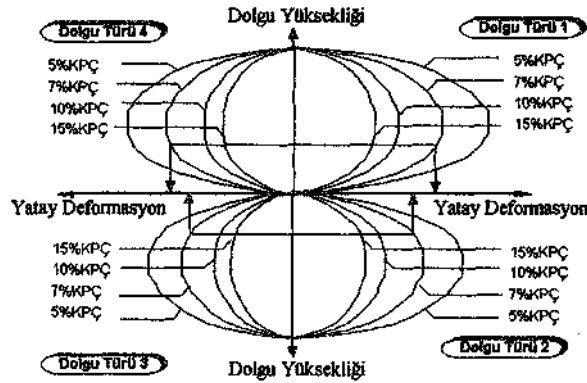
Analizlerde sınır elemanlar yöntemi (BEM- Boundary Element Method) iki boyutlu modeËeme ve lineer elastik ortam şartları kullanılmıştır. BEM yöntemi için geliştirilen BEAMSD bilgisayar paket programı (Gündüz, 1992) kullanılmıştır. Modellemeye yer alan yankayaç ve cevher ile ilgili tekno-mekanik veriler Çizelge 2 de verilmiştir. , Dolgunun stabiizasyonu amacıyla dolgu yüksekliğinin yankayaç formasyonu ile yapağı

gerilme-genleşme karakteristükleinin araştırılması bilgisayar uygulamaları ile yapılmış ve analiz bulgularından dolgu yüksekliği ile dolgunun yatay konumda oluşan deformasyon oranları fonksiyonel ifadelerle tanımlanmaya çalışılmıştır. Bulgular, Şekil 3 de sembolize edilen eğriler şekline dönüştürülerek, birim deformasyon/ümit deformasyon oranları tesbit edilebilmektedir.

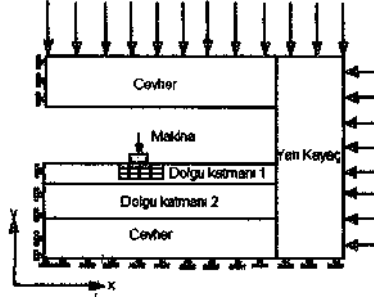
Çizelge 2 Tekno mekanik kayaç kütle özellikleri

	Tavan Taşı	Taban Taşı	Cevher
Elastisite Modülü $f \text{ GPal}$	45	42	40
Poisson Oranı	0.25	0.25	0.20
Kohezyon $f \text{ kPal}$	350	370	300
İçsel sürtünme açısı [degrees]	35	35	35
Yoğunluk rtAn^3	2.55	2.50	2.60
Basınç Dayanımı $f \text{ MPa}$	56	37	52

Dolgulu yöntemde, cevher üretiminin mekanize edilebilmesi amacıyla ağır iş makinelerin dolgu yapıldıktan belirli bir kür süresi sonrasında dolgu üzerine çıkarılarak kaa-üretime faaliyetleri ve çalışması esnasında dinamik yüklenmede dolgu üzerine etkileyeceği kuvvet bileşenlerinin dolgu mukavemetinde ne kadarlık bir değişim sergileyeceği de analiz edilmelidir. Burada önemli olan, dolgu yüzeyinde ve iç matriks yapıda her bir noktadaki gerilme - genleşme karakteristiğinin belirlenmesidir. Bunun için de en uygun analiz modellemesi Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM - Finite Element Method) olmaktadır. Uygulamalarda ağır bir iş makinasının dinamik yüklemesi sırasında dolgu mukavemetine etkisi Şekil 4 de sembolize edilen bir model ile irdelenmeye çalışılmıştır.



Şekil 3. Dolgu yüksekliği ile yatay deformasyon ilişkisi.



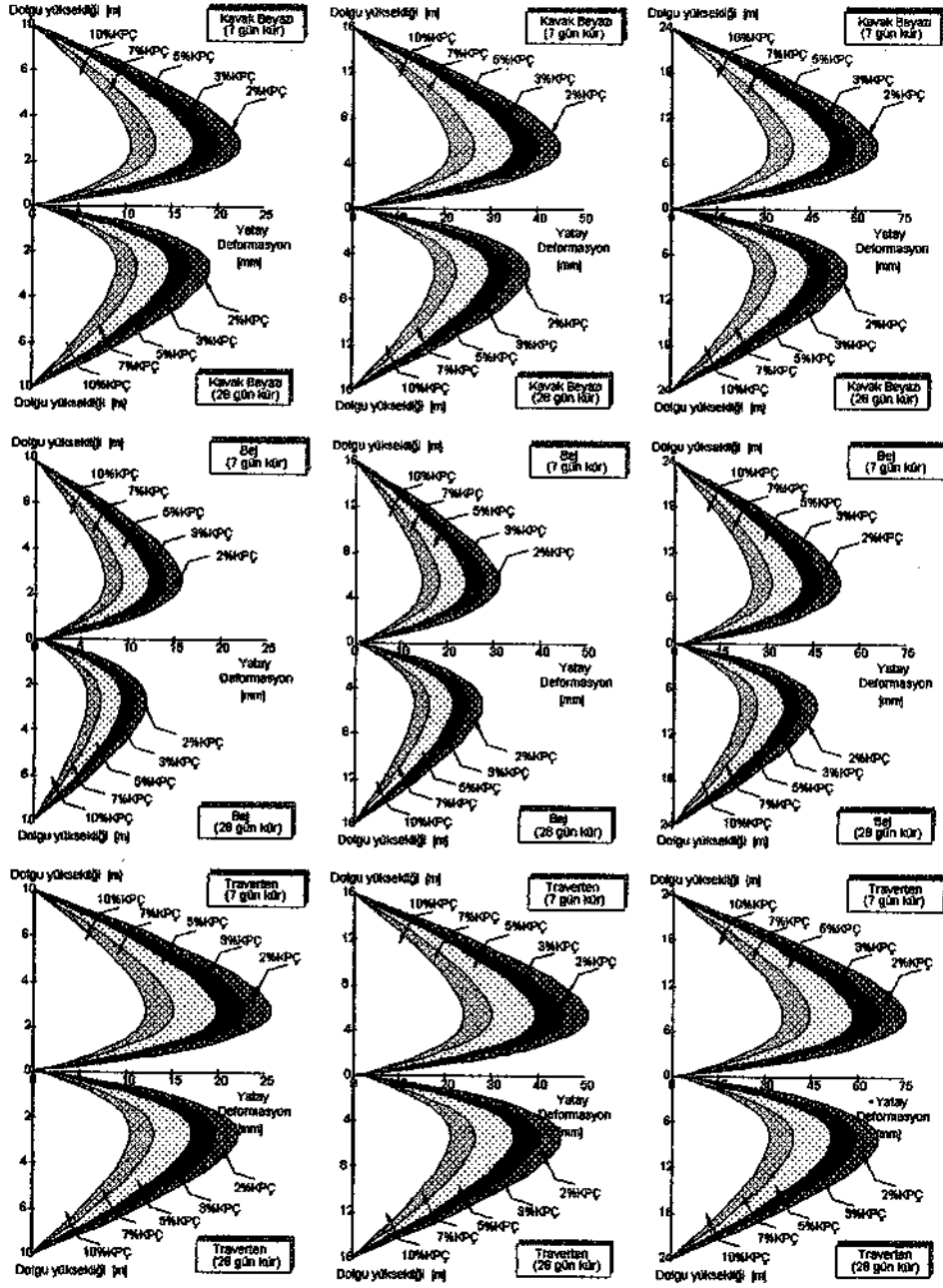
Şekil 4. FEM metodu içi sembolik bir analiz modeli.

Mermer atıklarının farklı karışım oranlarında dolgu olarak kullanım ve stabilite-tahkimat karakteristiklerinin araştırılması BEM ve FEM yöntemleri kullanılarak bir dizi bilgisayar analizleri yardımıyla yapılmaktadır. BEM yöntemi ince ve dik yatımlı çevre damarının dalım açısı boyunca kes-doldur sistemi ile çalışması prensibi incelenmiş, FEM yöntemi ile de dolgu üzerinde kazıcı-değiştirici iş makinesinin stabiliteye etkisi

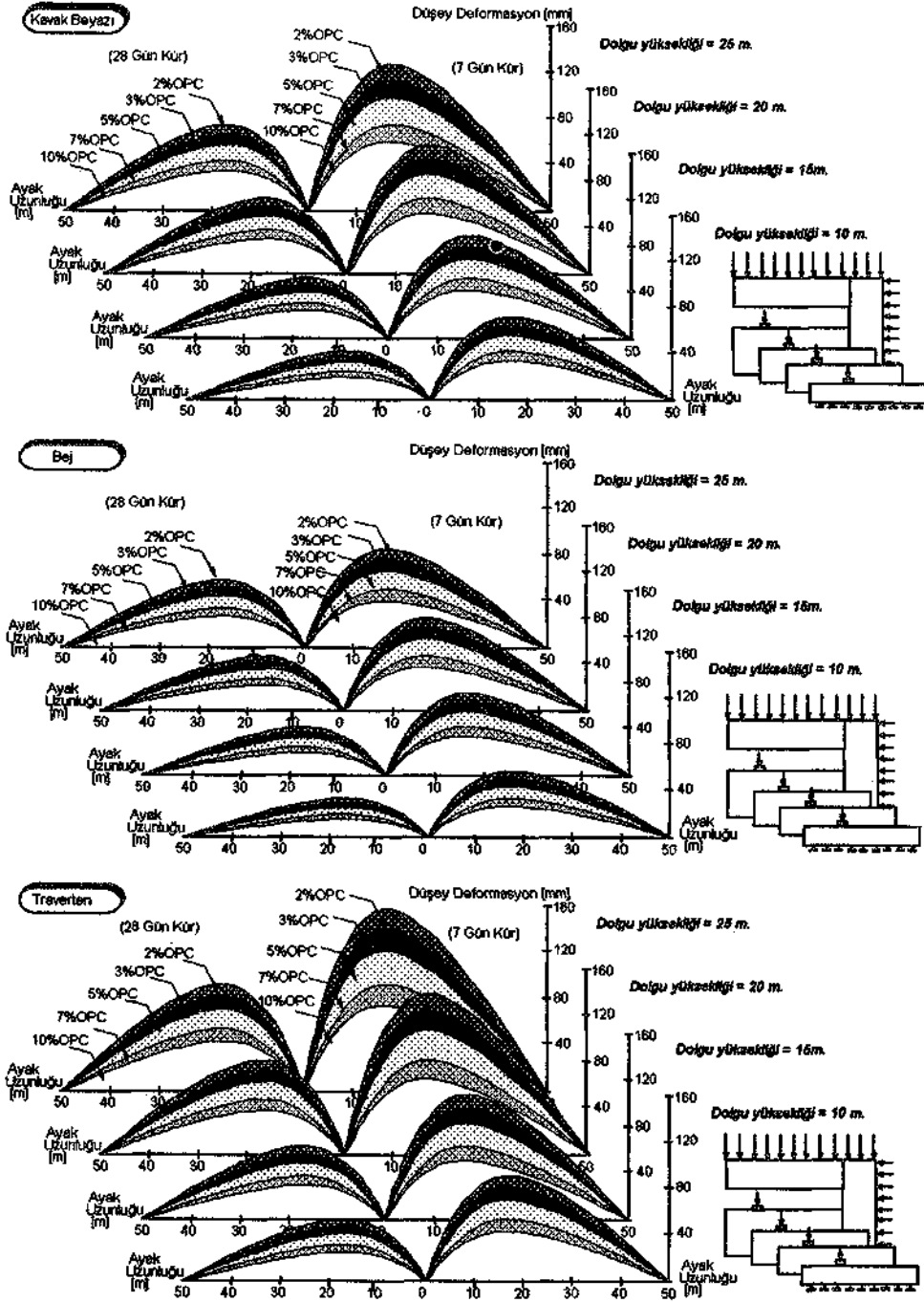
BEM modelinde %2-%10 çimento oranlarında dolgu karakteristiği, dolgu yüksekliği ile yatay deformasyon ilişkileri irdelenerek tanımlanmaya çalışılmıştır. Yapılan analiz bulguları Şekil 5 de farklı mermer atık türleri için özet olarak verilmiştir.

Analiz bulguları irdelendiğinde, kimyasal bileşen olarak bünyesinde süs ve demir içeriği yüksek olan mermer atık türlerinin stabilite ve tahkimat açısından daha dirençli olduğu gözlenmiştir. Ancak, karışımlarda kullanılan bağlayıcı eleman türünün ve kullanım miktarının, stabilitenin iyileştirilmesinde son derece önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir. Örnek olarak, bej mermer türüne ait yüksek silis içerikli bileşenleri, %2 çimento ile oluşturulan dolgunun mukavemeti, elde edilen yüksek deformasyon oranı nedeniyle zayıf bir karakteristik sergileyen, %5 çimento kullanımında ise kabul edilebilir bir karakteristik sergileyeceği gözlenmiştir. Benzer şekilde kavak bevazı mermer türüne ait dolgu karışımlarında da %3 lük çimento bileşim yeterli olmazken, %7 çimento bileşim kompozisyonu yeterli mukavemeti ve deformasyonu sağladığı görülmüştür.

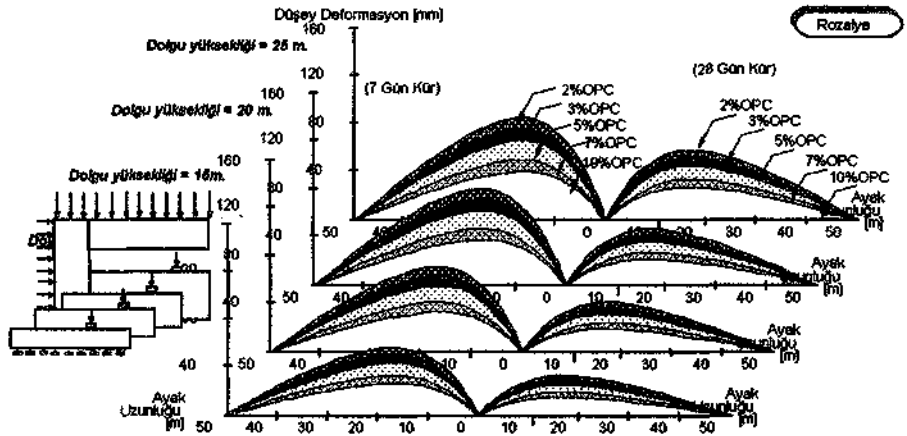
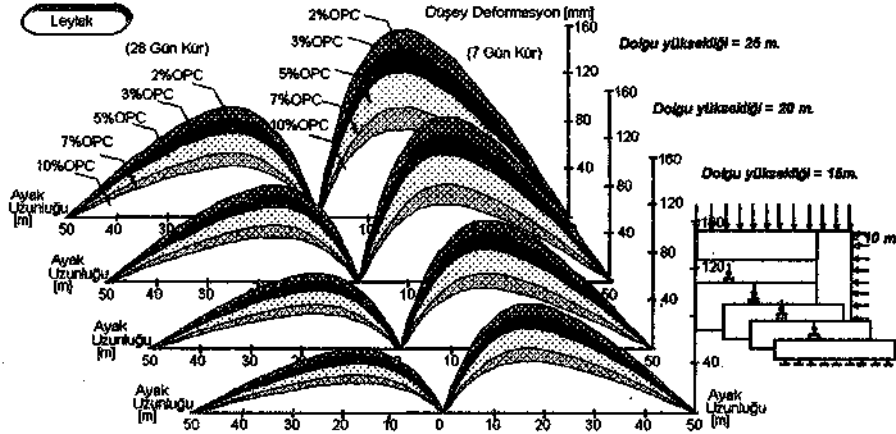
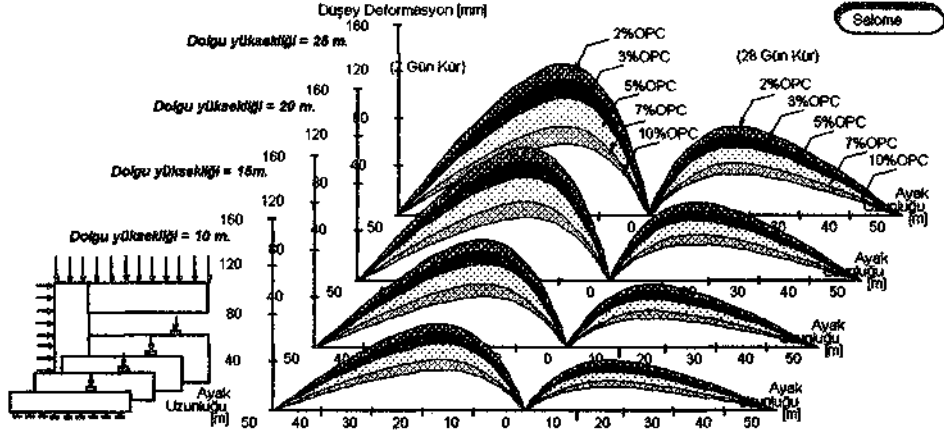
FEM modelinde ise; %2 - %10 çimento oranlarında dolgu karakteristiğinin ve iş makinesinin etkisi de göz önüne alınarak dolgu yüzeyinde meydana gelebilecek kabarma (düşey deformasyon) oranları farklı fazlarda irdelenmiştir. Elde edilen analiz bulguları Şekil 6 ve Şekil 7 de özet olarak sunulmuştur.



Şekil S. Mermer aüMarmın dolgu stabıUzasyon karakteristiği.



Şekil 6. Mermer auktarı - dolgu yüzey stabilizasyon karakteristiği.



Şekil 7. Mermer ankları - dolgu yüzey stabilizasyon karakteristiği.

5. SONUÇ

Analiz bulguları irdelendiğinde, dolga yükseldiğinin dolgu yüzey defomasyonu oranının »imasına önemli ölçüde etki ettiği gözlenmiştir. Stabilité açısından bakıldığında, farklı mermer türlerinin farklı karakteristikliMer sergilediği ve mermerin mekanik dayanımı ile kimyasal Meştamdeki silis v.b. bileşenlerin miktarı, önemli parametreler olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda, dolgunun birim yüzey deformasyon oranı ile mermer basınç mukavemeti arasında fonksiyonel irdelemeler, paramétrai olmayan rank istatistiği yöntemleri ile yapılmıştır. Bulgular ışığında, mermerin basınç mukavemeti artbkça dolgu olarak knOamnidaki deformasyon karakteristiği ve iç gerilme bileşenlerinin iyileştiği gözlenmiştir. Örnek olarak, 20 metelik dolgu yüksekliğinde bej mermer türüne ait atıklar le oluşturaiais %3 Ittk çimentolu karışımlar arzu edilen karakteristiği sergilemez iken, %7 Mk çimentolu karışımlar yeteri olabilmektedir. Diğer taraftan, dolgu yüksekliği ierleme oranı irisbetinde arttıkça, dolgu karışımlandaki bağlayıcı eleman miktarını da düşük oranda arttırmak gerekliliği gözlenmektedir.

KAYNAKLAR

BienkwsM Z.T. 1989, Engineering Rock Mass Classifications. New York, Cbichestre, Brisbane, Toronto, Singapore.

Brady B.H.G. and Brown E.T. 1985. Rock Mechanics For Underground Mining. George Alen &, Unwin, London,, Boston, Sydney.

Gündüz, L., 1992, "System Analysis and Ft! Design in Mining With Backfill", University of London, Imperial College of Science, Techonology and Medicine, Mineral Resources Engineering Department, Computer Aided Design Research Group, Ph.D. Degree.

Gündüz L., Şentürk A. and Saruşık A. 1995. Mermer İşleme Tesis Atıklarının İnşaat Sektöründe Değerlendirilebüriiği, Türkiye'de Mermer Dergisi, Sayı 39, Ocak/Şubat, s 33-36, Istanbul, Turkey.

Union E. and Owen D.R.J 1980. Finite Elements in Plasticity. Pmeridge Press limited, Swensa, U.K.

Hoek E. and Brown E.T.1980. Underground Excavations in Rock. Institution of Mining and Metallurgy, London, U.K.

Lama R.D. and Vutakuri V.S. 1978. Handbook on Mechanical Properties of Rocks. Volume L IL and M, series on Rock and Soil Mechanics, Trans Tech. Publications, Germany.