

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

KİLLİ ZEMİNLERDE ORTAYA ÇIKAN KURUMA ÇATLAKLARININ ATIK LASTİK PARÇALARI KULLANILARAK ENGELLENMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mürüvet ÜNLÜ ÖZSOY

DANIŞMAN
Doç. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

AKSARAY, 2016

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ONAY BELGESİ

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 142303402 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, "Mürüvet ÜNLÜ ÖZSOY", ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "KİLLİ ZEMİNLERDE ORTAYA ÇIKAN KURUMA ÇATLAKLARININ ATIK LASTİK PARÇALARI KULLANILARAK ENGELLENMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Niyazi Uğur TERZİ **.....**
Aksaray Üniversitesi

Jüri Üyeleri: Doç. Dr. İbrahim Özgür DENEME **.....**
Aksaray Üniversitesi

Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Tayfun ŞENGÜL **.....**
Dumlupınar Üniversitesi

Teslim Tarihi: 23 Eylül 2016

Savunma Tarihi: 14 Ekim 2016

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışımda alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Mürüvet ÜNLÜ ÖZSOY
İmza

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bana yol gösteren hocam Doç. Dr. Niyazi Uğur TERZİ'ye ve çalışmanın yürütülmesinde önemli katkıları olan Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümü Geoteknik laboratuvarı çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tezin analiz kısmında bilgileriyle yardımcı olan eşim Arş. Gör. Volkan Soner ÖZSOY'a ve son olarak çalışmalarımın en büyük destekçisi ve bugünlere gelmemde en büyük emeğin sahibi olan aileme sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mürüvet ÜNLÜ ÖZSOY
İmza

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ONAY BELGESİ ..... **i**
DOĞRULUK BEYANI ..... **ii**
TEŞEKKÜR ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **iv**
ÖZET ..... **v**
ABSTRACT ..... **vi**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **vii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **ix**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **x**
1. GİRİŞ **11**
1.1. Literatür Taraması 16
1.2. Tezin Amacı 19
2. ÇATLAMANIN MEKANİZMASI **22**
3. MATERYALLER VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR **25**
3.1 Materyaller 25
3.1.1 Kırmızı Avanos kili 25
3.1.2 Atık lastiklerden oluşturulan fiber iplikçikler 27
3.2 Avanos Kili Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışmalar 30
3.2.1 Kıvam limitleri 30
3.2.2 Standart proktor deneyi 33
3.2.3 Kesme kutusu deneyi 37
4. DENEY AŞAMALARI VE SONUÇLARI **39**
4.1 Karışımın Hazırlanması ve Sıkıştırılması 39
4.2 Islanma-kuruma döngüsü 40
5. ÇATLAMANIN İZLENMESİ **46**
5.1 Görüntü işleme 46
5.2 Çatlama testi sonuçları 47
6. SONUÇLAR **55**
KAYNAKLAR **56**
EKLER **60**
EK.A Katkısız Kil için Standart Proktor Deney Föyü **61**
EK.B % 0.15 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Föyü **62**
EK.C % 0.30 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Föyü **63**
EK.D % 0.60 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Föyü **64**
EK.E % 1 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Föyü **65**
EK.F Katkısız kil için Kesme Kutusu Deneyi **66**
EK.G % 0.15 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deneyi **67**
EK.H % 0.30 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deneyi **68**
EK.I % 0.60 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deneyi **69**
EK.J % 1 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deneyi **70**
EK.K Görüntü Analizleri **71**
ÖZGEÇMİŞ **127**

ÖZET

KİLLİ ZEMİNLERDE ORTAYA ÇIKAN KURUMA ÇATLAKLARININ ATIK LASTİK PARÇALARI KULLANILARAK ENGELLENMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Yapısal bütünlüğün sağlanabilmesi için sağlam bir temel tabakasının varlığı vazgeçilemez bir gerekliliktir. Ancak insan kontrolünde olmayan yeryüzü sathında ve imar alanında sağlam zeminler bulabilmek mümkün değildir. Bu nedenle özellikle son beş yıllık zaman diliminde, iyi zemin ortamlarının azalması nedeni ile zemin iyileştirme yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu iyileştirme yöntemlerinde, farklı hedeflere yönelik farklı uygulamalar yapılsa da genelde iyileştirme sonucunda, zeminlerin kayma mukavemetlerinin arttırılması, geçirimliliklerinin kontrolü, plastisite değerlerinin azaltılması, oturmaların kontrolü gibi sonuçlar elde edilir. Bu çalışmada ise, atık lastiklerden üretilen fiber iplikçikler yardımı ile kuruma sürecinde olan kil tabakalarının çatlama eğilimlerinin kontrol altında tutulması konusu üzerinde durulmuştur. Islanma kuruma döngülerine maruz kalan killi tabakaların geçirimlilik özellikleri; çatlama davranışının etkisi ile dramatik olarak kaybolduğu bilinmektedir. Bu çalışmanın temel amacı ise, atık lastiklerden üretilen iplikçikler ile killerin çatlamadan kurumalarını sağlayabilmeyi hedeflemiştir. Deneysel çalışmalar Aksaray Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında kurulan özel bir düzenek yardımı ile yürütülmüştür. Avanos kili üzerinde yapılan çalışmalarda kil malzemesinin kuruma süreci yakın odaklı dijital fotoğraflama yöntemi kullanılarak gözlemlenmiştir. Elde edilen fotoğraflar görüntü işleme yazılımı ile değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda atık lastiklerden elde edilen iplikçiklerin, killerin çatlamadan kurumaları yönünde oldukça etkin bir iyileştirici olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Karışım oranı olarak en optimum iplik katkı oranının %0.3 mertebesinde olması gerektiği çıkarımına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zemin iyileştirme, Fiber malzemeler, Ömrünü tamamlamış lastik, Görüntü işleme

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TIRE CHIPS ON PREVENTION OF DESICCATION CRACKSEMERGING IN CLAYEY SOILS

The existence of a solid foundation layer for ensure the structural integrity is an indispensable requirement. However, in urban areas, solid soil may not be found in the surface of the earth without human control. Therefore, especially in the last five year period, soil improvement methods have emerged because of reduction of the good soil environments. Even if different applications for different target are executed in this improvements method, results such as increasing the shear strength of soil, control of permeability, reduction of plasticity values and sitting of control are obtained. In this study, it focused on the subject of keeping under control cracking tendency of clay layer that is drying process via fiber filaments produced from waste tires. It is known that permeability properties of clayey soil layers that exposed to wetting-drying cycle dramatically lost with the effect of cracking behavior. The main objective of this study was aimed to ensure drying of clay without the cracking with this filament. Experimental studies were carried out with help a special mechanism established in Geotechnical Laboratory of department of Civil Engineering from Aksaray University. The drying process of the Avanos clay material is observed by using near-oriented digital photographing method. The obtained images are subjected to evaluation with an image processing software. As a result of studies, it reached quite effective improvers that the filaments obtained from waste tires in terms of the desiccation of clay without cracking. Also, optimum filament contribution rate as mixing ratio should be at 0.3%.

Keywords: Soil improvement, fiber materials, end-of-life tires, image processing

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1: Yıllara göre Avrupa'daki lastik ithalat ve ihracat grafikleri 14

Şekil 1.2: Atık lastiklerin yönetimi 15

Şekil 3.1 Analiz sonuçlarına ait pasta grafiği.....26

Şekil 3.2:2001- 2013 Yılları arasında atık lastik geri dönüşüm oranı grafiği (URL-2) 28

Şekil 3.3: Avrupa'daki Atık lastiklerin kullanım alanları (URL-3).....28

Şekil 3.4: Parçalama şekline ve boyutuna göre atık lastiklerin sınıflandırılması 29

Şekil 3.5: Fiber lastik.....30

Şekil 3.6: Likit limit deney aleti (Casagrande aleti).....31

Şekil 3.7: Likit limit deneyinin yapılışı 31

Şekil 3.8: Likit limit değeri grafiksel gösterimi 32

Şekil 3.9: Alınan numune örnekleri 32

Şekil 3.10: PL için kil numunenin şerit haline getirilmesi 33

Şekil 3.11: Standart Proktor Deney aleti 34

Şekil 3.12: Numunenin hazırlanma aşamaları 35

Şekil 3.13:Çeşitli lastik içeriklerindeki su muhtevasına göre kuru yoğunluk grafiği 36

Şekil 3.14: %0.6katkılı kile ait $\tau - \varepsilon$ grafiği 37

Şekil 3.15: Kesme kutusu deney numuneleri.....38

Şekil 4.1: Numunelerin hazırlık aşamaları 40

Şekil 4.2: Islatma aşaması.....42

Şekil 4.3: Katkısız (0 %) Avanos Kilinin günlük su muhtevası değişimi 43

Şekil 4.4:0.15 % katkılı kil içeriğinde günlük su muhtevası değişimi 43

Şekil 4.5:0.30 % katkılı kil içeriğinde günlük su muhtevası değişimi 44

Şekil4.6:0.60 % katkılı kil içeriğinde günlük su muhtevası değişimi 44

Şekil 4.7:1 % katkılı kil içeriğinde günlük su muhtevası değişimi 45

Şekil 5.1:Görüntüişleme 47

Sayfa

Şekil 5.2: Bütün katkı oranlarına göre 1. Döngünün ölçümlerindeki CIF değerleri...48

Şekil 5.3: Bütün katkı oranlarına göre 2. Döngünün ölçümlerindeki CIF değerleri...49

Şekil 5.4: Bütün katkı oranlarına göre 3. Döngünün ölçümlerindeki CIF değerleri...50

Şekil 5.5: Bütün katkı oranlarına göre 4. Döngünün ölçümlerindeki CIF değerleri...51

Şekil 5.6: Bütün katkı oranlarına göre 5. Döngünün ölçümlerindeki CIF değerleri...51

Şekil 5.7: Lastik parçacığı ile kil numunenin birbirine tutunma görüntüsü 52

Şekil 5.8: Lastik parçacığı ile birbirine tutunmuş diğer kil numune görüntüsü.....53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1: Analiz sonuçları.....26

Çizelge 3.2: Analiz sonuçları.....27

Çizelge 3.3: Su muhtevası ve kuru yoğunluk değerleri.....36

Çizelge 3.4: Kesme kutusu deney sonuçları 38

Çizelge 5.1: Analiz sonucunda elde edilen CIF değerleri 48

KISALTMALAR DİZİNİ

CIF: Çatlak Yoğunluk Faktörü

PI: Plastisitide İndeksi

ELT: End-of-Life-Tires (Ömrünü Tamamlamış Lastikler)

YASS: Yeraltı Su Seviyesi

1. GİRİŞ

Zeminler bir yapı elemanının en önemli ve en temel elemanıdır. Ayrıca bütün yapıların taşıyıcı unsuru olarak yapı yüklerinin en sondaki ana taşıyıcı unsurudur. Zeminler, sahip oldukları heterojen yapıları ve kompozit iskelet yapıları nedeni ile çevre koşullarına, iklim özelliklerine, yeraltı su seviyesi (YASS) değişimlerine, gerilme tarihçesi ve sediment yapısına bağlı olarak farklı davranışlar gösterirler. Bunun yanında zeminler bünyesinde barındırdığı organik ve inorganik içeriklerinden dolayı karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu karmaşık yapı her zaman beklenen nitelikte bir sağlam zemin iskeleti niteliğinde olmayabilir. Böylesi durumlarda ise zeminin arzu edilen mühendislik özelliklerini iyileştirmek gereklidir. En genel anlamda bu türden ıslah çalışmalarına zeminlerin iyileştirilmesi olarak adlandırılır. Zeminin ifade edildiği üzere kompozit ve karmaşık yapısı nedeni ile iyileştirme yöntem ve uygulamaları da çok geniş bir perspektiften ele alınmaktadır. İyileştirmedeki öncelikli seçenek zayıf zeminin uzaklaştırılıp yerine daha iyi özelliklere sahip zeminin getirilmesidir ancak ekonomik ve efektif olmayan durumlarda zeminleri farklı kimyasal katkı malzemeleri ilavesi ile iyileştirme işlemi gerçekleştirilebilir.

Kilin tıpkı diğer malzemelerde de olduğu gibi dayanımı sınırlıdır, bu bakımdan zemin yabancı malzemeler veya kompozit bileşenler ile güçlendirilebilir. Zemin güçlendirme çeşitli ızgaralar, şeritler, çubuklar ve ince levhalar gibi malzemelerle yapılır. Zemin kütlesine bir yük uygulandığında zemini güçlendirmek için kullanılan bu malzemeler zemin içerisinde meydana gelen çekme gerilmelerini karşılamada zemine destek olurlar. Zeminin güçlendirilmesi, zeminin dayanma kapasitesi ve çekme dayanımı gibi özelliklerini olumlu yönde etkiler.

Günümüzde; geoteknik yaklaşımlar bakımından kötü olan zeminler denilince, taşıma gücü bakımından yetersiz, plastisite ve hacim değişimleri yönünden problemli olabilen zeminler akla gelmektedir. Bu tez kapsamında daha detaylı bir değerlendirme ile mesele ele alınırsa, özellikle yüksek plastisiteli ince daneli zeminlerde su absorbsiyonu ile birlikte zemin bünyesinde ortaya çıkan şişme-büzülme davranışının zeminin özelliklerine göre etkisi göz önünde tutulmalıdır. Temel yapısında oturmalar (büzülmeden dolayı) veya kabarmalar (şişme) temel zemin ara yüzeyindeki anormalliklere iyi bir örnek teşkil etmektedir. Hacim değişimlerinin mevsim ve yağış

etkileri altında tekrarlı olarak yenilenmesi durumunda ise zeminin karakteristik niteliklerini kaybetmesi söz konusu olabilir. Bu bakımdan, su emilimi ve su kusması ile farklılıklar sergileyen zeminlerin su ile etkileşime giren malzemelerin içeriği ve dağılım yüzdeleri bir mühendislik problemi açısından önemli bir göstergedir. Örneğin bir zeminin Plastisite indeksi (PI) %30-40'dan fazla olması durumunda yumuşak dokulu ve çalışılması güç bir iskelet yapısına sahip zemin ortamları ortaya çıkabilir. Bunun yanında yüksek Plastisite indeksine (PI) sahip yumuşak zeminler kompaksiyon sırasında veya kuruması neticesinde sert topaklanmış formlara dönüşebilirler. Aktivitesi yüksek ve yüksek plastisiteli killi zeminlerde hacim değişimleri, çatlama problemleri, düşük kayma dayanımı vb. gibi problemler meydana gelirken kuruma sonucundan meydana gelen çatlaklar sonucunda çeşitli yapısal problemler ortaya çıkabilir.

Çatlakların oluşumu genelde ince katmanlı ve nispeten zayıf tabakada meydana gelmektedir. Çevre geotekniğinde ve baraj inşasında geçirimsiz tabakalar elde etmek için kullanılan kil malzemesinin, kuruma ıslanma periyotları akabinde sahip olduğu karakteristik özelliklerini kaybetmelerinden dolayı, çatlama oluşumlarını kontrol altına alınabilmesi adına birçok araştırma projesi yürütülmüştür. Literatürde; çeşitli kimyasal katkı malzemeleri (çimento, kireç, mermer tozu, uçucu kül) ile hazırlanan karışımların çatlama üzerindeki etkilerine ilişkin araştırmalar bulunmaktadır (Bozkurt, 2015). Ancak diğer etkenleri de dikkate aldığımızda; zeminde çatlak oluşumunu meydana getiren kimyasal ve biyolojik birçok etkene sahip olduğu için bu davranışında mekanizması oldukça karmaşık ve anlaşılması güç bir süreç olduğunu dile getirmek gereklidir.

Kuruma çatlakları genel anlamda; zeminlerin mukavemetlerini ve uzun dönemli stabilitesini kaybetmesine, geçirimliliğinin artmasına ve taşıma gücünün azalmasına neden olabilmektedir. Çatlak oluşumunu meydana getiren birçok faktörden bahsetmek mümkündür. Su çıkışının meydana gelmesinin sonucunda zemin büzülmeye maruz kalarak çekme gerilmeleri altında kil ortamında kırılma ve çatlamalar oluşur. Büzülme neticesinde çatlak oluşumu, dayanım ve geçirgenlik değişimlerine meydan verecektir. Çatlakların içerisine su girişi olduğunda killerin yüzeyi boyunca şişme ve hacim artışı meydana gelir ve kilde dayanım kaybı oluşur.

Özellikle geçirimsizliği sağlamak amacı ile kullanılan kil tabakalarında ıslanma kuruma çevrimleri sonrasında kil kesitinde çatlakların oluşması kil tabakasından

beklenen geçirimsizliğin sağlanmasında problemler doğurabilir. İlk ıslanma ve ilk kuruma süreçlerinin tamamlanması ile ortaya çıkan birincil çatlak oluşumu meydana geldikten sonra yüzeyde stabilite ve dayanım açısından zayıf bir alan meydana gelmesi çok muhtemeldir. Bu bakımdan iyileştirilmiş killi zemin katmanlarında mümkün mertebe birincil çatlama süreçlerinin kontrol altına alınması gereklidir. İkincil ve üçüncül çatlamaların akabinde, çatlakların göreceli olarak genişlemesi ve derinleşmesi ile sıvıların geçişi daha kolay bir şekilde meydana gelmektedir.

Günümüzde ise bu kuruma çatlaklarının önlenmesi için tekil lifli iplikciklikler kullanılarak (mono filament) çekme gerilmelerin karşılanmasında güçlendirici katkı malzemesi olarak kullanılması denenmektedir. Bu çalışmada atık lastik parçalarından imal edilen iplikçikleri, kil malzemesi ile karıştırılarak ve çatlamaya olan etkisini gözlemlemek amaçlanmıştır. Lifli yapıların çekme gerilmelerini karşılayarak kil yüzeyinde çatlamaya karşı durağan bir kesit oluşturduğu belirlenmiştir. Bu nedenle lastik fiber kullanımı birçok açıdan tercih etmemizi sağlayan bir katkı malzemesi olmuştur.

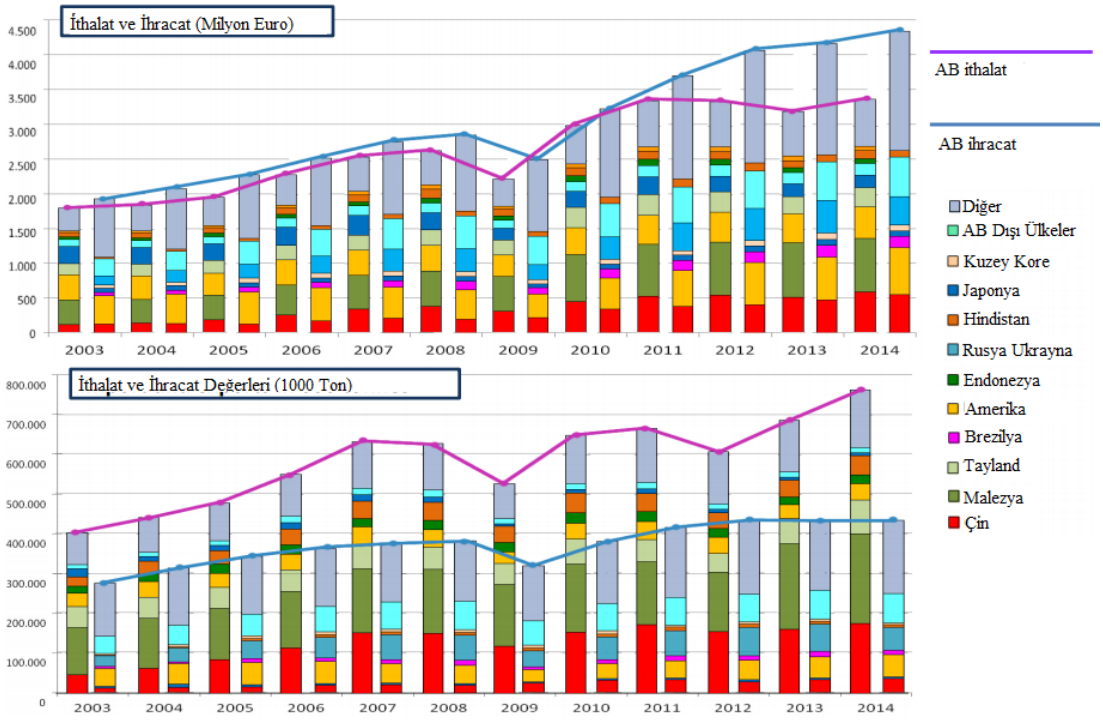
Fiber lastik malzemelerin ucuz ve bol miktarda bulunması, özellikle çatlak kontrolü noktasında zemin iyileştirilmesinde kullanılmasının önünü açmaktadır. Birçok araştırmada fiber ilavesinin zeminin sertliğinde ve mukavemetinde önemli bir gelişmeye neden olduğunu belirlenmiş, bunun yanında çatlak kontrolünde de önemli faydalar sağladığı saptanmıştır (Prabhakar ve Sridhar 2002, Kumar vd., 2006).

Bunun yanında; kilin içerisine liflerin ilave edilmesinin ardından kilde meydana gelen çatlakların azaldığı yapılan birçok çalışmada da tespit edilmiştir (Cyrus 2008, Yesiller 2000).

Maher ve Ho, (1994) fiber/kaolinit zemin karışımının davranışında fiber ilavesinin kohezyonlu zeminin kayma dayanımını ve sünekliğini artırdığı sonucuna varmışlardır. Miller ve Rifai, (2004) fiber içeriğindeki bir artışla hidrolik iletkenlikte bir artışın olduğu ve çatlak oluşumunda ise azalma tespit etmişlerdir.

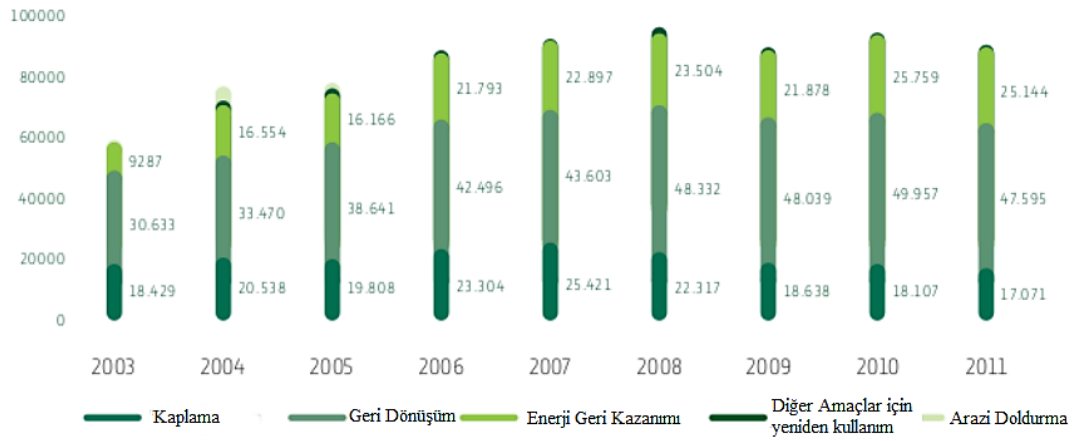
Genel anlamda lastiği ifade gerekirse; aracın yer ile temasını sağlayan kauçuk ve çelik teller ile yüksek ısı ve basınç altında birleşiminden oluşmaktadır. Lastiğin yapısında büyük çoğunlukla yenilenemeyen kaynaklar bulunmakla beraber, doğal kauçuk, sentetik kauçuk, karbon siyahı, çelik, yağlar ve çeşitli kimyasallar lastiğin bileşenlerini oluşturmaktadır. Avrupa Lastik ve Kauçuk Sanayicileri derneğinin (ETRma,

etrma.org) EuroStat üzerinden edinilmiş olan bilgilere göre Avrupa'daki fabrikalarda yılda 300 milyon binek araç lastiği ve 17 milyon ağır vasıta lastiği üretilmektedir. Her geçen gün daha fazla lastik üretimi yapılmakta ve ithalat-ihracat rakamları artmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Yıllara göre Avrupa'daki lastik ithalat ve ihracat grafikleri

Ömrünü tamamladığı belirlendikten sonra araçtan sökülen ve daha sonra araç üzerinde lastik olarak kullanılamayacak durumda olan atık lastiklerin yönetilmesi ile ilgili yöntemler ortaya çıkmıştır. Portekiz Nova Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Fakültesi öğretim üyesi Gomes (2013) tarafından ele alınan çalışmaya göre yıllara göre atık lastiklerin kullanımında da değişiklikler olduğu Şekil 1.2 'de görülmektedir.



Şekil 1.2: Atık lastiklerin yönetimi

Atık lastiklerin bu denli hızlı artması ise toplandığı yerlerde bazı önemli çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bunlardan bir tanesi atık lastik yığınlarında meydana gelen şiddetli yangınlar ve neticesinde çıkabilecek zehirli gazlar, diğeri ise bu atık yığınlarında rahatça çoğalma fırsatı bulan sivrisinekler, haşereler ve böcekler nedeniyle toplum için oldukça tehdit edici hastalıkların yayılma ihtimalidir. Bu yüzden atık lastiklerin yönetilmesi ile ilgili Avrupa Birliği 1999 yılında bazı kararlar almıştır. Türkiye Lastik Sanayicileri Derneği (LASDER) verilerine göre her yıl Türkiye'de de yaklaşık 180.000 ton ömrünü tamamlamış lastik ortaya çıkmaktadır (URL-1). Bu doğrultuda Türkiye'de Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 25 Kasım 2006 tarihinde 26357 sayılı "Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği" Resmi Gazete' de yayınlanmıştır. Bu yönetmelik ile birlikte ömrünü tamamlamış atık lastiklerin; çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı olarak alıcı ortama verilmesinin önlenmesi, geri kazanım veya bertarafı için toplama ve taşıma sisteminin kurulması, yönetim planının oluşturulması ve ömrünü tamamlamış lastiklerin yönetiminde gerekli düzenlemelerin ve standartların sağlanması amaçlanmıştır.

Atık lastiklerin depolanması birçok sorun oluşturduğu için geliştirilen diğer yöntemler de artan atık lastikler karşısında yetersiz kalmaktadır. Atık lastikleri zeminlerde kullanılması hem zemin yapısını güçlendirmesi açısından hem de atık lastik yönetiminde yeni bir alternatif olması açısından önerilmiştir.

Bu tez kapsamında kullanılacak malzemelerin seçilme sürecini etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Örneğin endüstriyel faaliyetler çevresel kirliliğin oluşmasında önemli faktörler arasındadır. Bu faaliyetler sonucunda oluşan atıklar katı, sıvı ya da kloroflorokarbon türü zararlı gazlar gibi farklı formlarda bulunabilirler. Farklı fiziksel

özelliklere sahip bu atıkların bir kısmı zararlı olabilirken bir kısmı ise doğada gözle görülür bir zarara neden olmamaktadır. Bunun aksine birtakım atıkların bir kısmı geri dönüşüm yoluyla yok edilmeye çalışılırken bir kısmı ise doğada çok uzun yıllar bütünlüğünü koruyabilmektedir. Atık halde doğada varlığını sürdürmeye devam eden katı atıklar büyük bir hacmi işgal etmekle birlikte ciddi sağlık ve çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bir örnek vermek gerekirse Draper ve Robinson (2001) yaptığı çalışmada lastik tozunu bir su içerisine katarak 10 gün boyunca bekletmiştir ve bunun sonucunda suda bulunan mikroorganizmalara zarar verdiğini tespit etmiştir. Bu problemlerin ortadan kaldırılmasını sağlayacak en etkin ve sürdürülebilir yöntem atık lastik parçalarının yeniden geri dönüşüm sürecinde kullanılmasıdır. Bahsi geçen bu nedenlerden dolayı katı atıklardan bazıları mühendislik çalışmalarında katkı malzemesi olarak yararlanma yolları denenmiştir. Literatürde birçok çalışmada atık lastik parçalarının sürtünme özelliği, hafifliği ve ekonomik olması sebebiyle yüksek verimli bir katkı malzemesi olduğu düşünülmektedir.

Özetle; yüksek kil içeriğine sahip aktif zeminlerin uygulama sahalarında kullanılırken, dikkat edilmesi gereken problemli zeminler olduğu akıldan çıkarılmamalıdır. Katkı malzemeleri kullanılarak killi zeminlerin iyileştirilmesi alınabilecek önlemlerden yalnızca biridir. Killi zeminlerin iyileştirilmesi, zeminin plastisite özelliklerinin düşürülmesiyle gerçekleşir. Verimli bir iyileştirmenin oluşabilmesi için hem kilin özelliklerinin belirlenmesi hem de iyileştirmede kullanılacak olan malzemenin doğru seçilmesi önemli bir faktördür.

1.1. Literatür Taraması

Kilin mineralojik yapısı ve ince daneli bir zemin olması nedeniyle var olduğu zemin ortamındaki en önemli bileşendir. Yapılan çalışmalarda ince daneli zeminlerde küçük boşlukların varlığından dolayı kaba daneli zeminlere göre çatlak oluşumuna daha duyarlı olduğu birçok araştırmacı tarafından belirlenmiştir (Holtz ve Kovacs 1981, Mitchell 1993). Akıncı (2001), yaptığı bir çalışmada ise bu ifadeyi destekler nitelikte olup, kil oranı yüksek olan zeminlerde mühendislik problemlerin meydana gelebileceğini ifade etmiştir.

Yine ince daneli zeminler üzerinde yapılan bir araştırmada; Yesiller vd., (2000) çatlamanın büyük miktarlarda ince dane içeriğine sahip olan zeminlerde meydana geldiğini ve kaba daneli zeminlerde nispeten daha az oluştuğunu ifade etmişlerdir.

İnce daneli zeminlerde birçok probleme rastlamak mümkündür fakat karşılan en önemli problemin kurumaya bağlı olarak meydana gelen çatlakların olduğunu ifade etmek gerekir. Vogel vd., (2005) çatlama davranışı üzerinde zemin bileşiminin etkisini araştırmışlardır. Bunun için bentonit kil ve kum karışımını kullanmışlardır. Çatlak geometrisi, çatlak yüzey alanı, uzunluğu ve konumu ölçülerek karakterize edilebildiği ve çatlak oluşumunun bentonit-kil karışımında nispeten daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır.Soltanı-Jigheh vd., (2013) göre sıkıştırılmış kilin bazı önemli mühendislik özellikleri kuruma çatlakları tarafından olumsuz etkilenebilir ve bütünlüğünü kaybedebilir.

McCloskey vd., (2008) kil minerallerinin çeşitleri, plastisite ve dayanım gibi zeminin özellikleri üzerinde ana öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir.Yıldız vd., (2004) farklı özelliklere sahip olan killer üzerinde çalışma yaparak kil cinsinin mekanizmayı nasıl etkilediğini araştırmışlar ve bunun için yüksek ve düşük plastisiteli killeri baz almışlardır. Elde ettikleri sonuca göre mukavemet değerlerinde iki ayrı killi zemin için farklı değerler elde edilmiştir. Mitchell (1993), kuruyan zeminlerdeki kuruma çatlağı kil minerallerinin tipine ve miktarını temsil ettiğini göstermiştir.

Kleppe ve Olson (1985), plastisite indeksinin yüksek olduğu durumlarda şişme ve büzüşme davranışında artış olabileceğini belirtmiştir. Büzülme ve çatlamaya bağlı olarak meydana gelebilecek tehlikeli durumların ise iri daneli katkı maddelerinin kullanılmasıyla azaltılabileceğini açıklamıştır.

İnce daneli zeminlerin başlıca problemi olan çatlaklar, bir zemin kütlesinde zayıf tabakalarda oluşur ve zeminin sıkışabilirliğini artırmasının yanı sıra toplam dayanım ve stabilitesinde azalmaya neden olur. Ayrıca kurumadan dolayı zeminde emme oluşur. Bu emme zemindeki efektif gerilmenin artmasına ardından hacminin azalmasına ve böylece çatlakları meydana getireceğini belirtmiştir (Yesiller vd., 2000).

Atique ve Sanchez, (2011) yürütmüş olduğu çalışmada, zemindeki kuruma ve çatlama arasında nasıl bir bağlantı olduğunu açıklamak amacıyla Endonezya Bengawan Solo nehrinden aldıkları numuneyi incelemişler ve bunun sonucunda %16 gibi bir hacimsel büzülme değeri elde etmişlerdir. Bu verinin ise düşük büzülme limitinin şişme-büzülme davranışında yüksek potansiyele karşılık geldiğini ifade etmişlerdir.

Kuruma yapılarda çatlak oluşumunu tetikler nem kaybına ve daha fazla sızıntı suyu oluşumuna neden olur. Bunun sonucunda zeminin ve yeraltı suyunun potansiyel kirliliğini artırır (Miller vd., 1998).

Daniel ve Wu, (1993) kurak bölgelerde çatlama olasılığını en aza indirebilmek için ince daneli dolguları düşük su içeriğinde sıkıştırılmasını önermiştir. Yong vd., (1975) yapmış oldukları araştırmalarda killi bir zemindeki ilk kuruma döngüsü sırasındaki büzülme yapısında geri dönülemez değişikliklere neden olduğunu vurgulamışlardır. Yong ve Warkentin, (1975) makalelerinde kuruma çatlaklarının oluşması sürecinde büzülme bağların kopmasına ve yapısal olarak yeniden düzenlenmesinin mikro yapıya etkisini incelemişlerdir.

Soltani-Jaggeh vd., (2013) sıkıştırılmış kilin bazı mühendislik özelliklerinin kuruma çatlakları tarafından olumsuz etkilenebileceği ve bütünlüğünü kaybedebileceğini belirtmişlerdir.

Çatlamanın genişliği ve oranı kuruyan zeminin elastik özelliklerine ve negatif boşluk suyu basıncı gibi faktörlere bağlıdır (Morris vd., 1992, Fredlund ve Rahardjo 1993).

Buna ek olarak nem ve yoğunluk şartları, basınç, sıcaklık ve kuruma, ıslanma döngüsü kuruma çatlaklarını etkilediği vurgulanmıştır (Morris vd., 1992, Fredlund ve Rahardjo,1993).

Taha ve Taha (2011) çatlak oluşumlarının takip ve önlenmesi ile ilgili deneysel çalışmalarda bulunmuşlardır. Özellikle ince daneli zeminler büzülmeye ve böylece hacim kaybına daha duyarlı olduklarını belirtmişlerdir. Büzülme ise zeminde çatlak oluşumuna neden olmakta ve bunun sonucunda o zeminde bulunan bir üst yapıda olumsuz bir durum teşkil etmektedir. Bu olumsuz koşullar zeminin dayanımını kaybetmesine, çatlakların oluşması sonucu boşluklardan su geçişine izin vermektedir ve birbirinden çatlak nedeniyle ayrılan zemin parçaları arasından su geçişine imkân vermektedir.

Al Wahab ve El-Kedrah, (1995) sıkıştırılmış kildeki büzülme/şişmenin miktarını ve gerilme çatlaklarını azaltmak için farklı boy ve incelikte fiberler kullanmışlardır. Prabhakar ve Sridhar, (2002) ‘a göre fiber uzunluğu ve fiber içeriğindeki artış aynı zamanda zeminin kuru yoğunluğunu azalttığı vurgulanmıştır. Çetin vd., (2006) göre, normal basınç azaldıkça ve lastik parçacılarının yüzdesi arttıkça geçirimlilik artar.

Lastik parça içeriğindeki %0 dan %30 a olan artış çatlakların derinliğini 9,5 mm den 0,30 mm ye düştüğü saptanmıştır. Numunelere lastik parçacıkları ilave edilmesi yoluyla maximum kuru yoğunluk ve optimum su içeriği ve hacimsel büzülmesi azaltılır (Soltani-Jaggeh vd., 2013).

Bu nedenle killi zeminlerin iyileştirilmesine dair birçok deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların her birinde farklı yöntemler ve farklı malzeme içerikleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmalardaki başlıca amaç ve killi zeminlerde en çok karşılaşılan nem kaybı dolayısıyla meydana gelen büzülme çatlakları olduğu sonucuna varmıştır.

Bu çalışmamda, plastiklik özelliği ile şişme davranışı gösteren Avanos kiline atık lastik lifleri katılarak ıslanma kuruma çevrimlerinde kilin hacim değişimi incelenmiştir.

1.2. Tezin Amacı

Zayıf zeminler yapı-zemin etkileşimi bakımından ele alındığında ciddi problemler oluşturabilmektedirler. Bu tür zeminlerin su tutma kapasiteleri, problemleri tetiklemesi yönü ile yapı güvenliğini daha da fazla tehlikeye sokabilmektedir. Zira bu tür zeminlerin geçirgenliklerinin az oluşu nedeni ile ortamdan suyun uzaklaştırılarak mukavemet artışının sağlanması mümkün olamamaktadır. Diğer taraftan killi ve yüksek aktiviteli zeminlerin su ile irtibatlı olmaları nedeniyle kuruma ve ıslanma çevrimlerinde hacim değişimleri gibi problemler meydana gelmektedir. Bu killerin bileşimlerinde bulunan elementlerin kristal yapılarındaki yüksek su tutabilme özellikleri nedeni ile su ile temas ettiklerindeki davranışları kilin mineralojik özelliklerine göre farklılık gösterebilmektedir. Örneğin montmorillonit mineralini yüksek oranda içeren kil zeminlerin hacim değişimine eğilimleri çok yüksek olup bu minerali içeren zeminlerin inşaat malzemesi olarak kullanılmaması gerekmektedir (Angın vd., 2005). Çalışma konumuz olan, Avanos kili üzerinde X-Ray deneyleri yapılmış ve içerisinde kile kırmızı rengi veren Fe metalik elementinin baskın bir oranda bulunduğu görülmüştür. Demir elementinin bu baskın oranı kilin davranışında etkin bir rol üstlenmektedir. Bölgedeki diğer kil gruplarından bu özelliği ile ayrılan Avanos kilinin deney çalışmasında özellikle seçilmesinde etkisi olmuştur.

Literatüre bakıldığında; çatlak oluşumunu azaltmak amacıyla çeşitli katkı malzemeleri kullanılmıştır. Günümüzde kil içerisine katılan uçucu kül, mermer tozu, kireç gibi

malzemeler yaygın olarak kullanıldığı çalışmalara rastlamak mümkündür. Bunun yanında geotekstiller de kullanılmaktadır fakat bu malzemenin maliyetli olması nedeniyle kullanımı konusunda bu durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Son zamanlarda ise farklı boyutlardaki fiber lastikler kile katılarak birçok bilimsel araştırmalar yapılmış ve katkı malzemesinin çatlak oluşumu üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu birçok bilimsel çalışmada beyan edilmiştir. Katkı malzemesi olarak kullanılan lastik ise maliyetinin düşük, hafif, dayanımının yüksek olması, su geçirmezliği, esnekliği ve yüksek sürtünme dayanımına sahip olması nedeniyle tercih edilmektedir. Lastikler doğada atık halde sayıca oldukça fazla şekilde bulunmaktadır ve bu yüzden ulaşılması oldukça kolaydır. Geri dönüşüm sonucu elde edilen fiber lastiklerin killere katılarak etkisi üzerinde çalışıldığı birçok çalışma mevcuttur.

Lastik fiberlerin, çatlak oluşumuna etkisinin yanı sıra doğada atık olarak problem yaratması ve maliyet olarak hesaplı olması kullanılmasını cezbeden çok önemli bir faktörlerdir. Mühendislik uygulamalarında dayanımın önemli olduğu kadar maliyetin de önemi oldukça büyüktür. Kil içerisine ilave edilen lastik fiberler bize her iki açıdan da kolaylık sağlamaktadır. Atık bir malzemenin bu şekilde değerlendirilmesi sadece ekonomik açıdan değil aynı zamanda doğal çevrenin uzun ömürlü olması açısından katkısı büyüktür. Çünkü lastik bazlı malzemelerin doğada parçalanıp fosil haline dönüşmesi neredeyse mümkün değildir. Lastik malzemeleri bu şekilde geri kazanım metodu insanlığın geleceği için önem arz etmektedir.

Bu çalışmada lastik içerikleri artırılarak diğer yüzdelerdeki içerikler karşılaştırılmıştır. Gözlemler sonucunca çeşitli yorumlar getirilmiştir. Deneysel çalışmanın hedefleri ise şunlardır;

a) Maliyeti düşük, atık malzemesi olan fiber iplikçik haline getirilmiş lastiklerin kilde katkı malzemesi olarak kullanılması
b) Fiber lastik ipliklerin kildeki çatlak oluşumunu azaltma üzerindeki etkisinin belirlenmesi
c) Hazırlanan farklı miktarlardaki fiber lastik katkısının kilde meydana gelen çatlakların boyutları, dağılımları, görülmesi sıkılığı fotogrometrik olarak ölçülmesi

Bu çalışmada kullanılmış olan lastikler içerisinden çelik kabloların çıkarılmış, birtakım öğütme işlemine tabi tutulmuş en fazla 2 cm uzunluğunda olacak şekilde şerit lastik fiberler kullanılmıştır. Daha sonra ise Nevşehir ilinin Avanos ilçesinden temin edilen kil içerisine bu lastik fiberler farklı yüzdelerde ve her bir numunenin optimum su muhtevası değerinde karıştırılarak böylece lastiğin kilin davranışa nasıl etki ettiğini gözlemlenmiştir.

X-Ray deney sonuçlarına göre, Avanos Kili içeriğindeki mineralojik dağılım oranları çizelge 3.1 ve çizelge 3.2 de kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Bu analiz sonucu kil davranışını yorumlama açısından bize önemli bir ışık kaynağıdır. Kil içerisindeki herhangi bir maddenin yüzdesindeki küçük bir rakamın kilin davranışını önemli derecede değiştireceği göz ardı edilmemelidir. Killi davranışındaki farklılıklar geoteknik mühendisliğinin ilgilendiği alanlar içerisinde büyük bir paya sahiptir.

Sonuç olarak zayıf zemin olarak nitelendirilen killi zeminlerin çok çeşitli yollarla ve katkı malzemeleri ile güçlendirilip iyileştirilmesinin yolları aranıp denenmiştir. Bu denenmiş olan yöntemlerin çeşitli avantajlarına ve dezavantajlarına rastlamak mümkündür. Bu çalışmada ise belirlenmiş olan yüzdelerdeki fiber lastik ilavesinin kil davranışına nasıl etki edeceği çatlak oluşumunu ne derece de azaltıp ne tür bir çatlak oluşturacağının etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmada, ince daneli zeminlerden olan kilin kuruması sonucunda meydana gelebilecek olan çatlakların hem ekonomik ve bunun yanında geri dönüşüme katkı sağlanmasına faydalı olacak lastik parçaları ile çatlakların azaltılması ve minimum düzeye indirgenmesi amaçlanmaktadır. Böylece çatlama sonuncunda oluşacak birçok olumsuz etkinin ortadan kaldırılması sağlanacaktır. Bu olumsuz etkiler dile getirilecek olursa; zeminin mukavemetini önemli oranda kaybetmesine, geçirimliliğinin artması ve bunun sonuncunda zeminin stabilitesini kaybetmesi gibi olumsuz sonuçlar doğuracaktır.

2. ÇATLAMANIN MEKANİZMASI

Kurumadan dolayı zeminde emilim meydana gelir. Bu emilim zemin tanecikleri arasında efektif gerilmeyi artırır. Bunun sonucunda, zeminde hacim azalması başladığında çatlak oluşumu meydana gelir. Zemin kütlesinin yüzeyinde ki emilim arttıkça buna paralel olarak çatlak gelişimi de artar.

Haines (1923), doymuş zeminlerin kuruma sürecini 2 önemli bölümüne ayırmıştır. Zemine hava girişi olmadan su kaybettiğinde meydana gelen kuruma ilk aşamadır. Bu durumda boyutlardaki değişimler su hacminin değişimine eşittir. Hacimdeki en büyük değişim kurumanın ilk aşaması boyunca meydana gelir. 2 aşamada ise hava zemine girer ve havayla su molekülleri yer değiştirir. Su içeriği ile hacim değişim arasındaki bağıntı Peron vd., (2009) tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir;

$$\varepsilon_\vartheta = \frac{G_s}{1+\mathrm{e}_0}\Delta\omega = \alpha_t \Delta\omega \qquad (2.1)$$

$G_s$zeminin özgül ağırlığıve $\alpha_t$doğrusalbüzülme katsayıdır. e_0 referans durumdaki boşluk oranının değeridir.

Çatlaklar, her zaman yalnızca kuruma etkisiyle meydana gelmez yani çatlak oluşumunu tek bir nedene bağlamak doğru değildir. Çatlak oluşumu kurumanın yanı sıra büzülme, donma ve çözülme, farklı yerleşim ve bitki kökleri yoluyla penetrasyon vb. içeren çeşitli süreçlerden dolayı da meydana gelmesi mümkündür (Yesiller, 2000).

Kuruma çatlakları suyun buharlaşması sonucunda bu harekete karşı olarak büzülme ile cevap verir. Hvorslev (1961), ise şöyle bir yaklaşımda bulunmuştur; farklı yükleme koşullarına maruz kalan zemin numunelerinde, kuruyan zemin üzerindeki kuruma çatlaklarının uygulanan kuvvete dik olduğunu tespit etmiştir. Çatlama parçacık yönüne paralel olduğu sonucuna varmıştır.

Çatlak oluşumuna mevsimsel ve bölgesel koşulların da etkisi olduğu söylenilebilir. Bununla ilgili Cyrus (2008) yaptığı bir çalışmada elde ettiği verilere göre sıcak ve kuru bölgelerde kurumanın yoğun ve daha hızlı meydana geldiğini ve uzun kıvrımlı düşey çatlakların kuru mevsimler sırasında oluştuğunu ifade etmiştir.

Çatlak oluşumunun nedenlerine başka bir örnek vermek gerekirse zemindeki çekme gerilmesi taneciklerin birbirine yapışma direncini aşması durumunda çatlaklar

meydana gelir. Büzülme çekme kuvvetlerini oluşturur ki bunun yanında çatlamanın oluşması için zeminin çekme dayanımı aşması gerekir. Diğer farklı büzülmede ise çatlama için, kayma gerilmesinin kayma dayanımı aşması gerekir. Kuruma oranı arttıkça daha fazla çatlak oluşur dolayısıyla numunedeki hızlı çekme gerilmesi artışının serbest kalabilmesi için bu gereklidir.

George (1969) göre büzülmenin bir sonucu olarak, çekme gerilmeleri zeminde başlatılacaktır. Kuruma çatlağının mekanizması çekmedeki malzememin başarısızlığı olarak açıklanabilir malzemede çekme gerilmesi oluştuğunda büzülmeden dolayı zemin çekme dayanımını aşar. Zemin kütlesi su kaybettiğinde çekme kuvvetleri kuruyan yüzey tabakasında oluşur. Su kaybından dolayı zemin çekme kuvvetlerini durdurabilme yeteneğini kaybeder (Fang, 1994).

Zemin parçacıkları birbirlerine yaklaştıkça, yüzey tabakası az ya da çok açıklıklı ve değişik (amorf) geometrik şekillere ayrılır. Çatlakların bu geometrik şekilleri kil mineralinin bileşenlerine ve gözenek bağlantılarına bağlı olabilir. Çatlaklar düzensiz bir şekle ve karmaşık bir geometriye sahip olması nedeniyle uzunluğun, genişliğin ve derinliğin kesin ölçümlerini engelleyici bir potansiyele sahiptir. Çatlağın genişliği ve derinliği çatlak boyunca sabit değildir. Kleppe ve Oslon, (1985) yapmış olduğu bir takım testlere göre çatlamanın şiddetinin kil içeriği arttıkça arttığını söylemişlerdir. Her bir karışımın çatlama şiddeti ve büzülme gerilmesi karşılaştırıldığında büzülme gerilmesi>%50 ise çatlaklar oluşabilir fakat büzülme gerilmesi>%10 ise muhtemelen daha şiddetli çatlaklar meydana gelebilir. Özetle bu ifadeden şöyle bir yorum çıkarmak mümkündür; büzülme gerilmesinin yüzdesi %10-%50 değerleri arasında çatlama davranışa karşı gösterdiği direncin daha az olmasına karşın numunede meydana gelecek olan çatlama davranışının da daha şiddetli olacağını gözler önüne sermektedir. Büzülme gerilmesinin %50 değerini aşması halinde ise çatlamaya karşı göstereceği direnç nispeten diğer aralığa göre daha düşük olacaktır.

Daniel ve Benson, (1990) yaptıkları deneylerde; kil bünyesindeki su içeriğinin artmasıyla büzülme küçülmesinin arttığı sonucuna varmışlardır. Çatlak oluşumu yalnızca zeminde suyun hızla yok olabileceği akım kanalları oluşturmaz, aynı zamanda çatlaklı zemin ortamları çatlama ile birlikte zeminin kuru birim ağırlığında artışa neden olur. Bu bakımdan çatlak oluşumunu ve çatlakların zemin yüzeyi boyunca yüzeyde oluşturduğu ayrışma alanlarının tespit edilmesi ve göreceli olarak çatlak alanların çatlamayan alanlara olan oranlarının belirlenmesi gereklidir. Bu bağlamda,

‘çatlak indeksi’ kavramı geliştirilmiştir. Çatlak indeksi, zemin numunesinin toplam yüzey alanına 2 mm den daha derin olan çatlak alanın oranı olarak tanımlanmıştır. Çatlağın alanı ise uzunluğunun ve genişliğinin çarpımına eşittir. Zeminde kuruma çatlaklarının oluşumu sadece zeminin hidrolik etkileyen bir faktör değildir, aynı zamanda su içeriğindeki sağlam bir zemin ile kıyaslandığında, çatlamış zemin daha sıkışabilir ve mekanik dayanımı azaltır (Morris vd.,1992).

Kuruma çatlaklarının kapsamının ve meydana gelişini açıklamak için kil içeriği ve mineralojisini içeren zeminin kalınlığı, yüzey biçimi, kurumanın oranı, toplam kuruma zamanı gibi faktörler düşünülebilir (Colina ve Roux,2000).

Malzemedeki kuruma ve büzülme artıkça zeminin emme gücü arttığından çekme gerilmesi ve şekil değiştirmesi artar. Çekme gerilmesi tanecikler arasındaki bağ direncini aşarsa çatlaklar meydana gelir. Çekme gerilmesini dağıtmak için yüksek kuruma hızında daha fazla çatlak oluşur. Çekme gerilmesinin dağılımı malzemenin kalınlığına ve sınır koşullarına bağlıdır. Killi zeminler kurumaya maruz kaldığında, zemin suyu hacmi azalır ve bunun sonucunda zemin büzülür. Büzülme engellenirse, çekme gerilmesi zeminin kendi bünyesi içerisindeki çekme dayanımını aştığında kuruma boyunca çatlaklar meydana gelebilir.

Bu bilgilerden yola çıkarak killi bir zemindeki çatlak oluşumundaki başlıca etken kuruma çatlaklarıdır. Kuruma çatlaklarının oluşum mekanizmasındaki değişmeyen şart zemin numunesi içerisinde bulunan nem kaybıdır.

3. MATERYALLER VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Materyaller

3.1.1 Kırmızı Avanos kili

Kil içerisinde kalker, mika, demir oksit gibi bileşenler bulunur. Kilin içerisinde etkinliği fazla olan bileşene göre yeşil, kırmızı, esmer renklerde olduğu görülebilir. Kil yapısı gereği suya duyarlı bir malzemedir ve suyu bünyesine alma eğilimindedir. Kilin bu özelliğe sahip olmasının bir sonucu olarak farklı tiplerdeki zemin numuneleriyle karşılaştırıldığında su ile karıştırıldığında çamurlaşma meydana gelir ve yapışkan bir hal alır. Bu bakımdan, ince daneli bir zeminin su ile reaksiyona girmesi; o zeminde kil içeriğinin hâkim olduğunun göstergesi olabilmektedir. Çünkü yalnızca kil mineralleri su ile etkileşime girebilme niteliğine sahiptirler. Killi zeminlerin su içeriği arttıkça veya azaldıkça, zemin büzülür veya şişer. Bu da zeminde ciddi yapısal zarara neden olur. Bu nedenle kilin büzülme özellikleri tespit etmek oldukça önemlidir.

Kil mineralleri küçük taneciklerden oluşmaktadır ve reaksiyonlar sırasında oldukça aktiftir. Bir zemin örneğinde kil miktarının nicel karşılığı ne olursa olsun davranışı önemli ölçüde değişiklikler gözlemlenir. Killer 2 mikron (0,002 mm) tane boyutuna veya daha küçük boyutlara sahiptir. Kil ile aynı boyutlardaki farklı özellikteki malzemeler ile karşılaştırıldığında kilin su ile karıştırılması sonucu plastik ve yapışan bir hal alır. Kil plastik kıvamda kolaylıkla şekil verilebilecek zayıf özelliklere sahipken kuruması durumunda dayanımında önemli bir artış gözlemlenir.

Sanıldığının aksine killi veya kil içerikli bir zemin daima sorun teşkil etmez. Birçok geoteknik mühendisliği uygulamalarında kilin olumsuz sayılan bazı özelliklerinden faydalanılmaktadır. Dolgu barajlarda geçirimsiz tabaka oluşturmak yine atık depolamada taban geçirimsizliğini sağlamak vb. gibi çeşitli alanlarda faydalanılırlar.

Bu tez kapsamında Orta Anadolu bölgesinde Avanos köyünün kesiştiği Kızılırmak nehrinden seçilmiş olan killi zemin örneği kullanılmıştır. Bu örnekler yüzeyden 3-5 m derinliğinde gözlemlenir. Bu bölgeden elde edilen killi zemin örneği yüksek plastisiteli inorganik kil olarak sınıflandırılmaktadır. Aşağıdaki tabloda Avanos kiline yapılmış olan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.1 - 3.2 ve Şekil 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1: Analiz sonuçları

Element	Dimension Clay1
Na_2O, Sodyum Oksit	%0,371
MgO, Magnezyum Oksit	%2,103
Al2O3, Alüminyum Tri Oksit	%17,098
SiO2, Silisyum Oksit	%38,481
P2O5, Fosfor Penta Oksit	%0,105
SO4, Sülfat	%0,178
K2O, Potasyum Oksit	%4,565
CaO, Kalsiyum Oksit	%5,691
TiO2, Titanyum Oksit	%0,425
MnO, Mangan Oksit	%0,133
Fe2O3, Demir Tri Oksit	%7,988
Ba, Baryum	%0,098
Cl, Klor	%0,055
LOI*	%21,8
Toplam	%99,09

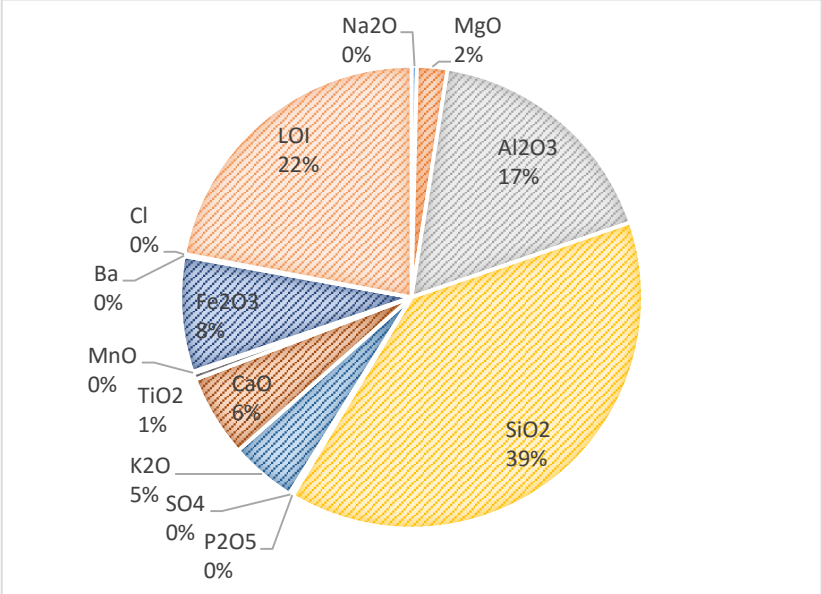
*Yanma Kaybının hesaplanması (Loss on ignition, LOI) (Eş 3.1)

$$LOI = \frac{w_2 - w_3}{w_2 - w_1}.100 \tag{3.1}$$

w_1: Boş kabın ağırlığı

w_2: Kap ve numune ağırlığı

w_3: Isıtıldıktan sonraki kap ve numune ağırlığı



Şekil 3.1 Analiz sonuçlarına ait pasta grafiği

Çizelge 3.2: Analiz sonuçları

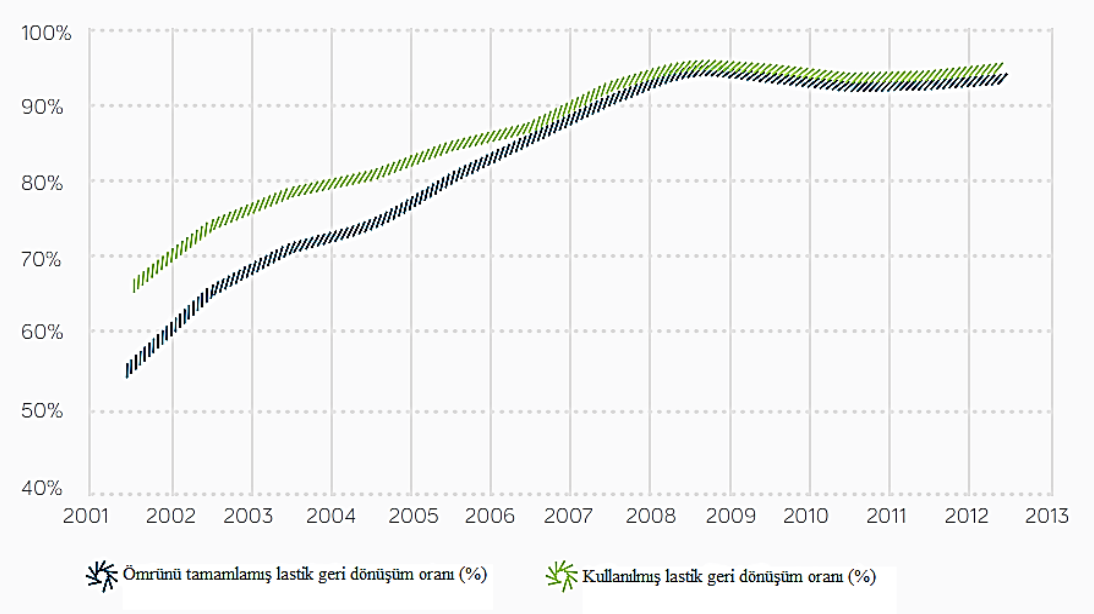
Element	Dimension	Clay1
V, Vanadyum	(ppm*)	113,1
Ni, Nikel	(ppm)	89,3
Zn, Çinko	(ppm)	106
As, Arsenik	(ppm)	152,2
Pb, Kurşun	(ppm)	61
Ce, Seryum	(ppm)	270,8
Cr, Krom	(ppm)	112,1
Cu, Bakır	(ppm)	94,1
Ga, Galyum	(ppm)	37,5
Rb, Rubidyum	(ppm)	223,5
Sr, Stronsiyum	(ppm)	499,7
Y, İtriyum	(ppm)	29,8
Zr, Zirkonyum	(ppm)	108,7

*ppm = (mg çözünen / kg veya litre çözelti)

3.1.2 Atık lastiklerden oluşturulan fiber iplikçikler

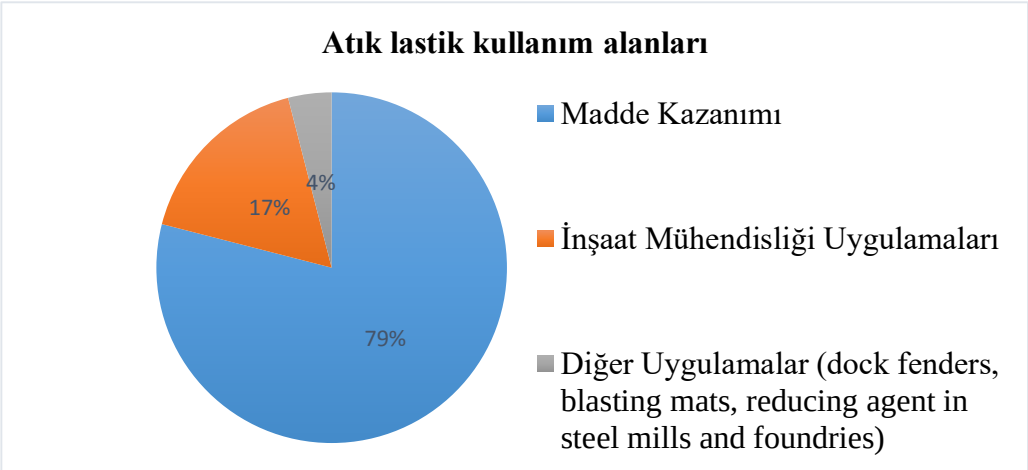
Modernleşmenin ve bireysel yaşamın etkisi ile araç sayısının artması, atık lastiklerin geometrik olarak artış göstermesi sonucunu doğurmuştur. Lastikler, faydalı ömürlerini tamamlamalarının ardından doğada bozulmadan yüzyıllarca kalabilirler. Bu da problemin durmaksızın üst üste yığılmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Enerji maliyetlerinin yüksek olduğu ülkelerde bu problemi yakarak elimine etmeye yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Ancak yüksek karbon içerikli ve sentetik kauçuk menşeeli lastiklerin yakılması sırasında sera gazı problemini doğuran diğer bir başka problemin tetiklenmesi sonucu doğmuştur. Diğer taraftan yakım için lastiklerin içyapılarında bulunan çelik bağların ve diğer donatıların çıkarılması gerekliliği bu süreci kısmi olarak zahmetli hale de getirmektedir.

Sugözü ve Mutlu'nun (2009) yaptığı çalışmada Türkiye'de yaklaşık 30 milyon lastik yılda kullanım ömrünü tükettiğini ve hurda lastiklerin bırakıldığı yerlerde önemli çevresel zarara neden olduğunu ifade etmişlerdir. Şekil 3.2 de verilen grafiğe göre 2001 ile 2013 yılları arasında ömrünü tamamlamış lastiklerin (ELT) geri dönüştürülmesi işleminin giderek arttığı tespit edilmiştir. 2008 ve 2009 yılları arasında ise maximum seviyeye ulaşmıştır.



Şekil 3.2:2001- 2013 Yılları arasında atık lastik geri dönüşüm oranı grafiği (URL-2)

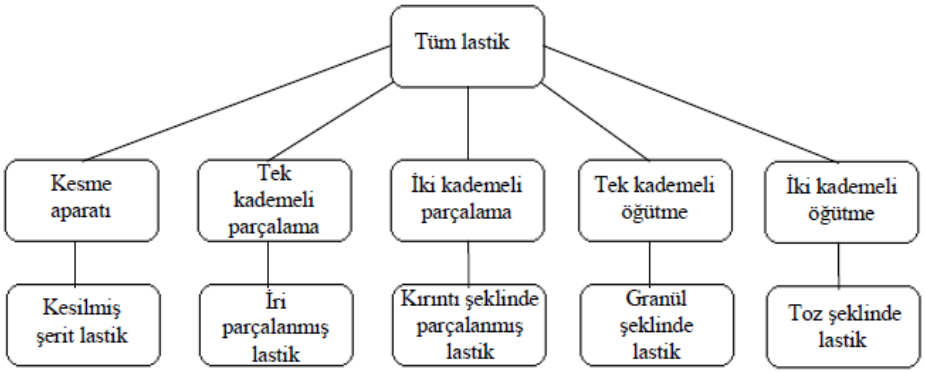
Atık lastikler inşaat sektöründe de kullanılan malzemeler arasındadır. Çeşitli işlemlerden geçmiş olan atık lastikler inşaat mühendisliğinin farklı uygulamalarında farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Taze beton içerisine katılan bir atık lastikte beton dayanımını artırması beklenirken lastiğin geri dönüşüm ürünü olan kauçuk ise su yalıtımını sağlamak amacıyla kiremit ve çatı altı kaplamalarında serilmiş halde tercih edilir. Şekil 3.3 de verilen atık lastiğe ait grafikte atık lastiklerin inşaat mühendisliği uygularında %17 lik gibi bir yüzdeliğe sahip olduğunu gösterilmiştir. Atık lastiklerin miktarca fazla olması ve maliyet bakımından ucuz olması nedeniyle bu tez kapsamında bulunan çalışmalar sayesinde atık lastiklerin inşaat mühendisliği uygulamalarındaki yüzdesini artırmak mümkün hale gelecektir.



Şekil 3.3: Avrupa'daki Atık lastiklerin kullanım alanları (URL-3)

Atık lastikler (propilenler) betonu veya zemin güçlendirmek için kullanılan sentetik malzemelerdir. Bu malzemenin tercih edilmesinin birincil etkisi nispeten düşük maliyetidir. Kolayca toprak ile karışır nispeten daha yüksek bir erime noktasına sahiptir. Yüksek esneklik ve dayanım, düşük deformasyon ve yayılma gibi olumlu özelliklere sahiptir. Aynı zamanda bu malzemehidrofobiktir ve zemindeki tuzun varlığından ve biyolojisinden etkilenmez zemin nemi veya suyuyla tepkime vermeyen kimyasal olarak etkisiz bir malzemedir.

Taşıtların tekerleklerinde kullanılan lastikler doğada parçalanması zor olduğu için geri dönüşüm yoluyla farklı fazlarda ürünler elde edilir. Atık halde bulunan lastiklerin geri dönüşümü bütün halden toz hale geçene kadar çok çeşitli boyutlarda bulunabilmektedir. Her bir boyutta elde dilen ürünler değişik amaçlarda kullanılarak faydalanılır. Örneğin kauçuk haline getirilen lastikler pek çok sanayi dalında faydalanılan bir geri dönüşüm ürünüdür. Lastiklerin tekrar kullanılabilmeleri için boyutlarının küçültülmesi gereklidir. Aşağıda verilen şekilde Yeşilata vd., (2007) 5 farklı boyutta lastik ürünün elde edilebileceğini şematik olarak göstermişlerdir.



Şekil 3.4: Parçalama şekline ve boyutuna göre atık lastiklerin sınıflandırılması (Yeşilata vd., 2007)

Bu deneysel çalışmada kullanılan lastik parçaları içerisinden çelik teller çıkartılmış Şekil 3.5 de verildiği gibi kıyılmış halde bulunmaktadır. Şekil 3.5 baktığımızda ise bu boyutlardaki lastiklere iki kademeli bir geri dönüşüm tekniği uygulandığı sonucuna varabiliriz. Ayrıca lastik malzemenin özgül ağırlığı 0.912 ve birim ağırlığı 6.3 kN/m^3tür.



Şekil 3.5: Fiber lastik

3.2 Avanos Kili Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışmalar

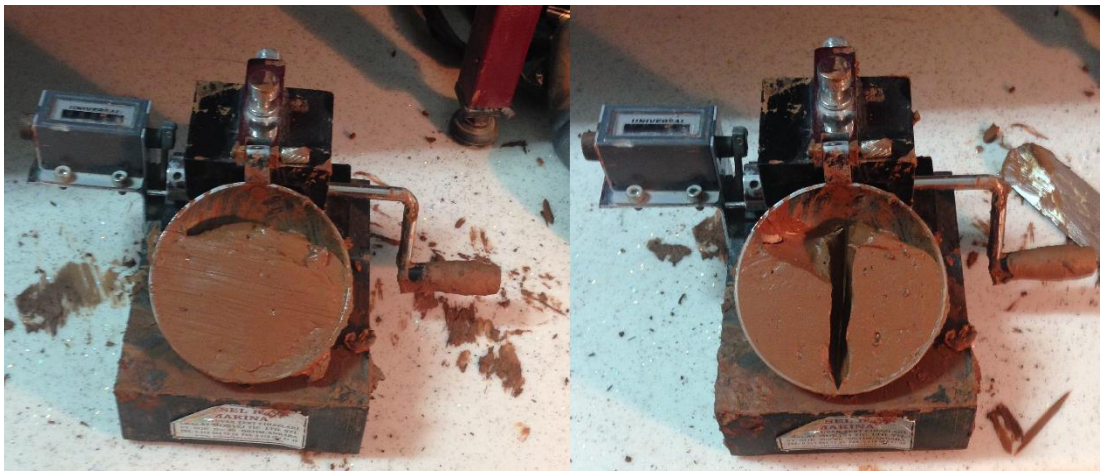
3.2.1 Kıvam limitleri

Zeminin çatlama özelliklerini ve hızını belirleyen en önemli unsur, zeminin su tutma kapasitesidir. Bu bakımdan zeminin kıvam limitlerinin belirlenmesi ve Plastisite İndeksinin saptanması gerekir. Kıvam limitleri Likit ve Plastik limit değerlerinin saptanması ile elde edilir. Likit limit deneyi basit bir anlatımla; deney aletine (Şekil 3.6)serilen numunelerin ortasına açılan yarığın, 1 cm yükseklikten sert lastik kaidesi üzerine düşerek 25 vuruşta kapanması için gereken su muhtevası olarak tarif edilebilir. Bu deney, 40 no'lu elek altından geçen malzemenin, içerisine deney standartlarında ilave edilen su ile iyice karıştırılarak, likit limit deney aletine yere paralel şekilde yüksekliği en fazla 1 cm olacak şekilde serilmesi ve sonrasında tam ortasına düzgün şekilde yarık açılarak (numune eşit iki parçaya bölünür) yapılır. Akabinde alet kolu saniyede iki vuruş yapacak şekilde çevrilir ve numunenin ortasındaki yarığın 1 cm kapanmasını sağlayacak darbe sayısı kaydedilir. Kapanan bölgeden yeterli miktarda örnek alınarak su muhtevası belirlenir. Bu işlemlere 10 ile 100 arasında en az üç darbe sayısı tespit edilinceye kadar devam edilir ve her darbe sayısı için su muhtevası aynı şekilde hesaplanır. 25 vuruşa denk gelen su muhtevası deney sonucunda elde edilen verilere bağlı olarak belirlenir ve deney tamamlanır.



Şekil 3.6: Likit limit deney aleti (Casagrande aleti).

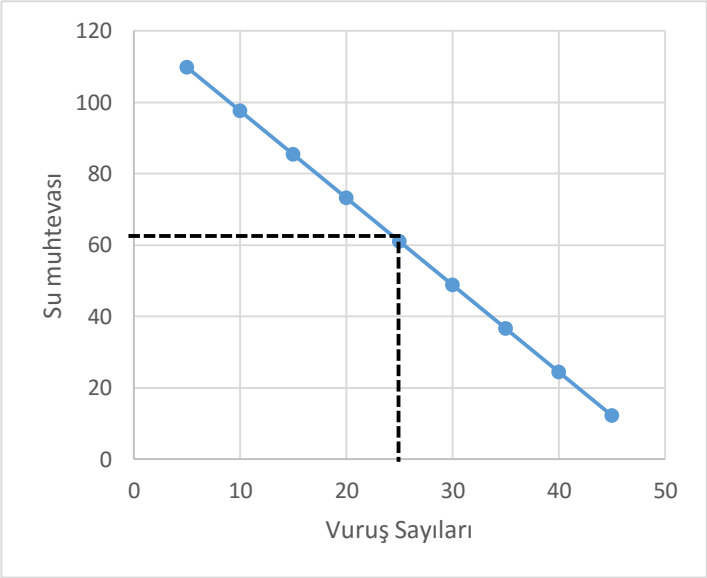
Casagrande aletine spatula ile numunenin içinde boşluk olmayacak şekildezemin yüzeyine paralel halde serilmiştir. Serilen numunenin ortasına oyuk açma aparatı ile bir yarık açılmıştır ve Casagrande aletinin kolu, saniyede 2 düşüş yapacak şekilde çevrilerek yarıkta 1 cm kapanma meydana gelince alet durdurularak vuruş sayısı kaydedilmiştir.



Şekil 3.7: Likit limit deneyinin yapılışı

Numuneler kapanmanın bulunduğu bölgeden alınmıştır. Her deneyde 25 vuruş sayısına denk gelen su muhtevaları belirlenmiştir; farklı her vuruş için alınan örneklerin ağırlığı kaydedilmiş ve etüvde 110 °C'de 24 saat bekletilerek kuruması sağlanmış, kurumuş numunelerin her birinin ağırlığı kaydedilerek su muhtevaları hesaplanmıştır. Her vuruşa karşılık gelen su muhtevaları tablolara geçirilmiş ve 25

vuruşa karşılık gelen su muhtevaları bulunarak likit limitleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Avanos kilinin likit limit değerinin %61olduğu bulunmuştur.



Şekil 3.8: Likit limit değeri grafiksel gösterimi



Şekil 3.9: Alınan numune örnekleri

Diğer bir kıvam limiti olan plastik limit ise, ıslanmış zemin numunesinin karıştırılmasından sonra uzun şeritler haline getirilen numunelerin yüzeyinde çatlak oluştuğu andaki su muhtevası değeridir. Diğer bir deyişle zemin numunesinin yarı katı durumdaki halinden plastik hale geçtiği andaki su içeriğine karşılık gelir.

Plastik Limit (PL) deneyi için yine 40 nolu elekten geçen kırmızı Avanos kili kullanılmıştır. Kil içerisine bir miktar su ilave edilip karıştırılmıştır. Numunenin su

iletamamıyla karışması sağlandıktan sonra pürüzsüz düz bir zemin üzerinde şeritler haline getirilir. Bu şeritleri yuvarlama işlemine şeritler birbirinden kopana dek devam edilir. Kopma işlemi gerçekleştikten sonra kopan parçalar bir kaba konularak etüvde kurutulması sağlanır. Kuruduktan sonra kil numunenin plastik limit değerindeki su muhtevası değeri belirlenir ve bu işlem 3 kez tekrar edilir.



Şekil 3.10: PL için kil numunenin şerit haline getirilmesi

3.2.2 Standart proktor deneyi

Zeminlerde çatlakların oluşum hız ve geometrisinin oluşmasında zeminin sıkılık ve bütünlük yapısının da etkisi gözardı edilemez. Çatlama öncesinde zemin yüzeyinde mevcut olan çekme çatlaklarındaki kopma gerilmeleri sıkılık arttıkça daha yüksek değerlerde çatlak oluşumunu tetikleyebilirler. Bu bakımdan zeminin sıkılık mertebelerinin ve sıkışma esnasında ortama katılan su miktarının saptanması gereklidir. Bu amaçla Avanos kili üzerinde Standart Proktor Deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler farklı lastik iplikçiklerin karışım oranları için tekrarlanmıştır. Standart Proktor Deneyi Zemin tanelerini birbirine yaklaştırılması ve aralarındaki hava boşluklarının azaltılması sonucu daha sıkı bir yerleşime sahip olmalarını sağlar. Numunelerin mühendislik özelliklerini ve optimum su muhtevasını belirlemek için standart proktor deneyi yapılır ve bunun sonucunda elde edilen su muhtevası – kuru birim hacım ağırlık eğrisinden optimum su muhtevası belirlenir.

Teorik olarak deneyde kullanılan karışım miktarı kalıbı doldurmaya yetmelidir fakat uzatıcı çıkarıldıktan sonra kesilip atılacak fazla zeminin yüksekliği 6 mm'yi aşmamalıdır. Uzatıcı çıkarılır, sıkıştırılmış zemin cetvelle kalıbın üst kenarı düzeyinde düzlenir. Sıkıştırılmış zemin, kalıptan çıkartılıp büyük bir metal kaba konur. Zeminin tümünü yansıtan bir numune alınarak su içeriği tespit edilir. Böylece elde edilen

numune, uygun artımlarla su eklenip karıştırılır ve her defasında, yukarıdaki işlemler tekrarlanır. Deney en az 5 değer elde edilinceye kadar tekrarlanmalı ve kullanılan su içerikleri, maksimum kuru birim ağırlığı veren optimum su içeriğini içine alan sınırlar arasında değişmelidir.

Bir dizi yapılan deney sonucunda elde edilen, numunenin kuru birim ağırlığı (φ_k) ve bunlara karşılık olan su içeriği değerleri, bir grafik üzerinde işaretlenir. Elde edilen noktalar arasından düzgün bir eğri çizilir ve bu eğri üzerindeki maksimum değer bulunur. Bu değere karşılık gelen su içeriğine optimum su içeriği denir.

Hacmi ve ağırlığı bilinen proktor kalıbına 3 tabaka halinde başlangıçta 5000 gr alınan kuru numune ağırlığının yaklaşık olarak %20 sine tekabül eden su miktarı ile homojen karıştırılmış olan zemin örneği yerleştirilmiştir. Deneyde elektronik Standart Proktor aleti (Şekil 3.11) kullanılmıştır. 2114.73 hacmindeki kabın içine yerleştirilen numuneye 30,5 cm yükseklikten 2.5 kg ağırlığındaki tokmak 25'er kez vuruş yaparak sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra sıkıştırılan numuneler tartılmış ve su muhtevasının belirlenmesi için üst kısımdan bizim için gerekli olan miktarda numune alınmıştır. Bu işlem başlangıçta kuru numuneye göre hesaplanan su miktarının yaklaşık olarak %2 arttırılarak 5 yada 6 nokta için tekrar edilmiştir ve su muhtevası – kuru birim hacim ağırlığı eğrisinden maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevası belirlenmiştir.



Şekil 3.11: Standart Proktor Deney aleti

Standart Proktor deneyi ile belirlenen numunelerin optimum su muhtevaları %20-25 arasında, maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ise 1.5-1.7 gr/cm3 arasında değişmektedir. Tüm numunelere ait Standart Proktor deneyi sonucu belirlenen proktor sonuçları EK A-B-C-D-E'de verilmektedir. Şekil 3.12 de standart proktor deney aletinde 3 tabaka halinde sıkıştırılmış numuneyi çeşitli işlem adımları gösterilmektedir.



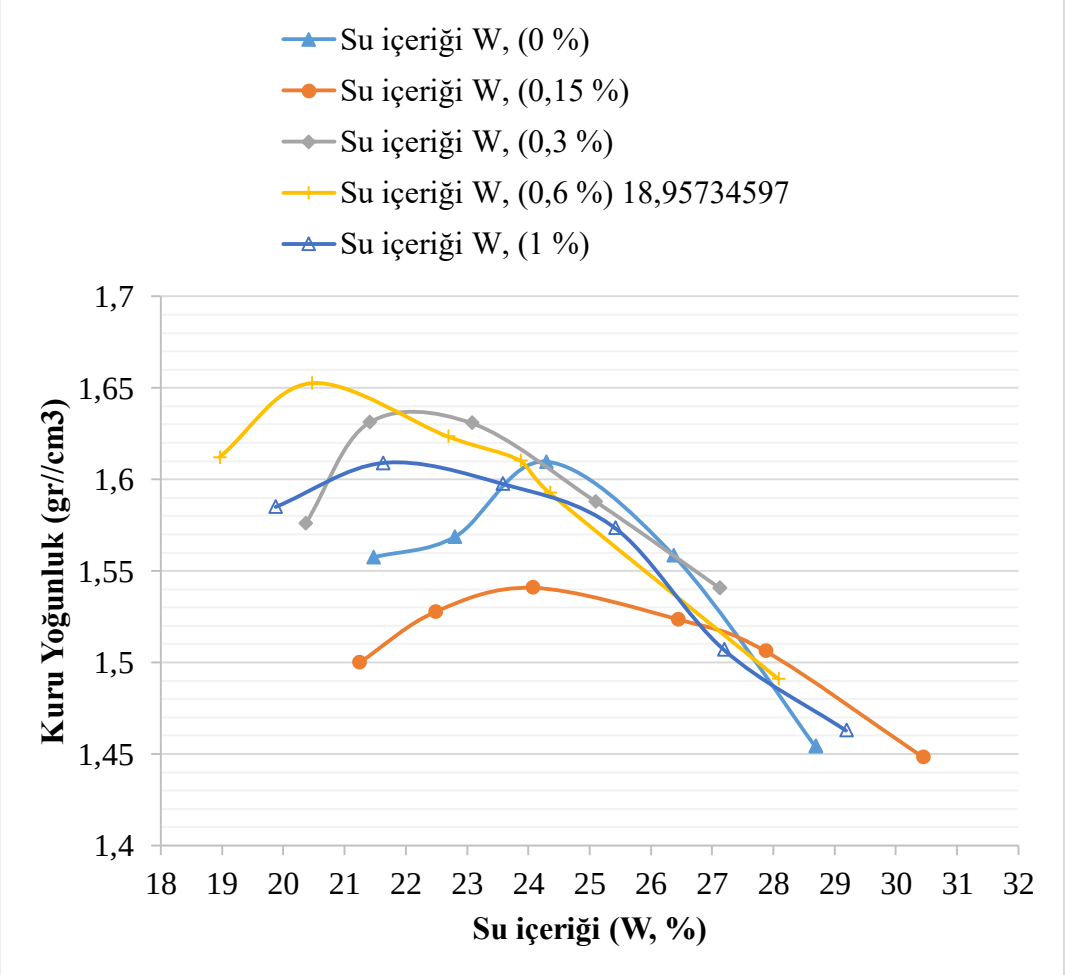
Şekil 3.12: Numunenin hazırlanma aşamaları

Lastik parçacıkları olmaksızın Avanos kil numunesi üzerinde standart proktor deneyi yapılmıştır. Yapılan standart proktor deneyi sonucunda optimum su muhtevası %24.3 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.610 gr/cm^3 olarak bulunmuştur. Avanos kilinin içerisine %0.15, %0.30, %0.60 ve %1 oranlarında lastik parçacıkları katılarak hazırlanmış numuneler üzerinde de ayrı ayrı standart proktor deneyleri yapılarak lastik parçacıklarının katkısının optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığa etkisi araştırılmıştır. Avanos kiline %0.15 oranında lastik parçacıklarının karıştırılması ile elde edilen karışımın proktor deney sonucunda ise optimum su muhtevası %24.1 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.541gr/cm3 olarak bulunmuştur. Avanos kiline %0.30 oranında lastik parçacıklarının karıştırılması ile elde edilen karışımın proktor deney sonucunda ise optimum su muhtevası %21.4 ve

maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.631gr/cm3 olarak bulunmuştur. Avanos kiline %0.60 oranında lastik parçacıklarının karıştırılması ile elde edilen karışımın proktor deney sonucunda ise optimum su muhtevası %20.5 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.653 gr/cm3 olarak bulunmuştur. Son olarak Avanos kiline % 1 oranında lastik parçacıklarının karıştırılması ile elde edilen karışımın proktor deney sonucunda ise optimum su muhtevası %21.7 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.609gr/cm3 olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.3: Su muhtevası ve kuru yoğunluk değerleri

Lastik İçeriği (%)	Optimum Su İçeriği (%)	Maksimum Kuru Yoğunluk (gr/cm^3)
0,00%	24,286	1,61
0,15%	24,074	1,541
0,30%	21,401	1,631
0,60%	20,463	1,653
1,00%	21,628	1,609

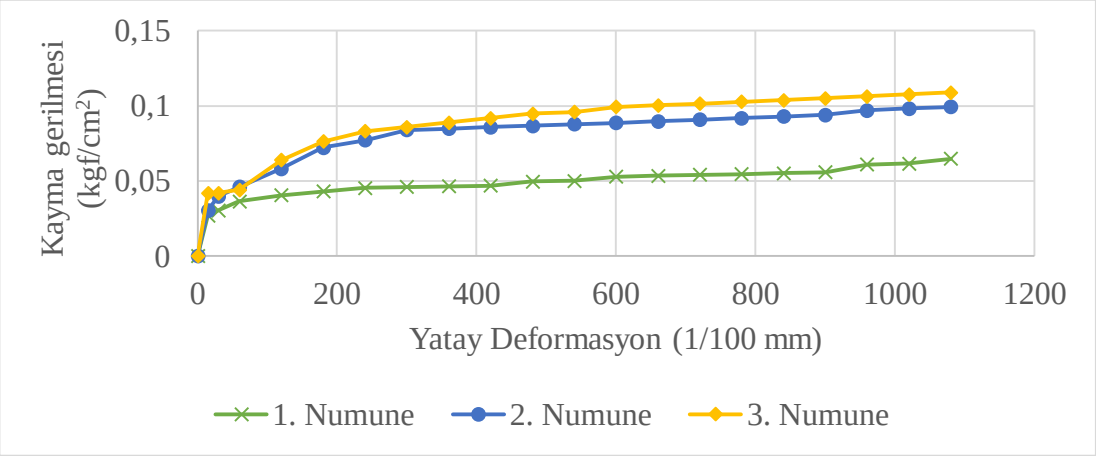


Şekil 3.13:Çeşitli lastik içeriklerindeki su muhtevasına göre kuru yoğunluk grafiği

3.2.3 Kesme kutusu deneyi

Numunelerin kayma mukavemeti parametrelerini saptamak için bir dizi kesme kutusu deneyi gerçekleştirilmiştir. Kesme kutusu deneyi kohezyonlu veya kohezyonsuz zeminlerin her ikisinde de kullanılabilir. Bu deneydeki esas gaye zeminin kayma direnci (c) ve kayma açısı (ϕ) belirlemektir. Özellikle ince daneli zeminler için önemli ve gerekli bir deneydir.

Deney sonucunda elde edilen değerler ile $\tau - \varepsilon$ eğrisi çizilerek maksimum kayma belirlenir. Şekil 3.14 de %0.6 katkılı kile ait olan $\tau - \varepsilon$ eğrisi verilmiştir.



Şekil 3.14: %0.6katkılı kile ait $\tau - \varepsilon$ grafiği

Belirlenen noktalara ait $\sigma - \tau_{max}$ grafiği çizilir ve grafik eğiminden ϕ bulunur. Deneyin yapım aşaması ise şu şekilde gerçekleşmektedir; öncelikle kare kutunun içerisine sadece su geçişini sağlayabilecek olan ince gözenekli poroz taş yerleştirilmiştir. Poroz taş üzerine ise çıkıntılı plaka olarak adlandırılan hem alttan hem üstten numuneyi kavramasını sağlayan parça yerleştirilmiştir. Daha sonra standart proktor deneyi sonucunda elde edilen optimum su muhtevasına değerlerine göre numuneler sıkıştırılmış numunelerin her biri ayrı ayrı olarak yerleştirilmiştir. Numune üzerine 2 4 ve 6 kg'lık yük uygulamaları yapılarak değerlerin okunması yapılmıştır. Kuvvet halkası aynı değeri göstermeye başlayıncaya dek deneye devam edilmiştir. Fakat deneye başlamadan önce deformasyon saatinin ve yük halkasının sıfırlanmış olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. 5 farklı lastik içeriğinde kesme kutusu deney sonuçları Ek 6, 7, 8, 9 ve 10 da verilmiştir.

Uygulanan kesme kuvveti altında düzeneğin alt parçası sabit tutulurken üst parçası yatay bir düzlem üzerinde hareket edebilmekte ve numunenin ortasında geçen yatay bir düzlem boyunca numune kesilmeye zorlanmaktadır. Gittikçe artan kesme

kuvvetine karşı zemin örneği önce karşı bir direnç gösterir ve sonunda iki halkayı ayıran yatay düzlem boyunca kesilme oluşur. Kesilme meydana geldikten sonradeneye son verilir. Zeminin kesilme yükü τ_{max}kaydedilir ve numune alanına bölünerek nihai kayma gerilmesi elde edilir (TS 1900-2).

Deneylerde hesaplanan gerilmeler;

Normal gerilme (Hücre basıncı) σ = Uygulanan Normal Kuvvet / Kesme Alanı (kg/cm^2)

Kesme gerilmesi τ = Uygulanan Kesme Kuvveti / Kesme Alanı (kg/cm^2)

Çizelge 3.4: Kesme kutusu deney sonuçları

Lastik İçeriği (%)	**Kohezyon (c)**	**İçsel sürtünme açısı (ϕ)**
0,00%	0.41	3.1°
0,15%	0.38	3.8°
0,30%	1.91	3.2°
0,60%	0.83	4°
1,00%	0.65	4.2°

Boşluk oranı azaldıkça, rölatif sıkılık arttıkça, içsel sürtünme açısı (ϕ) artmaktadır. İçsel sürtünme katsayısı ayrıca zeminin iyi veya kötü derecelenmiş olmasına ve dane şekline bağlıdır. Kesme değerlerinin belirlenmesi, dolayısıyla deneyin sonuç vermesi için yukarıda belirtildiği gibi üç farklı düşey basınç altında kesme deneyi yapılır. Deney sonucunda elde edilen normal ve kesme gerilmeleri ile $\sigma - \tau$ grafikleri oluşturulur. Bu grafikte, doğrunun ordinatı kestiği nokta kohezyon (c), apsis ekseniyle yaptığı açı ise içsel sürtünme açısını verir (ϕ) (TS 1900-2).



Şekil 3.15: Kesme kutusu deney numuneleri

4. DENEY AŞAMALARI VE SONUÇLARI

4.1 Karışımın Hazırlanması ve Sıkıştırılması

Bagchi, (1994)'e göre; optimum likit-limit su içeriğinde sıkıştırılmış zeminler daha düşük hidrolik iletkenliğe sahipken, optimumiçeriğinde sıkıştırılan zeminler nispeten daha yüksek hidrolik iletkenliğe sahip olma eğilimindedir.Kompaksiyon uygulaması ile sıkıştırılmış kil tabaklarının hidrolik iletkenliği ile, maksimum kuru yoğunluğu ve optimum su muhtevası arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Bu bakımdan katkı malzemeleri ile iyileştirilen zeminlerin kompaksiyona maruz tutulmalarında büyük yarar vardır. Hâlihazırda; ülkemiz ve dünyada fiber iplik katkılı zeminlerin katkı oran ve sıkıştırma niteliklerini ele alan herhangi bir yönerge veya standart tanımı yoktur. Bu nedenle karıştırma ve kompaksiyon işlemleri iyileştirilmiş bir zeminde uygulanan sürece benzer olarak gerçekleştirilmiştir.

Deney aşamasında kullanılacak 40 numaralı elekten geçmiş olan kil malzeme etüvde 1 gün süreyle kurutulmuş ve bünyesinde nem kalması engellenmiştir. Proktor deneyi sonucunda herbir lastik içeriğine karşılık gelen su muhtevası değerlerinde numuneler hazırlanmıştır. 30x18x10 boyutlarındaki cam kaplara yerleştirmek için yaklaşık 3500 gr kuru numune alınmıştır. Kuru numunenin ağırlığınca katılacak olan su miktarı belirlenmiştir. Diğer taraftan ve yine kuru numune miktarına göre karıştırılacak olan lastik lastik miktarı da belirlenmiştir. Su miktarını hesaplanırken, ortamın kuruluğu ve olası buharlaşma ihtimalleri göz önünde tutularak, optimum su muhtevası değerlerine %3 ilave edilerek su miktarı belirlenmiştir. Sayısal değeri hesaplanan miktarda hazırlanan malzemeler birbirlerine karıştırılmış ve darası alınmış cam kaplara yerleştirilmiştir. Zamanla su muhtevası değişim değerlerini hesaplayabilmek amacıyla çatlama gözlemi yapılacak olan numune kapları dışında yine cam kaplara referans numuneler hazırlanmıştır. Şekil 4.1 de yukarıda dile getirilen işlemler sırasıyla gösterilmiştir. Kurumaya bırakılmak üzere hazırlanmış olan numuneler, çatlak gözlemlerini yapabilmek amacıyla kurumaya bırakılmıştır. Deney süresince kuruma tamamen nihayet bulana kadar, deney ortamının sıcaklık ve nem değerleri kaydedilmiştir. Çatlak değişimini gözlemlemek için günde bir sabah ve bir akşam olmak üzere 2 kez yakın ölçek dijital fotoğraflama ile ölçüm alınmıştır. Toplamda bu işlemler yaklaşık olarak 5 hafta gibi bir süre devam edilmiştir. Deney süreci boyunca elde edilen görüntüler üzerinde bilgisayar ortamında yazılan bir kod yardımı ile

analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Bölüm 5.2 de görüleceği üzere çizelgeler olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Numunelerin hazırlık aşamaları

4.2 Islanma-kuruma döngüsü

Bu safhada yapılan çalışmanın ana amacı kuruma çatlakları üzerinde ıslanma-kuruma döngülerinin etkisini anlamak içindir. Bunun için 5 farklı fiber lastik içeriğinde optimum su muhtevasından karıştırılarak hazırlanmış olan numuneler için toplamda 5 ıslanma-kuruma döngüsüne maruz bırakılmıştır. Numunelerin günlük olarak ağırlık değişimi tartılarak ölçülmüştür. Numunelerin gün içerisindeki ağırlık kayıpları 5-10 gr arasında değiştiği tespit edilmiştir. 24 saatlik ağırlık kaybının ise 40-60 gr olarak

ölçülmüştür. Numunelerde ki günlük su muhtevası değişim değerleri ise %1-%5 arasında değiştiği yine yapılan ölçümler sayesinde tespit edilmiştir.

İlk ıslanma-kuruma döngüsü periyod olarak en uzun süreye sahip olan döngü olmuştur ve yaklaşık olarak 6 gün gibi süre birinci döngünün çatlak gözlemleri izlenmeye devam edilmiştir. Başlangıç su muhtevası değerine göre gün sayısı ilerledikçe sıcaklık ve buharlaşmanın etkisiyle su muhtevası değeri giderek azalmıştır. Numune yüzeyindeki kurumanın sonlandığının saptandığı durumunda döngüye son verilip bir sonraki döngü takip edilmiştir. Tekrar eden döngüleri hazırlamak için gerekli olan su muhtevası bir önceki su kaybı miktarı dikkate alınarak belirlenmiştir. Yine döngü sayısı arttıkça her bir döngüdeki ölçüm süresi de nisbi olarak kısalmıştır. Şekil 4.5 de katkısız kil (%0) içeriğine ait olan eğrileri incelediğimizde birinci döngü için yaklaşık olarak %26 lık bir su muhtevası değeri tespit edilmişken beşinci döngüde bu değer %23 lere kadar gerilemektedir. Tüm numunelere ait grafiklerde Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 da benzer bir şekilde bir değişimi ifade etmek mümkündür. Yani döngü sayısı numunenin su emme kapasitesini düşürmektedir. Döngü sayısı arttıkça zeminin su emme kapasitesinin düşmesi eklenen su miktarını arttırırken, teorik olarak bu olayın zemindeki geçirgenliği de arttıracağı söylenebilir.

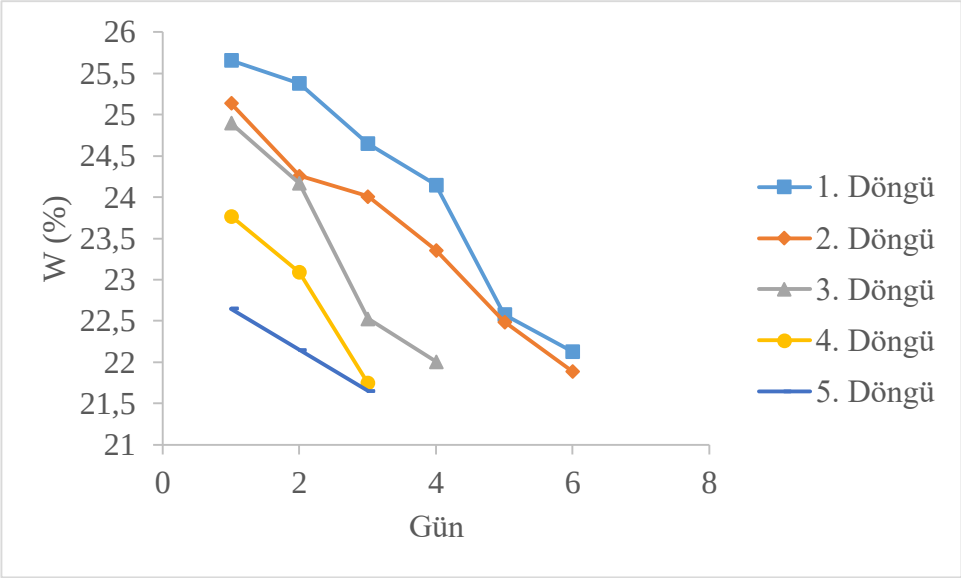
Deney kapsamında, ıslanma-kuruma döngülerindeki numunelerin hazırlanmasında kullanılan su miktarı ise şöyle belirlenmiştir. Öncelikle her bir numunenin günlük su muhtevası değişim değerleri ölçülmüştür. Şekil 4.5-şekil 4.9 arasındaki şekillerde bu değerlerin grafikleri verilmiştir. Döngüye başlayacağımız gündeki su muhtevası değerinden bitirdiğimiz döngünün başlangıç su muhtevası değerlerinin farkı alınmıştır. Kapta bulunan kuru numune miktarına göre katılacak su miktarı belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen miktardaki su numunelerin yüzeyine Şekil 4.4 de görüldüğü gibi belirli bir yükseklikten miktarı önceden belirlenmiş olan su püskürtülmüştür. Ardından numune yüzeyleri spatula yardımıyla düzeltilip tekrar kurumaya bırakılmıştır. Döngüler için aynı işlemler tekrar edilmiştir.

Çatlakların kesişme, boy, derinlik karmaşıklık düzeyleri gibi geometrik özellikleri ilk üç döngü sürecince, önemli ölçüde değişmiştir ve üçüncü döngüden sonra değişiklikler daha az belirgin hale gelmiştir. Bu çalışmada da ifade edildiği gibi döngü sayısı arttıkça numune yüzeyindeki çatlaklar daha kılcal bir çatlak halini almaya başlamıştır ve derinlikleri sığlaşmıştır.

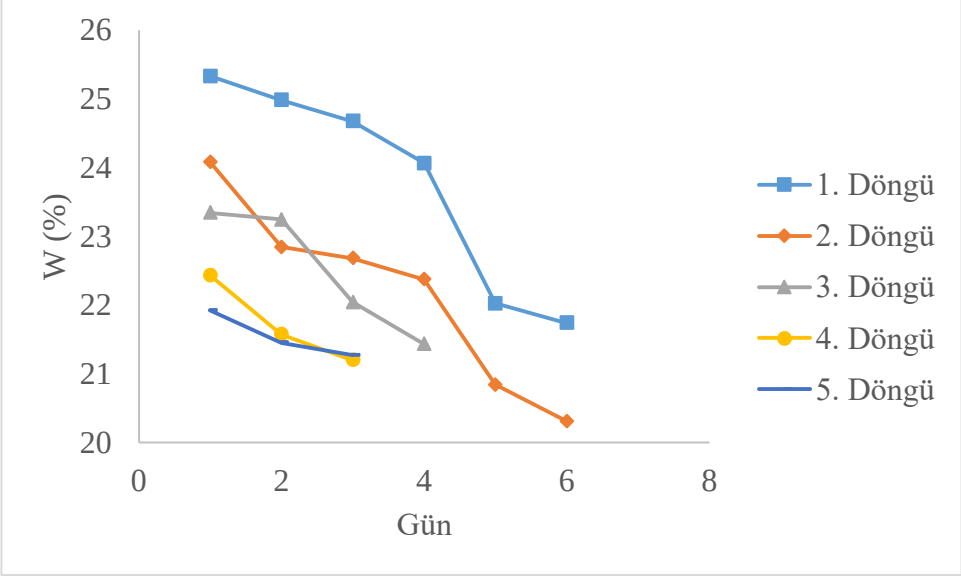
Ayrıca yine şekilleri incelediğimizde lastik fiber içeriği arttıkça su muhtevası değişimi diğer numunelere kıyasla daha doğrusal bir yol izlemiştir. Örneğin %0,15 lastik içeriğine ait olan Şekil 4.6 yı incelediğimizde su muhtevası değişimde anlamlı bir sonuç elde edilememiştir. Yani numune davranışında zaman ve su muhtevası içeriği ile çatlama ilişkisi arasında bir tutarlılık yoktur fakat Şekil 4.9 baktığımızda ise su muhtevası değişim değerleri daha anlamlı bir değişim göstermektedir. Bu noktada denilebilir ki, lastik içeriğinin artmasıyla birlikte numunelerin döngüleri de dikkate alınarak döngü sayısı arttıkça su muhtevasını değerinin doğrusal olarak azaldığı genellemesine varmak mümkündür. Yani lastik içeriğinin artması numune içerisinde bulunan malzemelerin bağımsız bir davranış sergilemesinden ziyade birbirine bağımlı olarak hareket etmesine yol açar.



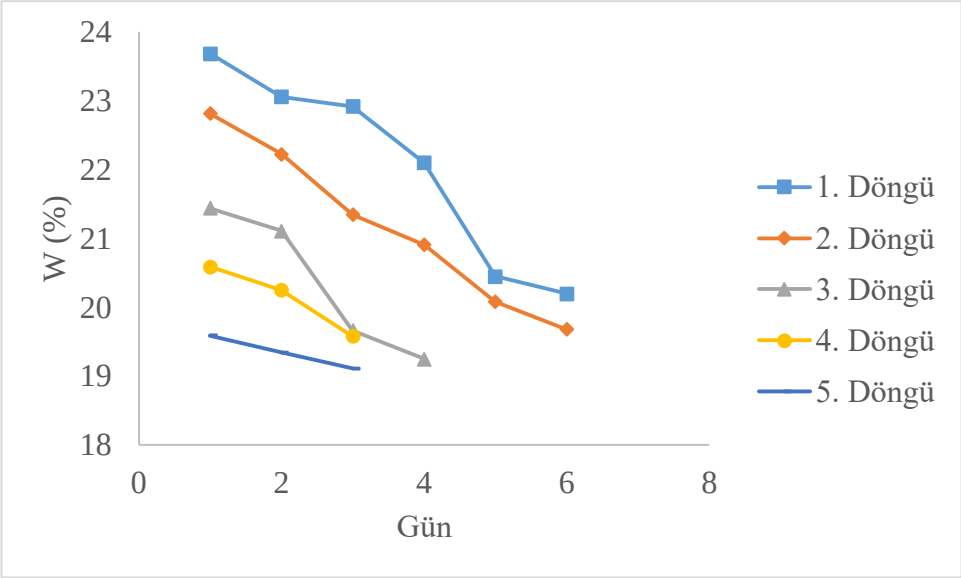
Şekil 4.2: Islatma aşaması



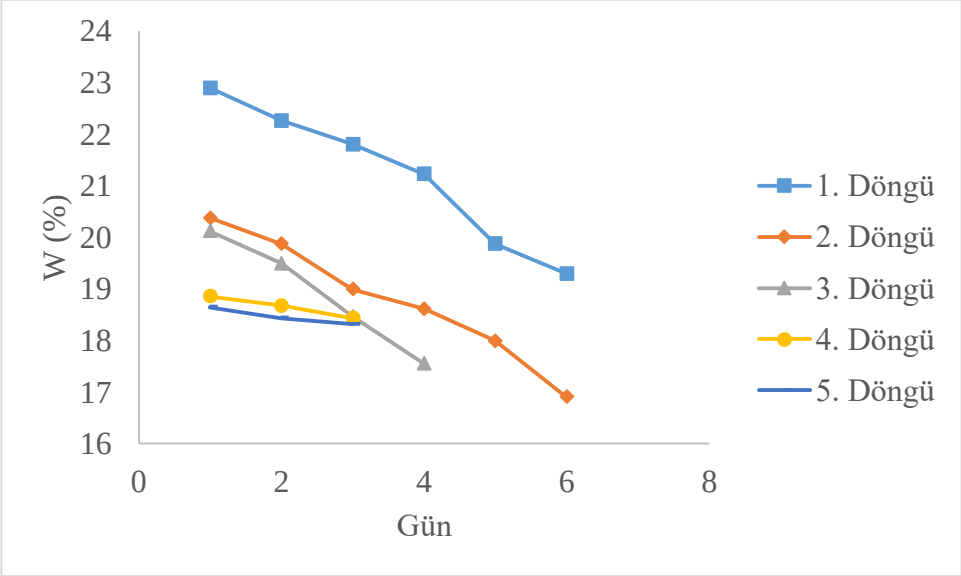
Şekil 4.3: Katkısız (0 %) Avanos Kilinin günlük su muhtevası değişimi



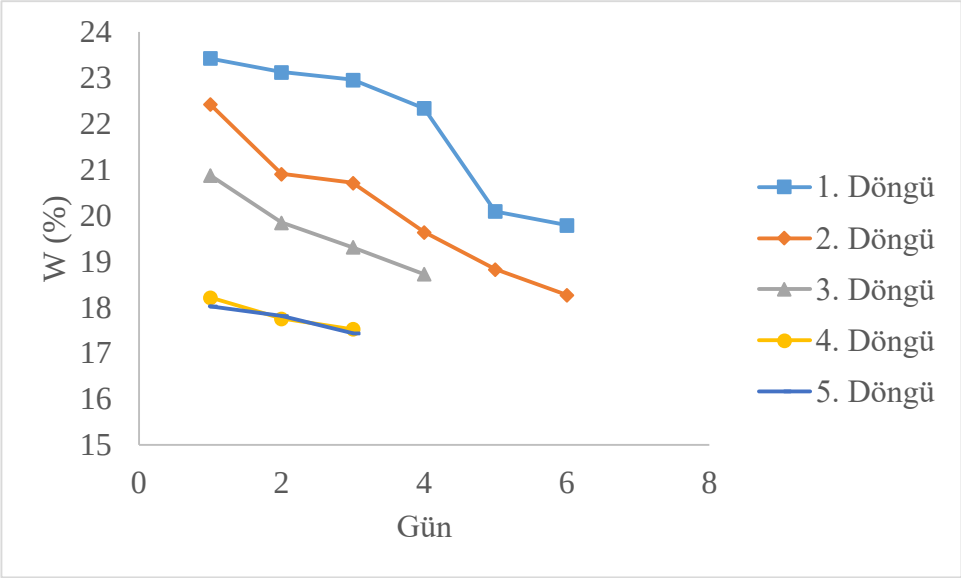
Şekil 4.4:0.15 % katkılı kil içeriğinde günlük su muhtevası değişimi



Şekil 4.5:0.30 % katkılı kil içeriğinde günlük su muhtevası değişimi



Şekil4.6:0.60 % katkılı kil içeriğinde günlük su muhtevası değişimi



Şekil 4.7: 1 % katkılı kil içeriğinde günlük su muhtevası değişimi

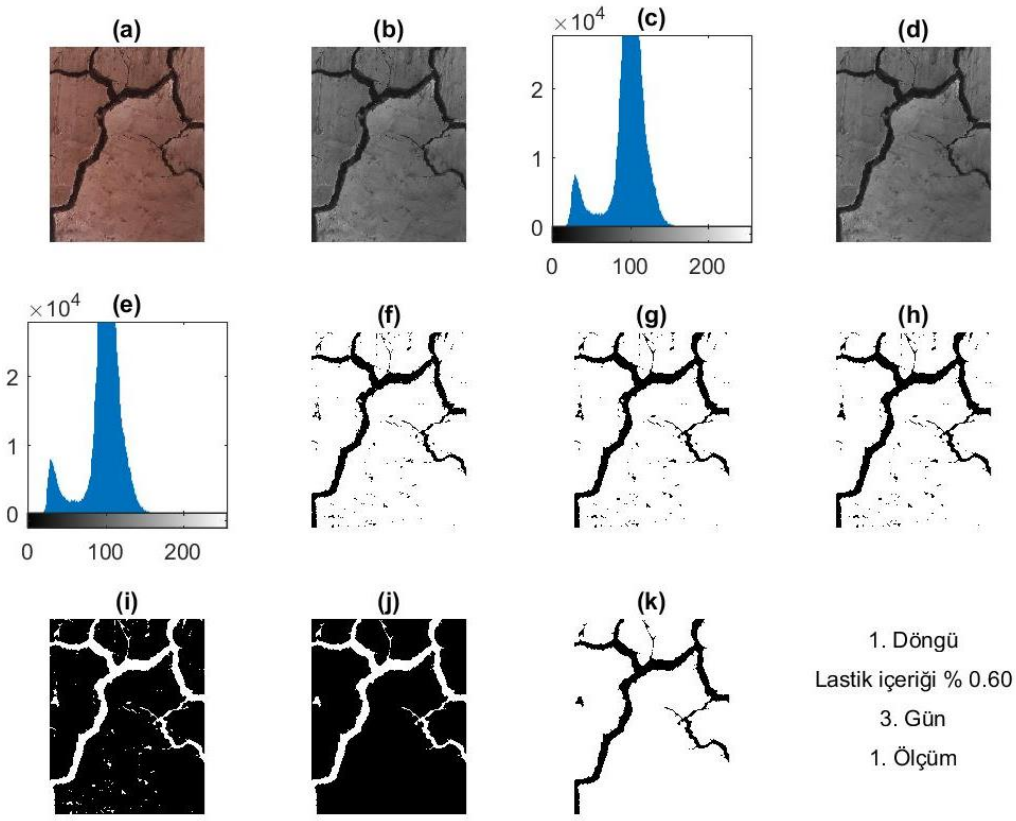
5. ÇATLAMANIN İZLENMESİ

Kuruma çatlakları gözle görülebildiği gibi fotogrometrikyöntemlerle de tespit edilebilir. Çatlak yapılarının düzensiz şekillerde, mikro ölçekli çatlaklarda ve karmaşık modellerinin olması çatlak tespit etme sürecinde hata yapılmasına sebep olabilir. Bu nedenle daha etkin analizler yapabilmek için özel yazılım programlarından yararlanılır.

Deney süresince yapılan fotoğraflamalarla;elde edilen çatlakgeometrilerini toplam yüzey alanı kesitindeki, çatlaksayıları ve çatlak kesişimlerinin açısal birleşimlerinin ölçümlenmesi gereklidir. Bu noktada kullanılan yöntem, çatlak genişliği ve toplam çatlak alanının toplam deney yüzey alanına oranına bölünerek karşılaştırılması prensibidir. Çatlağın genişliği ve derinliği çatlağın uzunluğu boyunca uniform değildir. Bu bakımdan, çatlağın geometrik özellikleri belirlemek için, Eşitlik (5.1)'de görüleceği gibi çatlak yoğunluk faktörü (CIF), birim alandaki kesişimlerin sayısı, birim alandaki çatlak bölümlerinin sayısı, ortalama çatlak genişliği ve ortalama zemin parçası olarak ölçülmelidir.

5.1 Görüntü işleme

Çatlak yoğunluk faktörü (CIF) çatlaklarının alanının (Ac) , görüntünün toplam yüzey (At) alanına oranı olarak tanımlanır. Bu alanlar kuruyan zeminin fotoğrafları kullanılarak belirlenir. Kuruyan zeminin yüzey fotoğraflarında çatlaklar çatlamamış zeminin yüzeyinden daha koyu olarak çıkması beklenir. Bu bakımdan, CIF faktörünü elde etmek için her bir numunedeki çatlakların genişliğini bilgisayar ortamında yazılan bir kod yardımı ile elde edilmiştir. Her bir numunedeki çatlak çizgilerinin sayısı kurumuş numunelerin renkli görüntüleri bilgisayar ortamında yazılan bir yazılımla tek renkli (siyah-beyaz tonlarında) görüntüye dönüştürülmüştür. Çatlağın toplam uzunluğu ve genişliği programdan piksel olarak elde edilmektedir. Kurumuş bir numunedeki toplam çatlak uzunluğu ve genişliğinin piksel sayısı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar bölüm 5.2 de verilmiştir. Şekil 5.1 de ise bilgisayarda analiz sonucu elde edilen görüntüler verilmiştir.



Şekil 5.1:Görüntüişleme
a) Orijinal görüntü b) Gri tonlamalı görüntü c) gri tonlama histogramı d) morfolojik kapamadan sonraki görüntü e)gri tonlama histogramı f)ikili görüntü g) morfolojik açmadan sonraki görüntü h) 1000 pixel in altındaki beyaz alanların yok edilmesi i) görüntünün tamamlanması [beyaz alanların siyah siyah alanların beyaz olması] j) 1000 pixel in altındaki beyaz alanların yok edilmesi k) görüntünün tamamlanması

5.2 Çatlama testi sonuçları

Çatlaklar rastgele dağılmış fiberler ile güçlendirilmiş durumları dikkate alınarak saptanmıştır. Bu rastgele ilave edilmiş olan fiberler zeminin çekme dayanımında artış sağlanmasına neden olur. Belli bir yüzdeye kadar lastik fiber ilave edilmiş zeminlerde çekme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir ve sadece dayanımda değil aynı zamanda zeminin gerilme-şekil değiştirme davranışında önemli değişimlere sebep olur. Görüntü analizi yüzeyin çatlak modelinin nitel ve nicel olarak tanımlanabilmesi için güçlü bir araçtır.Çatlak yoğunluk faktörünü (CIF) yüzeysel çatlamanın bir ölçüsünün tanımlanması olarak ifade etmişledir (Eş. 5.1).

$$CIF=A_C/A_T \qquad (5.1)$$

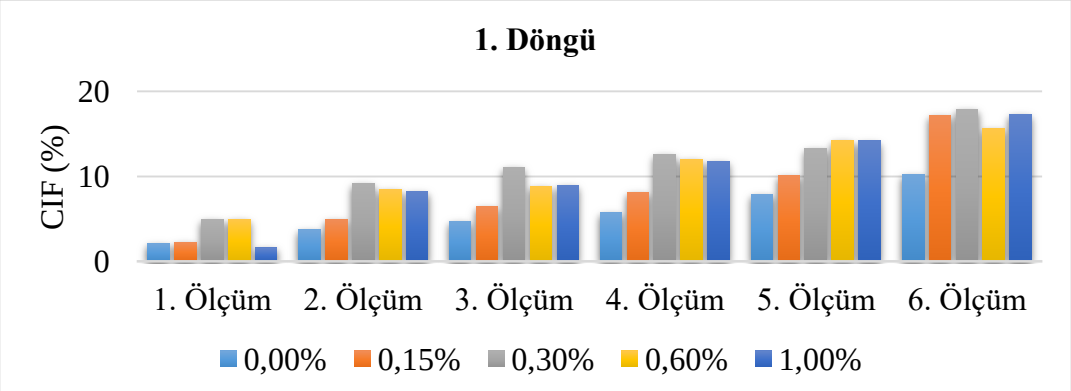
A_C = Çatlağın yüzey alanı

A_T = Görüntünün toplam yüzey alanı

Çizelge 5.1: Analiz sonucunda elde edilen CIF değerleri

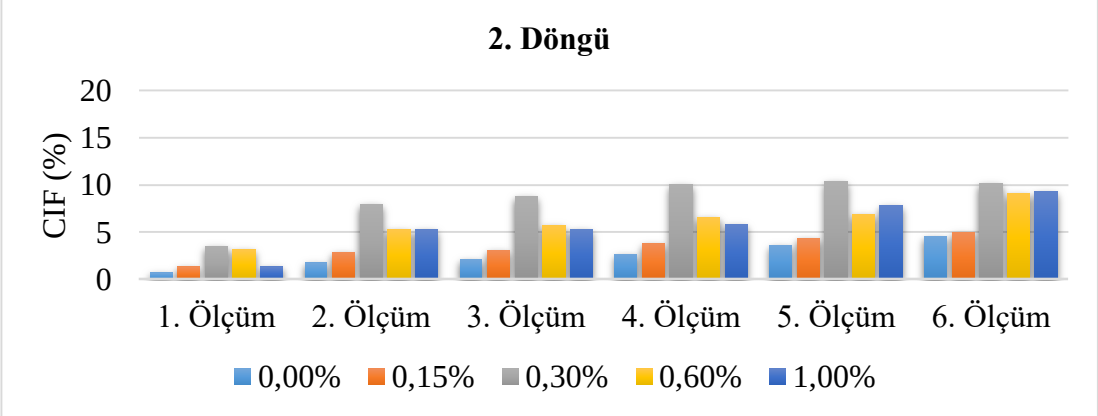
	Ölçüm No	Katkı Oranları					
		0.00%	**0.15%**	**0.30%**	**0.60%**	**1.00%**	
1. Döngü	1	2.1437	2.2646	4.9515	5.0325	1.5695	
	2	3.6894	4.9361	9.1441	8.4873	8.2199	
	3	4.7817	6.4046	11.0977	8.8463	9.0077	
	4	5.7644	8.1748	12.5874	12.0079	11.8108	
	5	7.9491	10.1084	13.3111	14.2647	14.1721	
	6	10.3126	17.2068	17.8862	15.7121	17.3588	
2 Döngü	1	0.6896	1.2938	3.5115	3.1599	1.3001	
	2	1.7358	2.8971	7.9689	5.2693	5.2242	
	3	2.1213	3.0574	8.7916	5.6333	5.3275	
	4	2.7004	3.7863	10.0572	6.5712	5.7870	
	5	3.6551	4.2924	10.3697	6.8490	7.8097	
	6	4.5759	4.9364	10.1196	9.0490	9.2350	
3. Döngü	1	1.9305	2.0390	2.7995	3.0233	1.7203	
	2	2.5257	1.6282	9.1238	5.6351	3.0574	
	3	2.6773	1.1880	10.0398	7.3298	2.8249	
	4	2.8650	3.7746	12.5548	10.1773	4.7725	
4. Döngü	1	0.8620	1.3119	4.4520	2.8046	0.9851	
	2	2.0781	2.7125	9.2515	6.1605	4.7604	
	3	2.9601	3.3486	9.4484	7.0904	6.0278	
5. Döngü	1	1.8831	2.1503	5.7862	5.1572	5.7297	
	2	2.4176	2.6433	9.5432	7.0776	4.5935	
	3	3.0923	3.6383	10.3367	7.0642	3.7939	

Deneysel çalışmalarda her bir döngü için ıslanma kuruma periyotları sürecinde meydana gelen çatlaklar fotogrometrik yöntemler ile saptanmıştır.



Şekil 5.2: Bütün katkı oranlarına göre 1. Döngünün ölçümlerindeki CIF değerleri

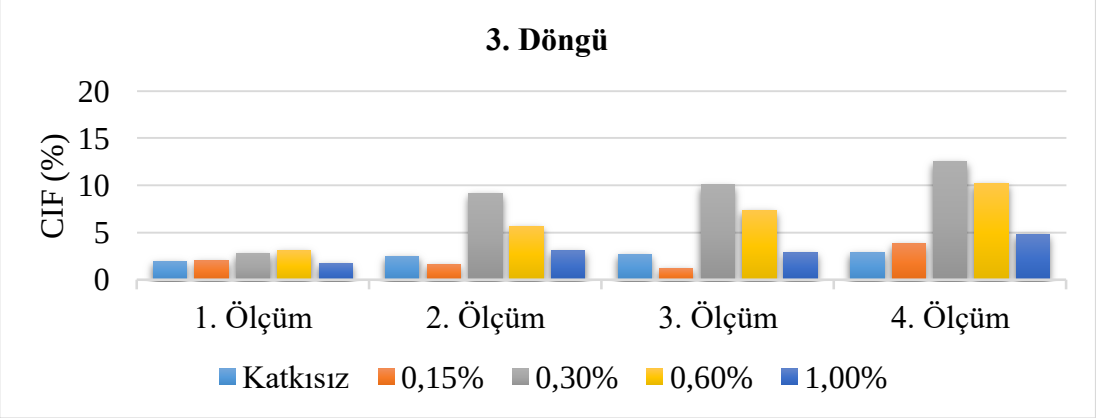
Şekil 5.2'de; bakir ıslanma süreci ile başlayan ilk seri deney verileri görülmektedir. Birinci ıslatma-kuruma döngüsünde; lastik içeriği fazla olan numunelerde çatlak oluşumu daha fazla oluştuğu görülmektedir. İlk aşama kurumada fiber katkılarında çatlak oluşumunun diğer döngülerle kıyaslandığında daha fazladır. Bunun nedeni olarak diğer kuruma döngülerinde kil iskelet yapısının daha bütüncül bir yapıya kavuşarak fiber malzemenin yeni iskelet yapısındaki ortamda kompozit yapıya daha fazla uyum sağlaması olarak düşünülmektedir. Bu sayede fiber iplikçikler çatlama esnasında ortamda oluşan çekme gerilmelerini karşılamakta daha etkin bir rol üstlenebilmektedir. Deneylerde ikinci ve üçüncü kuruma aşamalarında daha hızlı bir kurumasüreci saptanmıştır. Kurumanın yalnız çatlak oluşumu ile değil aynı zamanda deney süreci boyunca; günde iki kez numune alınmasıyla günlük yaklaşık ortalama su muhtevası kaybı ile de saptanmıştır.



Şekil 5.3:Bütün katkı oranlarına göre 2. Döngünün ölçümlerindeki CIF değerleri

Numunelerin ikinci seri deneyler şekil 5.3'te görülmektedir. Çatlama olayı ise ilk olarak katkısız kil numuneden elde edilmiştir. Bu açıdan katkılı kil malzemesinin çatlama adımında daha geriden ve daha küçük aralıklarla meydana geldiğini söylemek mümkündür. Numunelerin hazırlanmasının ertesi gününde ise çatlak oluşumu önemli derecede artmıştır ve neredeyse numuneler kuruma düzeyine ulaşmışlardır. Bu aşamada göz çarpan en önemli farklılık, lastik içeriği arttıkça çatlaklar daha kılcal ve boylarının ilk kuruma adımına göre nispeten daha kısa olduğunun gözlemlenmesi olmuştur. Fiber malzeme iplikçiklerinin yüzey alanları boyunca ortamdan suyun uzaklaşmasında kısmi bir drenaj görevi gördüğü düşünülmektedir. İplik yapıların ortamda dağınık halde bulunması kil iskelet yapısında süreksizlikler oluşturmasına bu sayede ise süreksizlik kesitlerinde su buharlaşmasının daha hızla meydana gelmesine olanak sağladığına inanılmaktadır. Bu teoriye sebep olan deney sonuçlarından biri

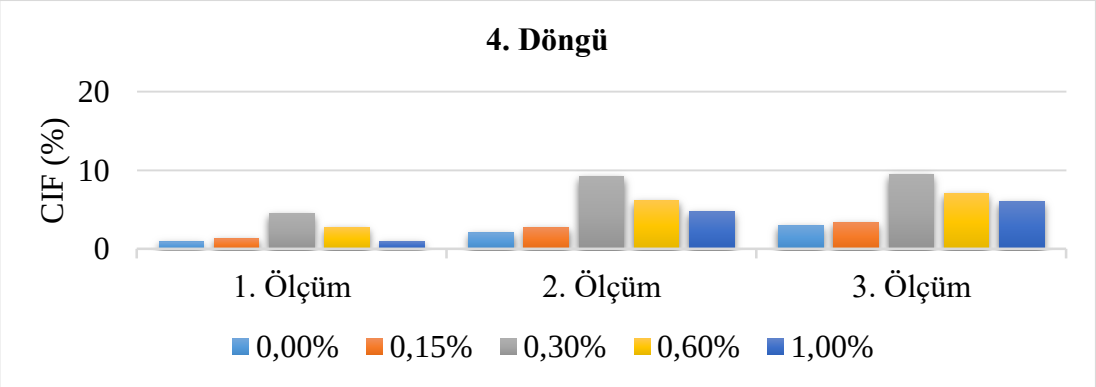
kuruma hızı olduğu kadar diğer taraftan, katkısız kildeki çatlak boyları daha uzun ve sürekli ortaya çıkmasıdır. İplikçi yapılar çekme çatlaklarını ve kuruma hızını kontrol ettikleri için kuruma devinimlerinde yeni çatlaklar kısa, sığ ve mikro yapıda meydana gelme eğiliminde olmuşlardır. Elde edilen bir başka çıkarım, lastik içeriği arttıkça ıslatma kuruma döngülerinde numunelere şekil verebilme yeteneği daha çok azalmaktadır. Lastik fiber iplikçikler döngüler ilerledikçe ortamın plastiklik özelliğini azaltmakta ve işlenebilme niteliğini düşürmektedir.%0,15 lastik içeriğinde olan numunelerde en ve boy da büzülmeler meydana gelmiştir. Lastik içeriğindeki artışla beraber büzülmeler en belirgin biçimde boylamasına meydana geldiği saptanmıştır.Boylamasına çatlakların sığ oluşması da ayrıca önemli bir kazanımdır. Bu döngüdeki çatlama süreci numunelerin hazırlandığı gün içerisinde (ilk 5 saatlik süreç sonunda) görülmeye başlanmıştır. Bu zamanlama kaynakçalarda da hemen hemen aynı süreçlere benzemektedir. Grafiklerden anlaşılacağı üzere; fiber lastik parçaların etkin iyileştirme niteliğini bu aşamada gözlemlenebildiğini vurgulamak yerindedir.



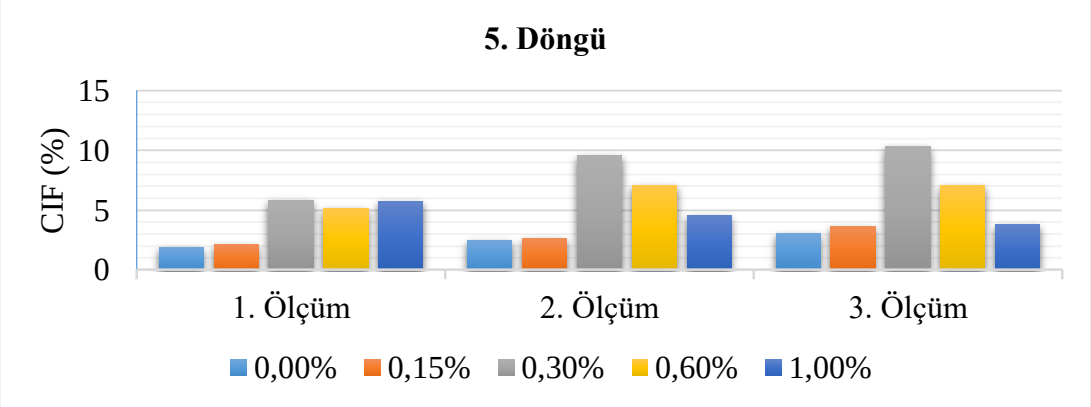
Şekil 5.4:Bütün katkı oranlarına göre 3. Döngünün ölçümlerindeki CIF değerleri

Şekil 5.4 de üçüncü döngüye ait grafikte görüldüğü üzere CIF değeri diğer döngüdeki numune örneklerine kıyasla daha fazla olduğu ifade etmek mümkündür. Ancak piksel renk aralıkları koyudan gri tonlamaya doğru değişmesi kılcal boyutlu ve sığ çatlakların ortaya çıktığı göstermektedir. Döngü sayısının artmasıyla birlikte numunelerin su muhtevası değerlerini belirlemek için yapılan ölçüm sayısı azalmıştır. Üçüncü döngü de çatlaklar derinliğini kaybetmeye başlamış ve daha yüzeysel bir hal almaya bu döngüde adım atmıştır. Maximum çatlama yüzdesi önceki ikinci döngüde olduğu gibi yine %0,30 lastik içeriğinde meydana gelmiştir. Lastik fiber oranının artması bu noktada ortamın çatlak oluşumuna olumsuz yönde etki ettiğini vurgulamak gerekmektedir. Buradaki esas nokta kompozit yapı iskeletindeki baskın karakter

yapısının fiber iplikçiklerden ziyade kilin mikro kristal yapısında olması gerekliliğidir. Ortamın davranışında kilden ziyade fiber malzeme etkinliğinde oluştuğunda kil-su etkileşimi beklenenin aksine ortaya çıkmakta mukavemet değerleri olumsuz yönde gelişmektedir.



Şekil 5.5:Bütün katkı oranlarına göre 4. Döngünün ölçümlerindeki CIF değerleri



Şekil 5.6:Bütün katkı oranlarına göre 5. Döngünün ölçümlerindeki CIF değerleri

Dördüncü ve beşinci döngülere ait olan şekil 5.5 -5.6 grafikleri incelendiğinde, döngü sayısı arttıkça numune davranışında çok önemli bir farklılığın meydana geldiğini söylemek mümkün değildir. Artık çatlaklar daha kılcal bir hal almakta olup yüzeyde kalmıştır. Her döngüde olduğu gibi %0,30 lastik içeriğinde maximum bir çatlama meydana gelmiştir.

Döngü sayısı ve lastik içeriği arttıkça lastik içeriği fazla olan kil numunelerin şekil verilebilme özelliği giderek zorlaşmakta ve lastikler karışım sürecinde segregasyona maruz kalarak kompozit karışım niteliğini kaybetmektedir. .

Şekil 5.7 ve 5.8'de döngü sayısı arttıkça çatlaklar daha yüzeysel ve satıhta kalmaya başlamıştır. Numune yüzeyleri döngü sayısı artıkça çekme gerilmelerinin etkisi altında

daha sert bir kıvama erişerekkabuksu bir yapıya dönüşmüştür. Bu kıvamdaki bir yüzeyin ıslatılma ile tekrar şekil verilebilmesi zorlaşmaktadır.

Yapılan deneysel gözlemler ve hesaplamalar sonucunda killi bir zemine lastik ilavesinin kilde meydana gelecek olan kuruma çatlakları azaltmış olduğu tespit edilmiştir. Lastik içeriği artmasıyla beraber çatlakların daha yüzeysel kaldığı numune derinliklerinde lastiklerin birbirine tutunmasını sağladığı şekil 5.7 ve şekil 5.8 de açık bir şekilde görüntülenmiştir.

%1 den fazla olan bir lastik içeriği ilave ettiğimiz takdirde etkileyici bir miktarda CIF değerlerinde azalma tespit etmek mümkün olacaktır. Yapılan deneysel çalışma neticesinde numune içerisine katılan katkı malzemesinin az oranlarda olması numune davranışına etkisi neredeyse yok denecek az olduğu görülmüştür. Fakat numune içerisinde katılacak olan katkı yüzdesini belirlemek oldukça önemlidir. Çünkü aşırı miktarda katılan bir katkı malzemesi numunenin karıştırılmasına engel olması beklenebilir. Bu nedenle örneğin ;%10 a karşılık gelen değerlerdeki bir katkı malzemesinin katılması numunenin homojen bir şekilde karıştırılmasına engel olmasına neden olabilir.



Şekil 5.7: Lastik parçacığı ile kil numunenin birbirine tutunma görüntüsü



Şekil 5.8: Lastik parçacığı ile birbirine tutunmuş diğer kil numune görüntüsü

İlk aşamada meydana gelen çatlaklar daha belirgin daha fazla genişlikte oluşmuştur fakat ıslatma-kurutma döngüleri ilerledikçe çatlaklar daha kılcal bir şekilde oluşmaya başlamıştır. Ve belirginliği azalmıştır. Islatma-kurutma döngüleri için numuneyi ıslatmak için gerekli olan su miktarında azalış gözlemlenmiştir.

Döngü sayısı ve lastik içeriği arttıkça lastik içeriği fazla olan kil numunelerin şekil verilebilme özelliği giderek kayboluyor ve lastikler yüzeye çıkmaya başlamıştır.

Döngü sayısı arttıkça çatlaklar daha yüzeysel kalmaya başlamıştır. Numune yüzeyleri döngü sayısı artıkça daha sert bir hal almıştır ve bu da ıslanma sonrası şekil verebilme yeteneğinin azaltmıştır.

Döngü sayısıyla beraber lastik içeriği fazla olan numunelerde büzülme sonu hacim değişikliği olan bölgelerde ufalanmalar meydana gelmeye başlamıştır. Döngü sayısının artmasıyla çatlakların kılcal şekilde kalması nedeniyle büzülmelerde ve oturmalarda azalmalar gözlemlenmiştir.

CIF değerlerinde ıslanma-kuruma döngü sayısı arttıkça bir azalış olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir deyişle döngü sayısı arttıkça çatlama yüzdesi azalmaktadır. Çünkü döngü sayısı arttıkça numunelerin davranışlarında değişikliğin azalmaya başladığı tespit edilmiştir. CIF değerlerine bakıldığında % 0.3 lastik içeriğine kadar olan numunelerde çatlak yüzdesi artmıştır ve maximum bir çatlak yüzdesi değerine ulaşmıştır. Lastik içeriği %0.3 den sonraki numunelerde çatlak yüzdesi giderek azalmıştır. Yani numuneler maximum çatlama değerine ulaştıktan sonra lastik

içeriğinin artmasıyla beraber çatlakların oranının azaldığı tespit edilmiştir. Bu oran aşıldığı durumda ise davranış kil malzemenin etkinliğinden çok fiber malzemenin baskın karakteristiğine bürünmüştür. Yapılan deneyler çerçevesinde en uygun karışım oranın %0.3 olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada kil-fiber katkı malzemesinin çatlama davranışına etkisi incelenmiştir. Fiber katkı malzemesinin diğer katkı malzemelerinden daha etkin bir çatlak engelleyici olduğu bilinmektedir. Özellikle kireçle yapılan iyileştirmelerde ilk kuruma çatlağı süreci için kirecin çok güçlü bir bağlayıcı olduğu kabul edilse de tekrarlı kuruma ıslanma periyotlarında kireç dramatik olarak bu özelliğini kaybetmektedir. Fiber malzemeler ise bu davranışın tam aksine kuruma çatlama süreçleri ilerledikçe malzemenin çatlamaya karşı göstereceği direncini arttırmaktadır. Fiber malzemenin pahalı ve ticari bir değere sahip olması nedeni ile bu çalışmada atık lastiklerden üretilen fiber iplikçikler kullanılarak katkı malzemesi üretilmesi yoluna gidilmiştir. Bu sayede hem ücretsiz bir malzemeden yararlanılmış hem de geri dönüşüm sürecinde atık lastiklerin bir başka kullanım alanı yaratılmıştır. Bir önceki bölümde üzerinde detaylı bir biçimde durulduğu gibi atık lastiklerden üretilen fiber katkı malzemesi oldukça etkin ve güçlü bir bağlayıcı niteliği göstermiştir. Çatlama esnasında kil yüzeyinde doğan çekme çatlaklarının oluşuma karşı çekme gerilmeleri ile ortamın çatlamadan kuruması yönünde önemli yararlar göstermiştir. Deneylerde kullanılması en optimum fiber katkı oranı olarak %0.3 mertebesi belirlenmiştir.

Bu çalışma laboratuvar ortamında ve steril koşullarda gerçekleştirilmiştir. Deney setleri cam prizmalarda ve sonlu sınırlı ve izotropik olmayan koşullarda gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçların arazi deneyleri ile doğal koşullarda ve güneş ışığı altında tekrarlanması gerekmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda bu yönüyle ele alınacak çalışmalar yürütülmesinde yarar vardır.

KAYNAKLAR

Akıncı, Ö., 2001. Seramik Killeri Ve Jeolojisi, IV. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye.

Al Al Wahab, R. M.,ve El-Kedrah, M. A., 1995. Using fibers to reduce tension cracks and shrink/swell in a compacted clay, In Geoenvironment 2000: Characterization, Containment, Remediation, and Performance in Environmental Geotechnics, 791-805.

Albrecht, B. A., ve Benson, C. H., 2001. Effect of desiccation on compacted natural clays, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,127, 1, 67-75.

Angin, I., Yaganoglu, A. V., ve Turan, M. 2005. Effects of long-term wastewater irrigation on soil properties. *Journal of Sustainable Agriculture, 26*(3), 31-42.

Atique, A., ve Sanchez, M., 2011. Analysis of cracking behavior of drying soil, In 2nd International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE, Singapore.

Bagchi, A., 1994. Design, construction, and monitoring of landfills, John Wiley and Sons, New York, United States.

Bozkurt, R., 2014. Yüksek plastisiteli killerin katkı malzemeleri ile İyileştirilmesi sonrasındaki davranışının deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray

Colina, H., ve Roux, S., 2000. Experimental model of cracking induced by drying shrinkage, The European Physical Journal E, 1, 2-3, 189-194.

Cyrus, S., 2008. Studies on the development and control of desiccation cracks in compacted clay liner soils, Doktora Tezi, Cochin University of Science and Technology, School of Engineering, Hindistan.

Çetin, H., Fener, M., ve Gunaydin, O., 2006. Geotechnical properties of tire-cohesive clayey soil mixtures as a fill material, Engineering Geology, 88, 1, 110-120.

Daniel, D. E., 1993. Geotechnical Practice for Waste Disposal, Chapter 7, Chapman & Hall, London, England.

Daniel, D. E., ve Benson, C. H., 1990. Water content-density criteria for compacted soil liners, Journal of Geotechnical Engineering, 116, 12, 1811-1830.

Draper, A., ve Robinson, J., 2001. Tire rubber leachate causes induction of cytochrome P450 activity in fathead minnows (Pimephales promelas), SETAC North America 22nd Annual Meeting, Baltimore, Maryland, USA.

Fang, H. Y., 1994. Cracking and fracture behavior of soil, Geotechnical Special Publication Fracture MechanicsProceedings of the ASCE National Convention, 43, 102-117.

Fredlund, D. G., ve Rahardjo, H., 1993. Soil mechanics for unsaturated soils, John Wiley & Sons, Canada.

George, K. P., 1969. Cracking in pavements influenced by viscoelastic properties of soil-cement. *Highway Research Record*, (263).

Gomes A. M., 2013. End-of-life Tyres Management, Waste Management for Everyone. Alındığı tarih: 01/06/201, adres: http://www.d-waste.com/new-infographics/item/155-end_of_life_tyres_management.html

Haines, W. B., 1923. The volume-changes associated with variations of water content in soil, The Journal of agricultural science, 13, 03, 296-310.

Henken-Mellies, W. U., Zanzinger, H., Gartung, E., ve Koerner, R. M., 2002. Long-term field test of a clay geosynthetic barrier in a landfill cover system, In Clay geosynthetic barriers, Proceedings of the International Symposium, 303-309.

Holtz, R.D., ve Kovacs, W.D., 1981. An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice-Hall, Upper Saddle River NJ.

Hvorslev, M. J., 1961. Physical components of the shear strength of saturated clays, Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg Ms.

Jigheh, H. S., Asadzadeh, M. ve Marefat, V., 2014. Effects of tire chips on shrinkage and cracking characteristics of cohesive soils, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 37(3), 259-271.

Jigheh, H. S., Asadzadeh, M., ve Marefat, V., 2014. Effects of tire chips on shrinkage and cracking characteristics of cohesive soils, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 37, 3, 259-271.

Kleppe, J. H., ve Olson, R. E., 1985. Desiccation Cracking of Soil Barriers, In Hydraulic Barriers in Soil and Rock: A Symposium, 874, 263.

Kumar, A., Walia, B. S., ve Mohan, J., 2006. Compressive strength of fiber reinforced highly compressible clay, Construction and building materials, 20, 10, 1063-1068.

Maher, M. H., ve Gray, D. H., 1990. Static response of sands reinforced with randomly distributed fibers, Journal of Geotechnical Engineering, 116, 11, 1661-1677.

Maher, M. H., ve Ho, Y. C., 1994. Mechanical properties of kaolinite/fiber soil composite, Journal of Geotechnical Engineering, 120, 8, 1381-1393.

McCloskey, M., Sanchez, M. Dyer ve R.A.A. Soemitro, 2008. Experimental behaviour of a compacted silt used in a flood defence embankment in Indonesia', Proceedings of International Conference on Geotechnical & Highway Engineering, Kuala Lumpur, Malaysia, (ISBN: 978-983-42613-4-4) 26-27.

Miller, C. J., Mi, H., ve Yesiller, N., 1998. Experimental Analysis of Desiccation Crack Propagation in Clay Liners, Journal of the American Water Resources Association, 34, 3, 677.

Miller, C. J., ve Rifai, S., 2004. Fiber reinforcement for waste containment soil liners, Journal of Environmental Engineering, 130, 8, 891-895.

Mitchell J. K., 1993. Fundamentals of soil behavior, John Wiley & Sons, Inc. New York.

Morris, P. H., Graham, J., ve Williams, D. J., 1992. Cracking in drying soils, Canadian Geotechnical Journal, 29, 2, 263-277.

Peron, H., Laloui, L., Hueckel, T., ve Hu, L. B., 2009. Desiccation cracking of soils, European journal of environmental and civil engineering, 13, 7-8, 869-888.

Prabakar, J., ve Sridhar, R. S., 2002. Effect of random inclusion of sisal fibre on strength behaviour of soil, Construction and Building Materials, 16, 2, 123-131.

Prabakar, J., ve Sridhar, R. S., 2002. Effect of random inclusion of sisal fibre on strength behaviour of soil, Construction and Building Materials, 16, 2, 123-131.

Soltani-Jigheh, H., Asadzadeh, M., ve Marefat, V., 2013. Effects of tire chips on shrinkage and cracking characteristics of cohesive soils, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 37, 3, 259-271.

Sugözü, İ., ve Mutlu, İ., 2009. Atık taşıt lastikleri ve değerlendirme yöntemleri, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1, 1, 35-46.

Taha, O. M. E., ve Taha, M. R., 2011. Cracks in soils related to desiccation and treatment, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5, 8, 1080-1089.

Tang, C. S., Cui, Y. J., Shi, B., Tang, A. M., ve Liu, C., 2011. Desiccation and cracking behaviour of clay layer from slurry state under wetting–drying cycles, Geoderma, 166, 1, 111-118.

Tang, C., Shi, B., Liu, C., Zhao, L., ve Wang, B., 2008. Influencing factors of geometrical structure of surface shrinkage cracks in clayey soils, Engineering Geology, 101, 3, 204-217.

TS 1900-2, 2006. Kayma direncinin kesme kutusu ile tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Uzuner, B. A., 2007. Temel Zemin Mekaniği, Derya Kitabevi, Trabzon

Vogel, H. J., Hoffmann, H., Leopold, A., ve Roth, K., 2005. Studies of crack dynamics in clay soil: II. A physically based model for crack formation, Geoderma, 125, 3, 213-223.

Yesiller, N., Miller, C. J., Inci, G., ve Yaldo, K., 2000. Desiccation and cracking behavior of three compacted landfill liner soils, Engineering Geology, 57, 1, 105-121.

Yeşilata, B., Bulut, H., Turgut, P., ve Demir, F., 2007. Atık taşıt lastiklerinin geri kazanımı ve yalıtım amaçlı kullanımı, MMO tesisat mühendisliği dergisi, 102, 64-72.

Yıldız, M., Soğancı, A.S., Demiröz, A. ve Albayrak, V., 2004. Tekrarlı Donma ve Çözülmenin Kireç ile Stabilize Edilmiş Kil Zeminlerin Mukavemet ve Permeabilitesine Etkisi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, 2-3.

URL-1<http://www.lasder.org.tr >, alındığı tarih: 01.06.2016.

URL-2<http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/elt-report-v9a---final.pdf>, alındığı tarih: 03/08/2016.

URL-3<http://www.etrma.org/tyres/ELTs/ELT-management>, alındığı tarih: 03/08/2016

EKLER

EK.A Katkısız Kil için Standart Proktor Deney Föyü

EK.B % 0.15 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Föyü

EK.C % 0.30 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Föyü

EK.D % 0.60 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Föyü

EK.E % 1 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Föyü

EK.F Katkısız kil için Kesme Kutusu Deneyi

EK.G % 0.15 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deneyi

EK.H % 0.30 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deneyi

EK.I % 0.60 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deneyi

EK.J % 1 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deneyi

EK.K Görüntü Analizleri

EK.A Katkısız Kil için Standart Proktor Deney Föyü

Çizelge A.1: Katkısız Kil için Standart Proktor Deney Çizelgesi

Zeminin Tanımı	**Kil (katkısız kil)**	
Kompaksiyon kabının hacmi	**2114,73**	**cm^3**
Kompaksiyon kapının kütlesi	**5282**	**gr**

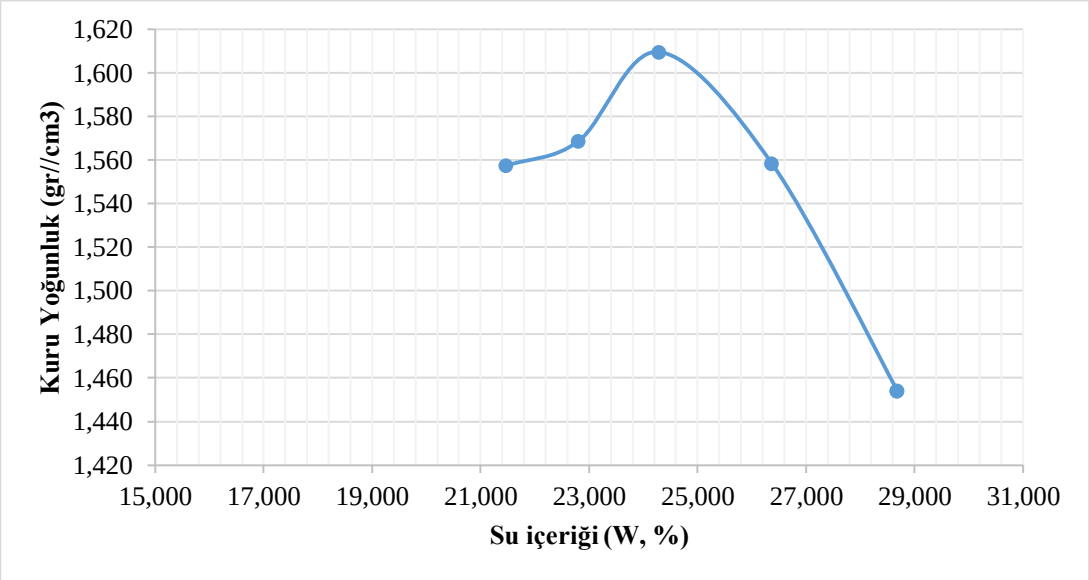
Deney No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Kompaksiyon kabı + Sıkıştırılmış zemin (gr)	9282,5	9355,5	9512,5	9446,5	9239,0	9239,0
Kompaksiyon kabının boş kütlesi (gr)	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0
Sıkıştırılmış zeminin kütlesi (gr)	4000,5	4073,5	4230,5	4164,5	3957,0	3957,0
Islak yoğunluk (gr/cm^3)	1,892	1,926	2,000	1,969	1,871	1,871
Kuru yoğunluk (gr/cm^3)	1,557	1,569	1,610	1,558	1,454	1,454

Su İçeriğinin Belirlenmesi

Deney No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Islak zemin + dara (gr)	332,5	378,5	355,5	320,5	447,5	447,5
Kuru zemin + dara (gr)	313,5	350	330	282	393	393
Su kütlesi (gr)	19	28,5	25,5	38,5	54,5	54,5
Dara (gr)	225	225	225	136	203	203
Kuru zemin kütlesi (gr)	88,5	125	105	146	190	190
Su içeriği W (%)	21,469	22,800	24,286	26,370	28,684	28,684

Optimum Su içeriği ve Maksimum Kuru Yoğunluğun Belirlenmesi

Su içeriği W, (%)	21,469	22,800	24,286	26,370	28,684	28,684
Kuru yoğunluk (gr/cm^3)	1,557	1,569	1,610	1,558	1,454	1,454
Optimum Su İçeriği = (%)	**24,286**					
Maksimum Kuru Yoğunluk (gr/cm^3) =	**1,610**					



Şekil A.1: Optimum Su içeriği ve Maksimum Kuru Yoğunluğun Belirlenmesi

EK.B% 0.15 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Föyü

Çizelge B.1: % 0.15 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Çizelgesi

Zeminin Tanımı	**Kil (0.15)**	
Kompaksiyon kabının hacmi	**2114,73**	**cm^3**
Kompaksiyon kapının kütlesi	**5282**	**gr**

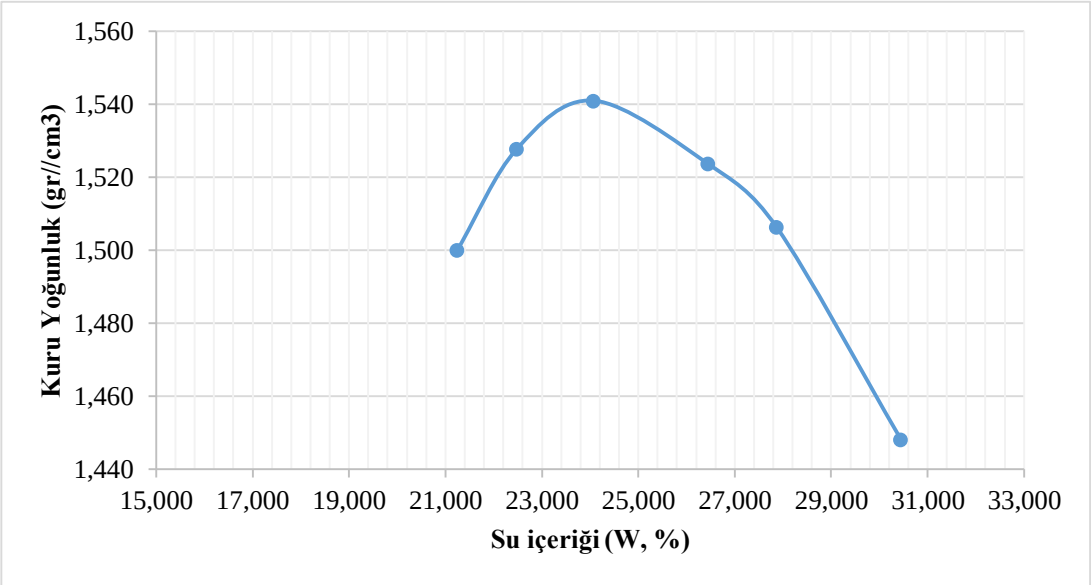
Deney No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Kompaksiyon kabı + Sıkıştırılmış zemin (gr)	9128,0	9239,0	9325,0	9356,0	9355,0	9277,0
Kompaksiyon kabının boş kütlesi (gr)	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0
Sıkıştırılmış zeminin kütlesi (gr)	3846,0	3957,0	4043,0	4074,0	4073,0	3995,0
Islak yoğunluk (gr/cm^3)	1,819	1,871	1,912	1,926	1,926	1,889
Kuru yoğunluk (gr/cm^3)	1,500	1,528	1,541	1,524	1,506	1,448

Su İçeriğinin Belirlenmesi

Deney No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Islak zemin + dara (gr)	342	383	392,5	322,5	437	625
Kuru zemin + dara (gr)	321,5	354	360	283,5	386	570,5
Su kütlesi (gr)	20,5	29	32,5	39	51	54,5
Dara (gr)	225	225	225	136	203	391,5
Kuru zemin kütlesi (gr)	96,5	129	135	147,5	183	179
Su içeriği W (%)	21,244	22,481	24,074	26,441	27,869	30,447

Optimum Su içeriği ve Maksimum Kuru Yoğunluğun Belirlenmesi

Su içeriği W, (%)	21,244	22,481	24,074	26,441	27,869	30,447
Kuru yoğunluk (gr/cm^3)	1,500	1,528	1,541	1,524	1,506	1,448
Optimum Su İçeriği = (%)	**24,074**					
Maksimum Kuru Yoğunluk (gr/cm^3) =	**1,541**					



Şekil B.1: Optimum Su içeriği ve Maksimum Kuru Yoğunluğun Belirlenmesi

EK.C% 0.30 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Föyü

Çizelge C.1: % 0.30 Katkılı kil için Standart Proktor Deney

Zeminin Tanımı	**Kil (0.3)**	
Kompaksiyon kabının hacmi	**2114,73**	**cm^3**
Kompaksiyon kapının kütlesi	**5282**	**gr**

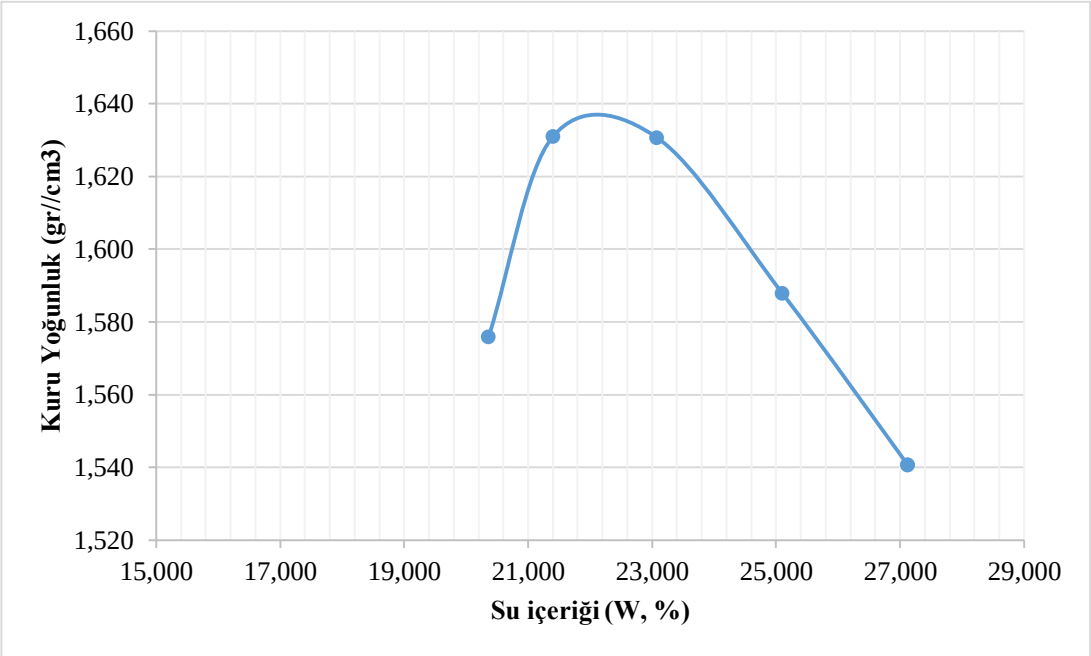
Deney No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Kompaksiyon kabı + Sıkıştırılmış zemin (gr)	9293,5	9469,5	9526,5	9483,0	9424,0	9424,0
Kompaksiyon kabının boş kütlesi (gr)	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0
Sıkıştırılmış zeminin kütlesi (gr)	4011,5	4187,5	4244,5	4201,0	4142,0	4142,0
Islak yoğunluk (gr/cm^3)	1,897	1,980	2,007	1,987	1,959	1,959
Kuru yoğunluk (gr/cm^3)	1,576	1,631	1,631	1,588	1,541	1,541

Su İçeriğinin Belirlenmesi

Deney No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Islak zemin + dara (gr)	358	381	369	295,5	585	585
Kuru zemin + dara (gr)	335,5	353,5	342	263,5	503,5	503,5
Su kütlesi (gr)	22,5	27,5	27	32	81,5	81,5
Dara (gr)	225	225	225	136	203	203
Kuru zemin kütlesi (gr)	110,5	128,5	117	127,5	300,5	300,5
Su içeriği W (%)	20,362	21,401	23,077	25,098	27,121	27,121

Optimum Su içeriği ve Maksimum Kuru Yoğunluğun Belirlenmesi

Su içeriği W, (%)	20,362	21,401	23,077	25,098	27,121	27,121
Kuru yoğunluk (gr/cm^3)	1,576	1,631	1,631	1,588	1,541	1,541
Optimum Su İçeriği = (%)	**21,401**					
Maksimum Kuru Yoğunluk (gr/cm^3) =	**1,631**					



Şekil C.1: Optimum Su içeriği ve Maksimum Kuru Yoğunluğun Belirlenmesi

EK.D% 0.60 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Föyü

Çizelge D.1: % 0.60 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Çizelgesi

Zeminin Tanımı	**Kil (0.6 fiber lastik)**	
Kompaksiyon kabının hacmi	**2114,73**	**cm^3**
Kompaksiyon kapının kütlesi	**5282**	**gr**

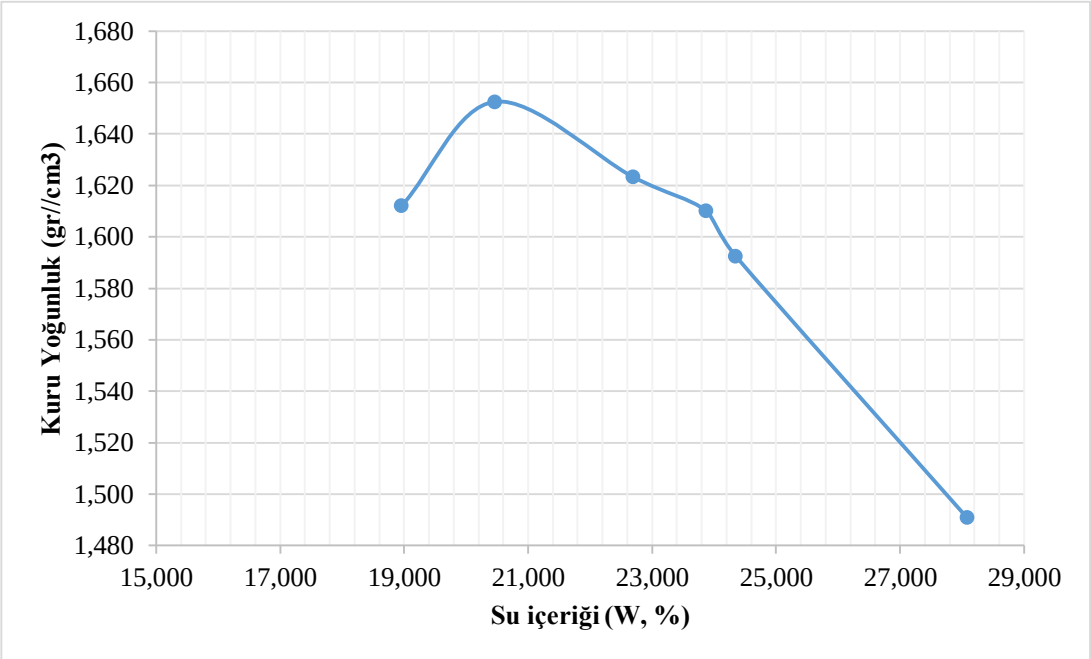
Deney No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Kompaksiyon kabı + Sıkıştırılmış zemin (gr)	9337,5	9492,0	9494,0	9500,0	9470,0	9320,5
Kompaksiyon kabının boş kütlesi (gr)	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0
Sıkıştırılmış zeminin kütlesi (gr)	4055,5	4210,0	4212,0	4218,0	4188,0	4038,5
Islak yoğunluk (gr/cm^3)	1,918	1,991	1,992	1,995	1,980	1,910
Kuru yoğunluk (gr/cm^3)	1,612	1,653	1,623	1,610	1,593	1,491

Su İçeriğinin Belirlenmesi

Deney No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Islak zemin + dara (gr)	350,5	381	384,5	369,5	417,5	298
Kuru zemin + dara (gr)	330,5	354,5	355	324,5	375,5	249
Su kütlesi (gr)	20	26,5	29,5	45	42	49
Dara (gr)	225	225	225	136	203	74,5
Kuru zemin kütlesi (gr)	105,5	129,5	130	188,5	172,5	174,5
Su içeriği W (%)	18,957	20,463	22,692	23,873	24,348	28,080

Optimum Su içeriği ve Maksimum Kuru Yoğunluğun Belirlenmesi

Su içeriği W, (%)	18,957	20,463	22,692	23,873	24,348	28,080
Kuru yoğunluk (gr/cm^3)	1,612	1,653	1,623	1,610	1,593	1,491
Optimum Su İçeriği = (%)	**20,463**					
Maksimum Kuru Yoğunluk (gr/cm^3) =	**1,653**					



Şekil D.1: Optimum Su içeriği ve Maksimum Kuru Yoğunluğun Belirlenmesi

EK.E % 1 Katkılı kil için Standart Proktor Deney Föyü

Çizelge E.1: % 1Katkılı kil için Standart Proktor Deney Çizelgesi

Zeminin Tanımı	**Kil (% 1l)**	
Kompaksiyon kabının hacmi	**2114,73**	**cm^3**
Kompaksiyon kapının kütlesi	**5282**	**gr**

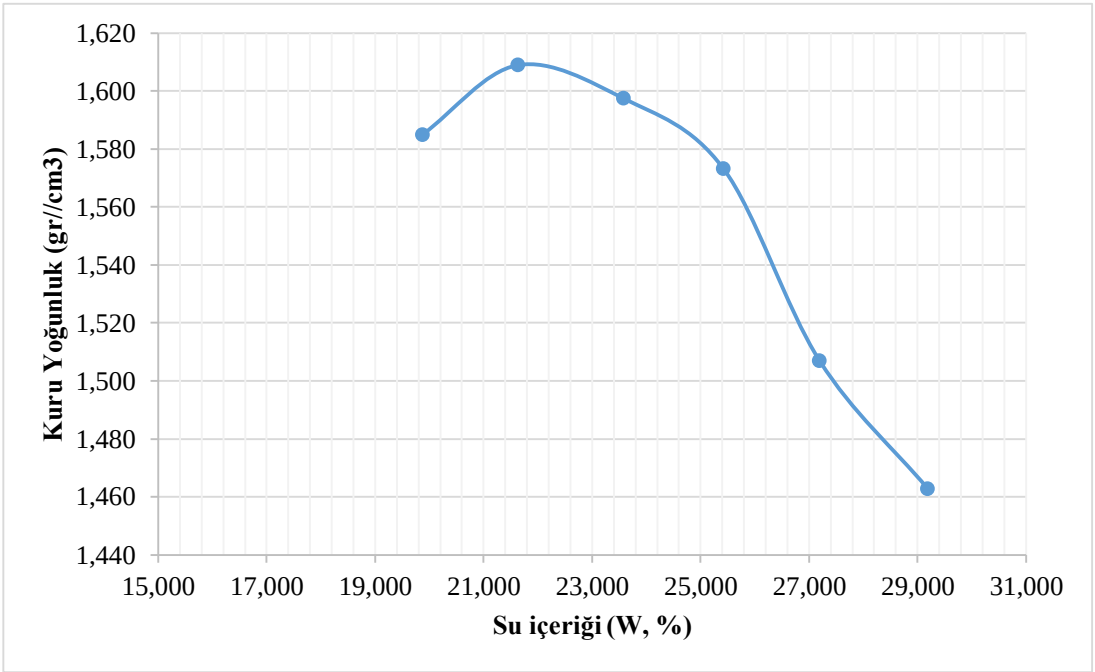
Deney No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Kompaksiyon kabı + Sıkıştırılmış zemin (gr)	9300,0	9420,5	9457,0	9455,0	9335,5	9278,5
Kompaksiyon kabının boş kütlesi (gr)	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0	5282,0
Sıkıştırılmış zeminin kütlesi (gr)	4018,0	4138,5	4175,0	4173,0	4053,5	3996,5
Islak yoğunluk (gr/cm^3)	1,900	1,957	1,974	1,973	1,917	1,890
Kuru yoğunluk (gr/cm^3)	1,585	1,609	1,598	1,573	1,507	1,463

Su İçeriğinin Belirlenmesi

Deney No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Islak zemin + dara (gr)	274	422	255	326	212,5	321,5
Kuru zemin + dara (gr)	242,5	375,5	228	288	181,5	260,5
Su kütlesi (gr)	31,5	46,5	27	38	31	61
Dara (gr)	84	160,5	113,5	138,5	67,5	51,5
Kuru zemin kütlesi (gr)	158,5	215	114,5	149,5	114	209
Su içeriği W (%)	19,874	21,628	23,581	25,418	27,193	29,187

Optimum Su içeriği ve Maksimum Kuru Yoğunluğun Belirlenmesi

Su içeriği W, (%)	19,874	21,628	23,581	25,418	27,193	29,187
Kuru yoğunluk (gr/cm^3)	1,585	1,609	1,598	1,573	1,507	1,463
Optimum Su İçeriği = (%)	**21,628**					
Maksimum Kuru Yoğunluk (gr/cm^3) =	**1,609**					

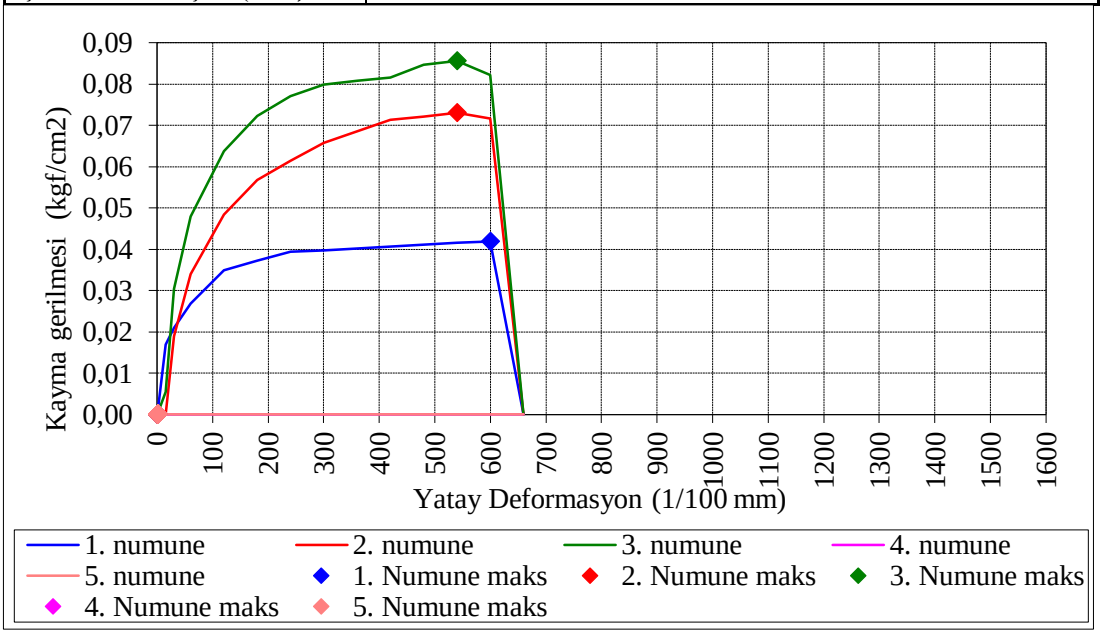


Şekil E.1: Optimum Su içeriği ve Maksimum Kuru Yoğunluğun Belirlenmesi

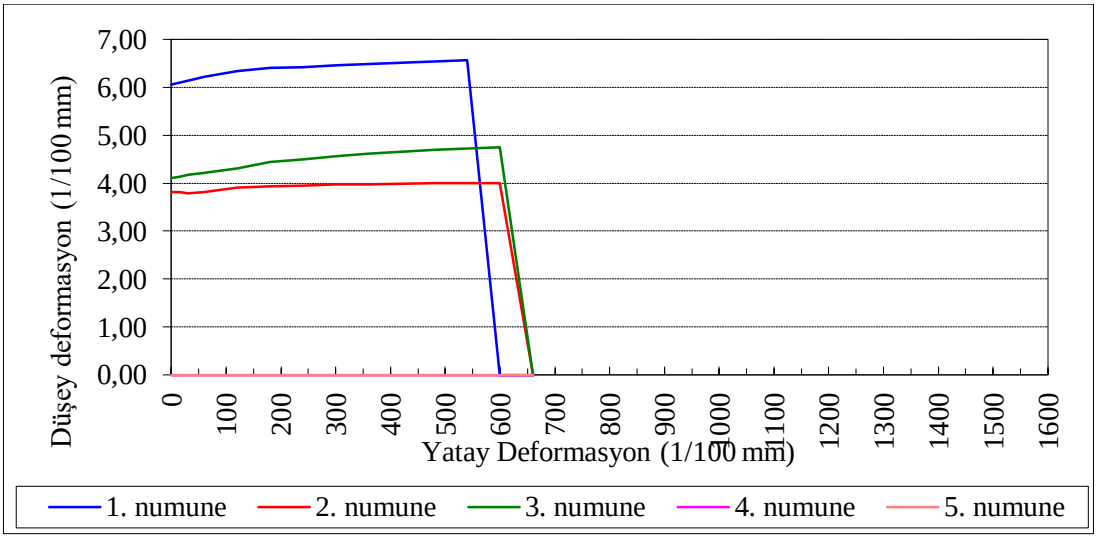
EK.F Katkısız kil için Kesme Kutusu Deneyi

Çizelge F.1: Katkısız kil için Kesme Kutusu Deney Çizelgesi

Numuneler	1. Deney	2. Deney	3. Deney
d_0 cm	6,00	6,00	6,00
h_0 cm	2,00	2,00	2,00
alan cm^2	36,00	36,00	36,00
hacim cm^3	72,000	72,000	72,000
Düşey yük kg	2	4,0	6,0
Düşey gerilme kgf/cm^2	0,56	1,11	1,67
Maks kayma gerilmesikgf/cm^2	0,042	0,073	0,086
Ring katsayısı	0,1		
Kohezyon (c)	0,41 kN/m^2		
İçsel sürtünme açısı (□□)	3,1°		



Şekil F.1: Deformasyon eğrileri

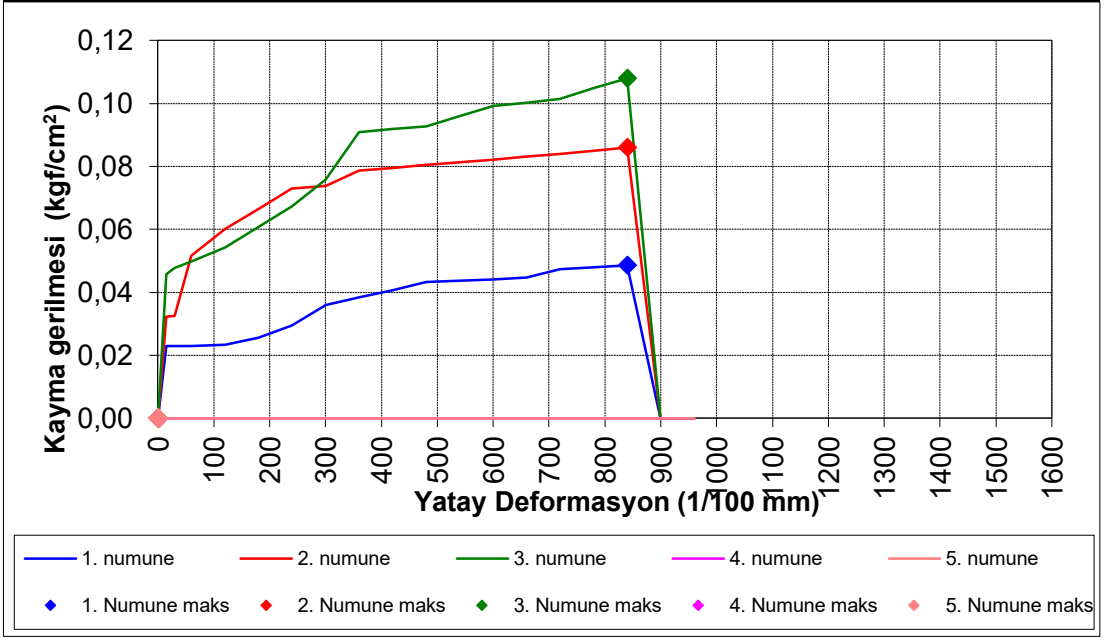


Şekil F.2: Deformasyon eğrileri

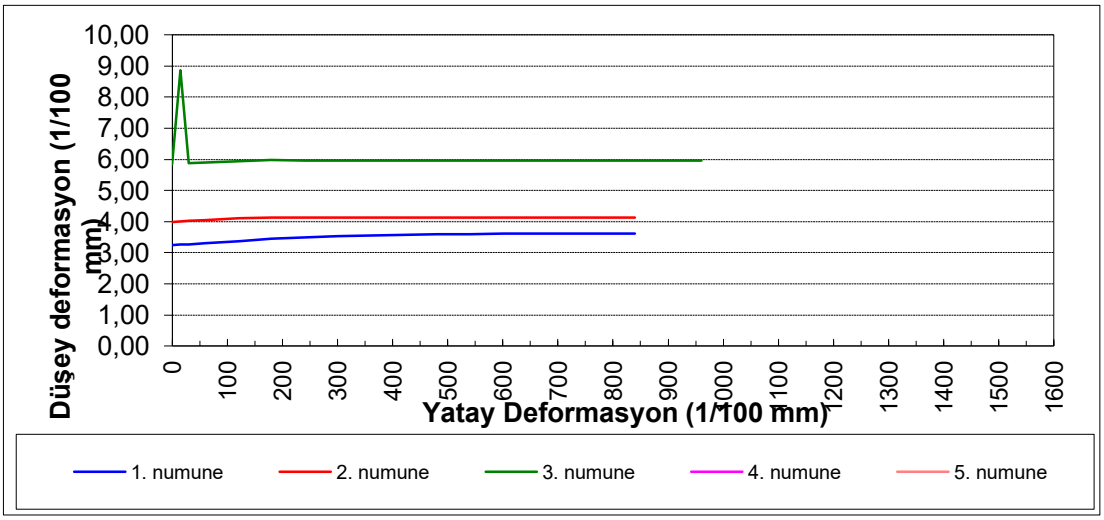
EK.G%0.15 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deneyi

Çizelge G.1:% 0.15 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deney Çizelgesi

Numuneler	1. Deney	2. Deney	3. Deney
d_0 cm	6,00	6,00	6,00
h_0 cm	2,00	2,00	2,00
alan cm^2	36,00	36,00	36,00
hacim cm^3	72,000	72,000	72,000
Düşey yük kg	2	4,0	6,0
Düşey gerilme kgf/cm^2	0,56	1,11	1,67
Maks kayma gerilmesikgf/cm^2	0,048	0,086	0,108
Ring katsayısı	0,1		
Kohezyon (c)	0,38 kN/m^2		
İçsel sürtünme açısı (□□)	3,8 °		



Şekil G.1: Deformasyon eğrileri

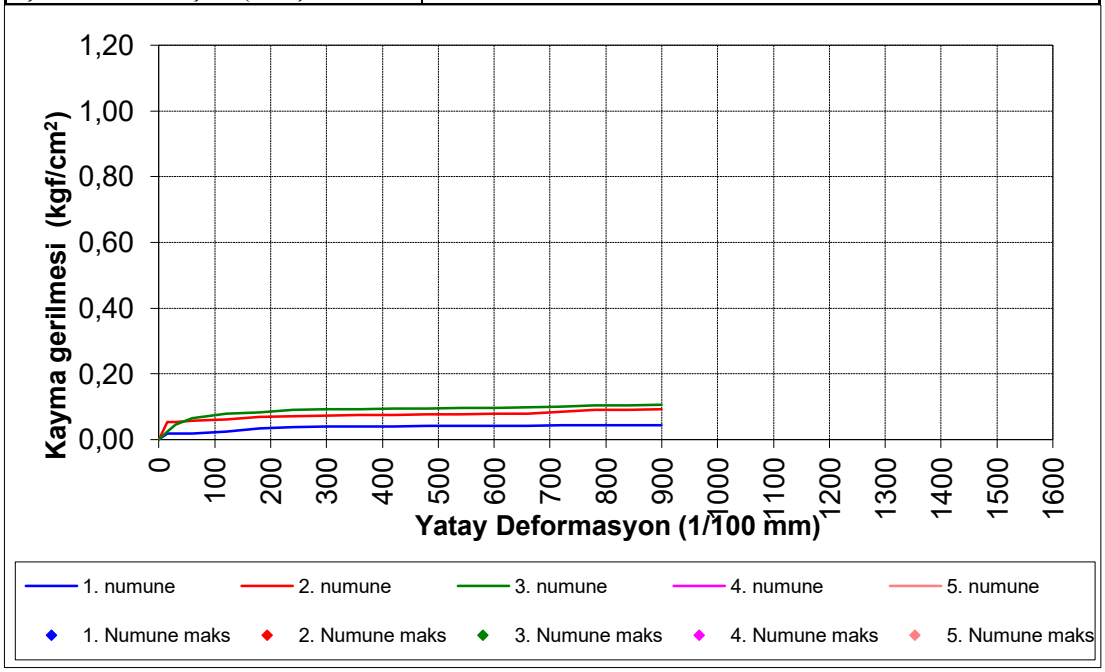


Şekil G.2: Deformasyon eğrileri

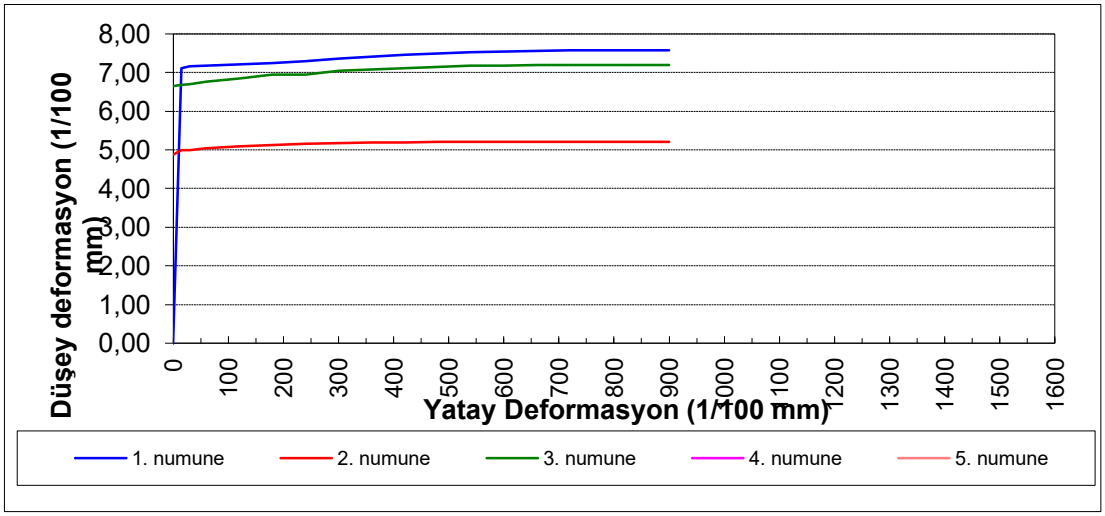
EK.H%0.30 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deneyi

Çizelge H.1:% 0.30 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deney Çizelgesi

Numuneler	1. Deney	2. Deney	3. Deney
d_0 cm	6,00	6,00	6,00
h_0 cm	2,00	2,00	2,00
alan cm^2	36,00	36,00	36,00
hacim cm^3	72,000	72,000	72,000
Düşey yük kg	2	4,0	6,0
Düşey gerilme kgf/cm^2	0,56	1,11	1,67
Maks kayma gerilmesikgf/cm^2	0,044	0,092	0,106
Ring katsayısı	0,1		
Kohezyon (c)	1,91 kN/m^2		
İçsel sürtünme açısı (□□)	3,2°		



Şekil H.1: Deformasyon eğrileri

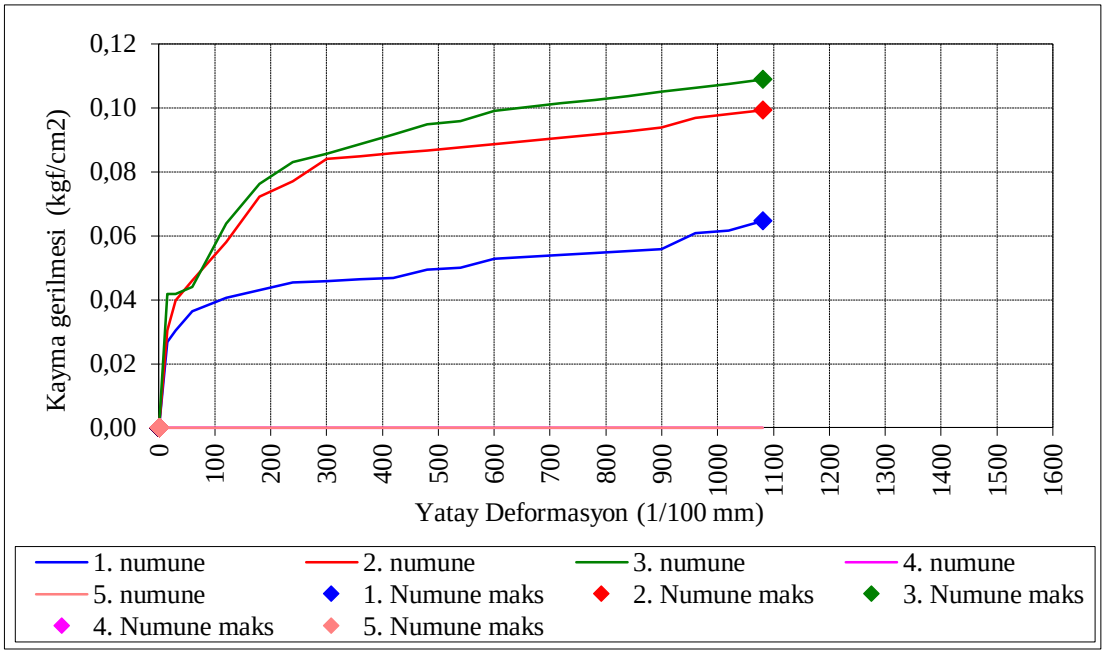


Şekil H.2: Deformasyon eğrileri

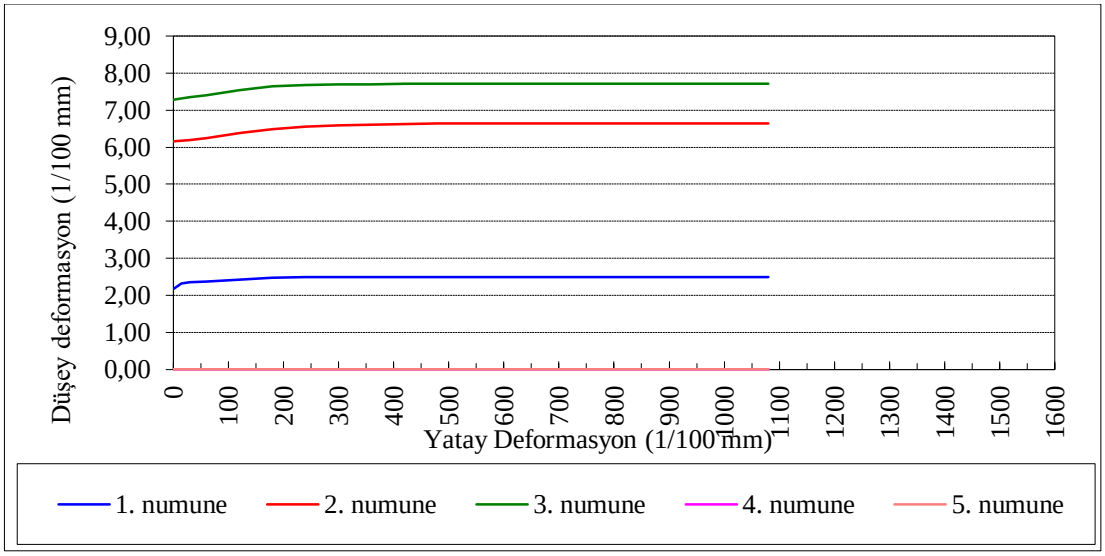
EK.I%0.60 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deneyi

Çizelge I.1:% 0.60 Katkılı kil için Kesme Kutusu Deney Çizelgesi

Numuneler	1. Deney	2. Deney	3. Deney
d_0 cm	6,00	6,00	6,00
h_0 cm	2,00	2,00	2,00
alan cm^2	36,00	36,00	36,00
hacim cm^3	72,000	72,000	72,000
Düşey yük kg	2	4,0	6,0
Düşey gerilme kgf/cm^2	0,56	1,11	1,67
Maks kayma gerilmesikgf/cm^2	0,065	0,099	0,109
Ring katsayısı	0,1		
Kohezyon (c)	0,83 kN/m^2		
İçsel sürtünme açısı (□□)	4,0 °		



Şekil I.1: Deformasyon eğrileri

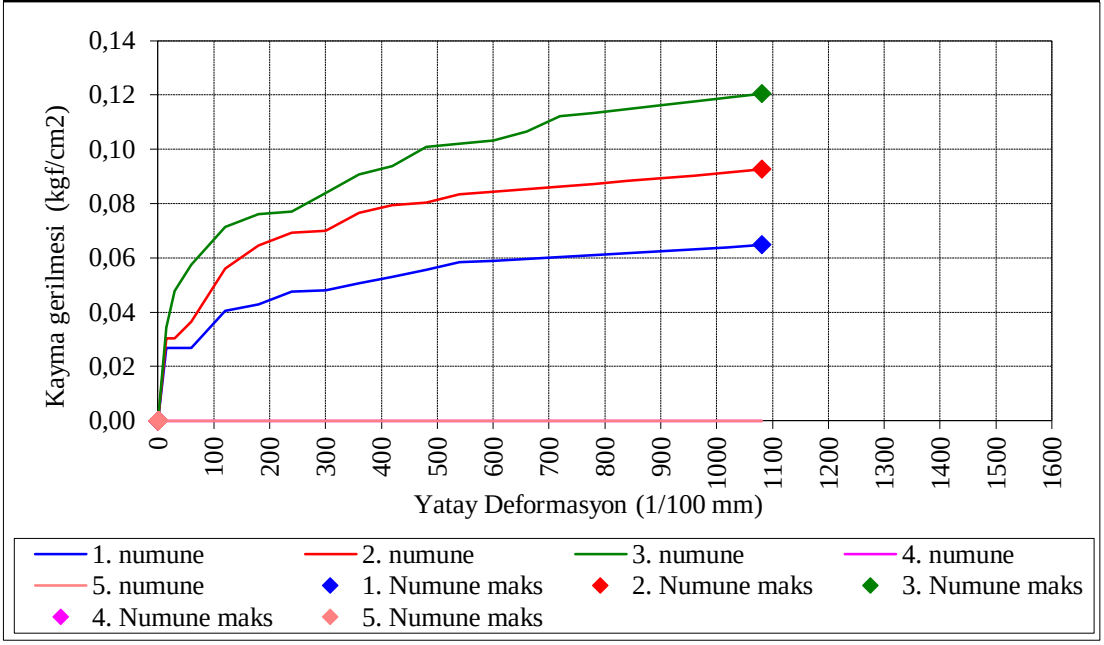


Şekil I.2: Deformasyon eğrileri

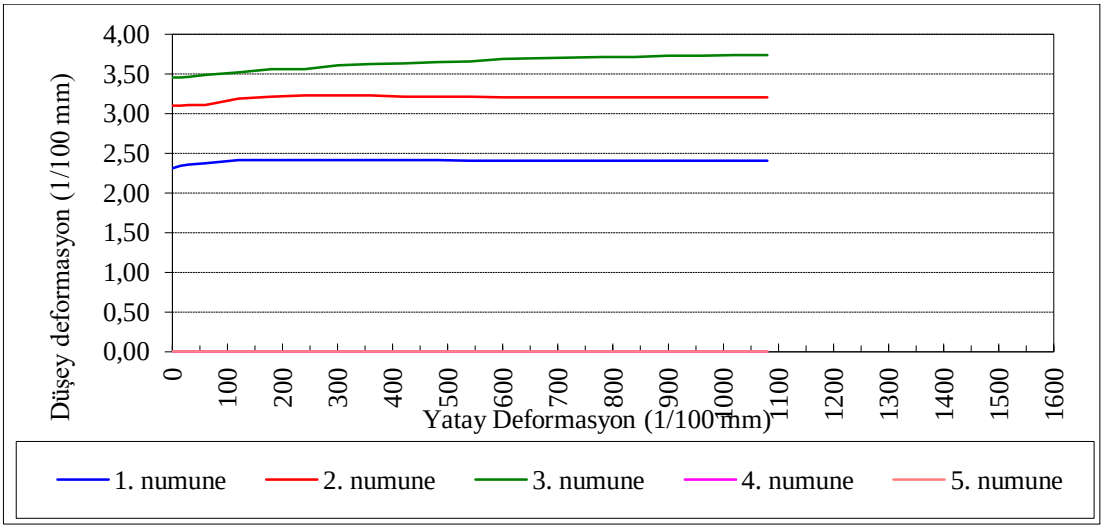
EK.J% 1 Katkılı kiliçin Kesme Kutusu Deneyi

Çizelge J.1:% 1 Katkılı kil içinKesme Kutusu Deney Çizelgesi

Numuneler	1. Deney	2. Deney	3. Deney
d_0 cm	6,00	6,00	6,00
h_0 cm	2,00	2,00	2,00
alan cm^2	36,00	36,00	36,00
hacim cm^3	72,000	72,000	72,000
Düşey yük kg	2	4,0	6,0
Düşey gerilme kgf/cm^2	0,56	1,11	1,67
Maks kayma gerilmesikgf/cm^2	0,065	0,093	0,120
Ring katsayısı	0,1		
Kohezyon (c)	0,65 kN/m^2		
İçsel sürtünme açısı (□□)	4,2 °		

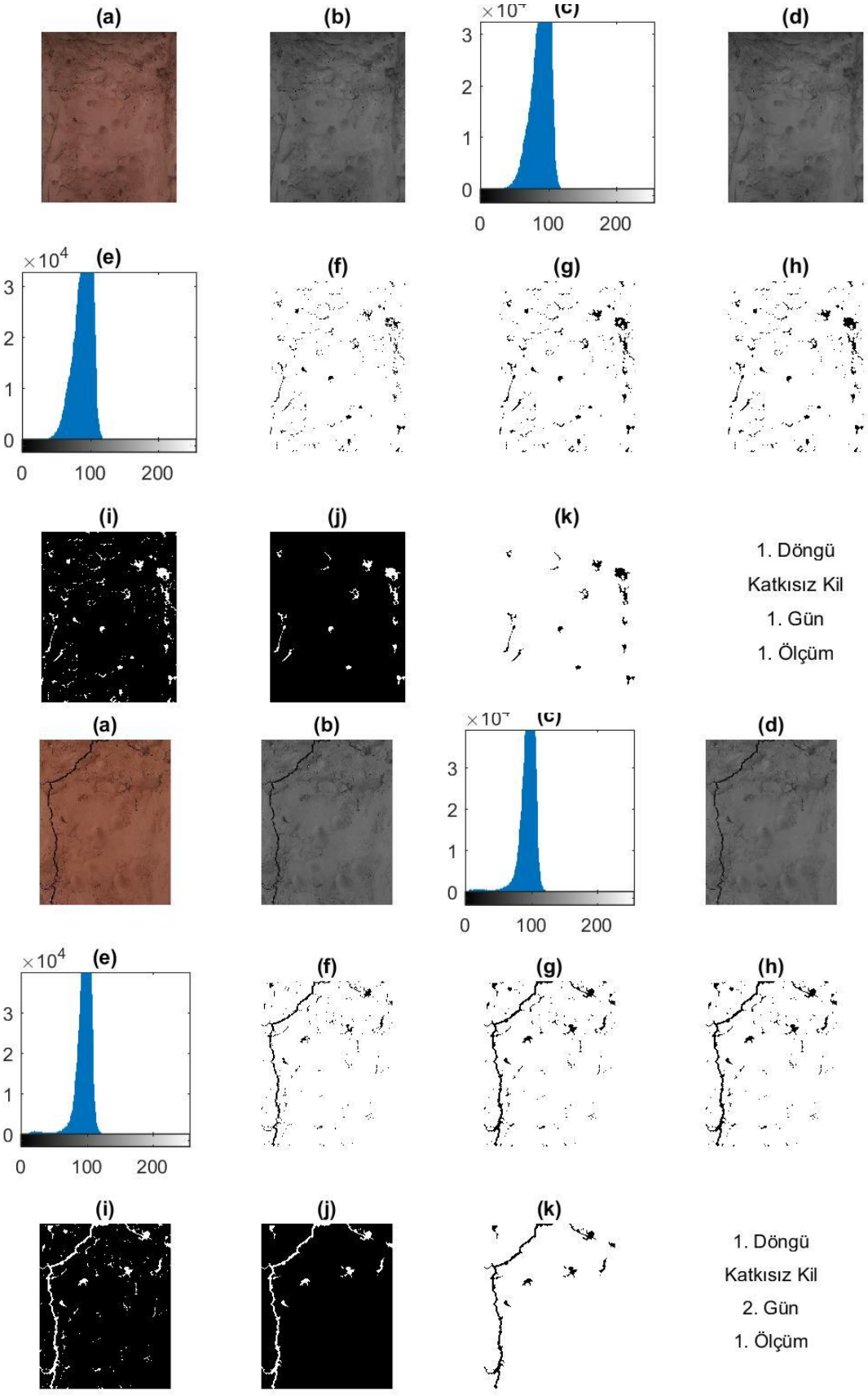


Şekil J.1: Deformasyon eğrileri



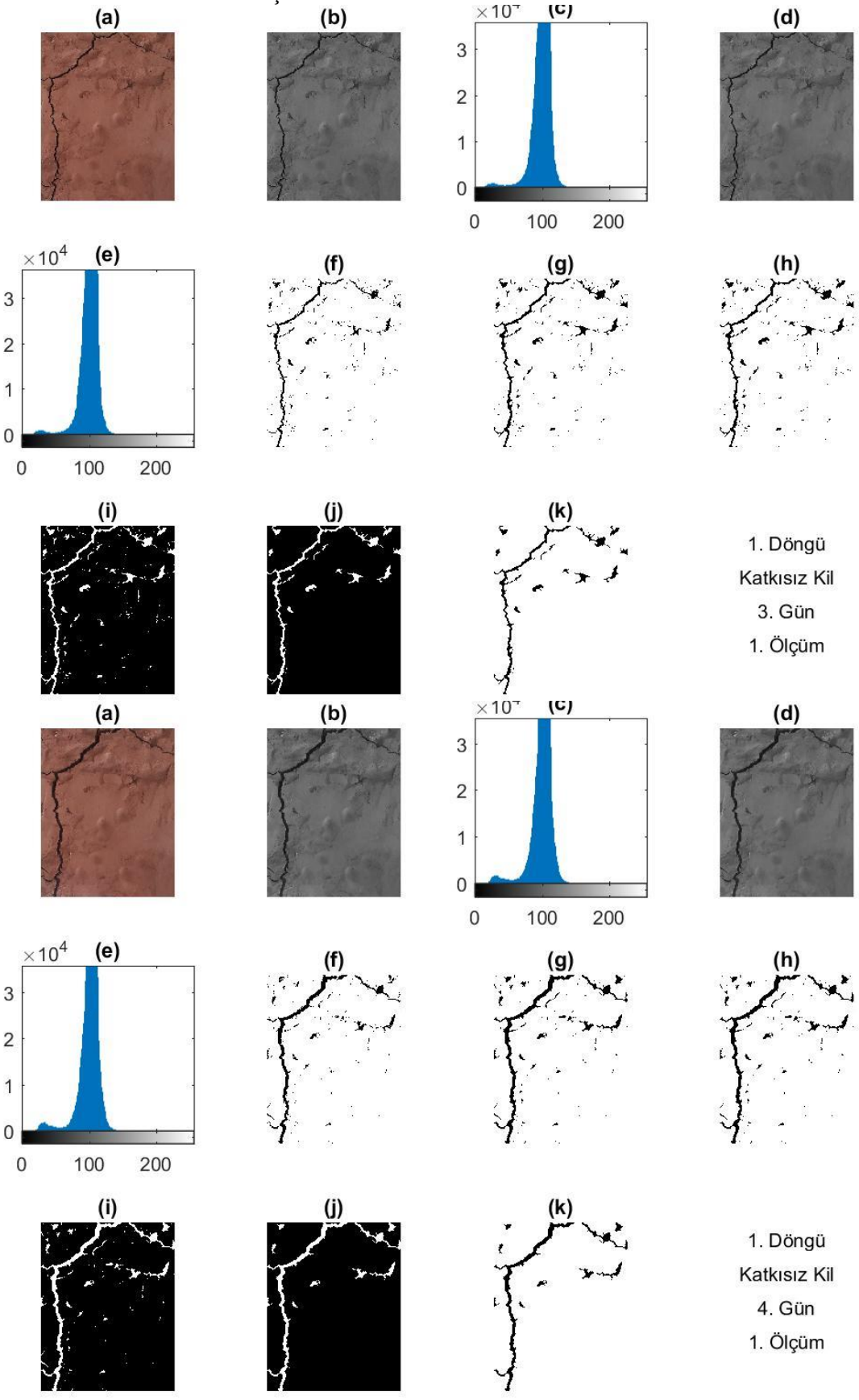
Şekil J.2: Deformasyon eğrileri

EK.KGörüntü Analizleri

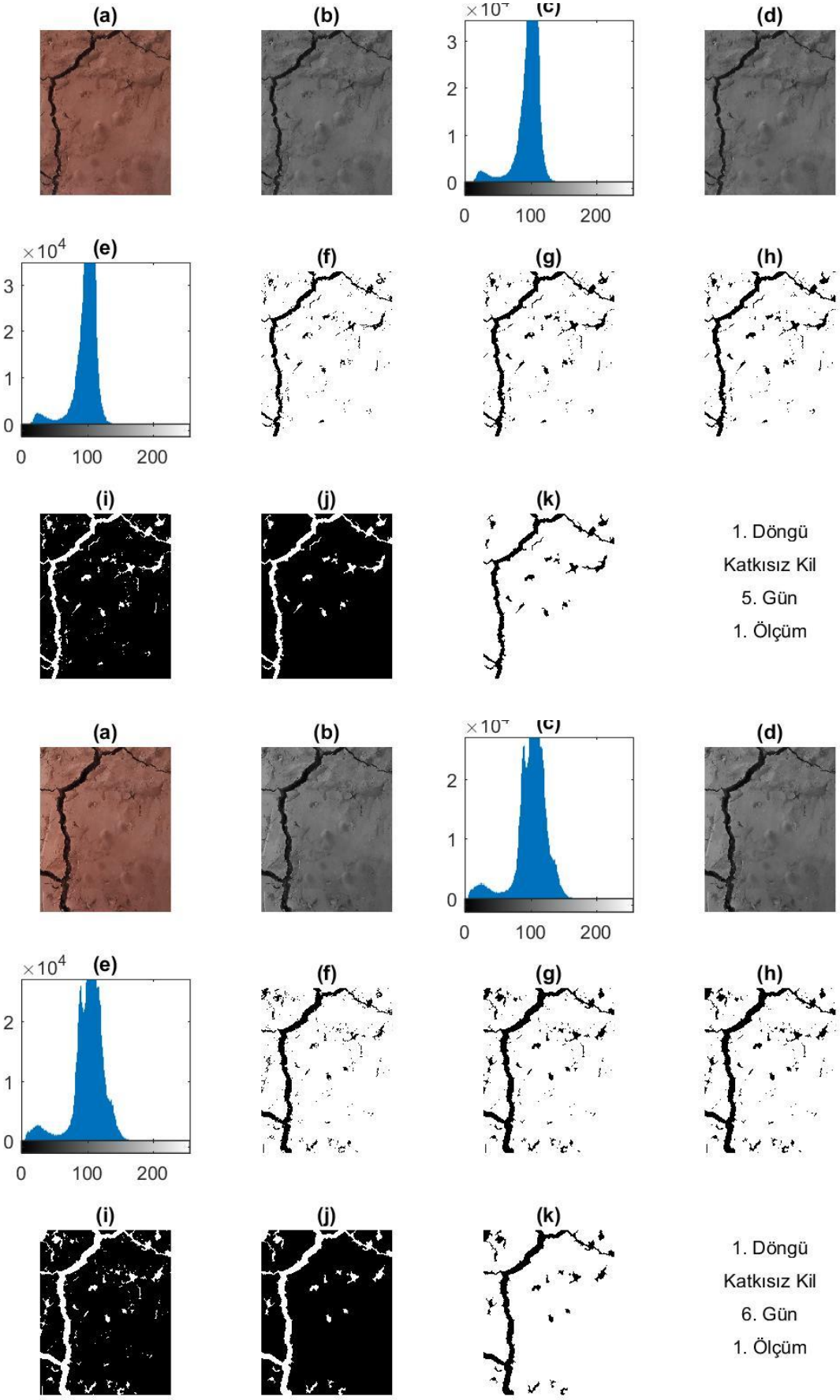


Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri

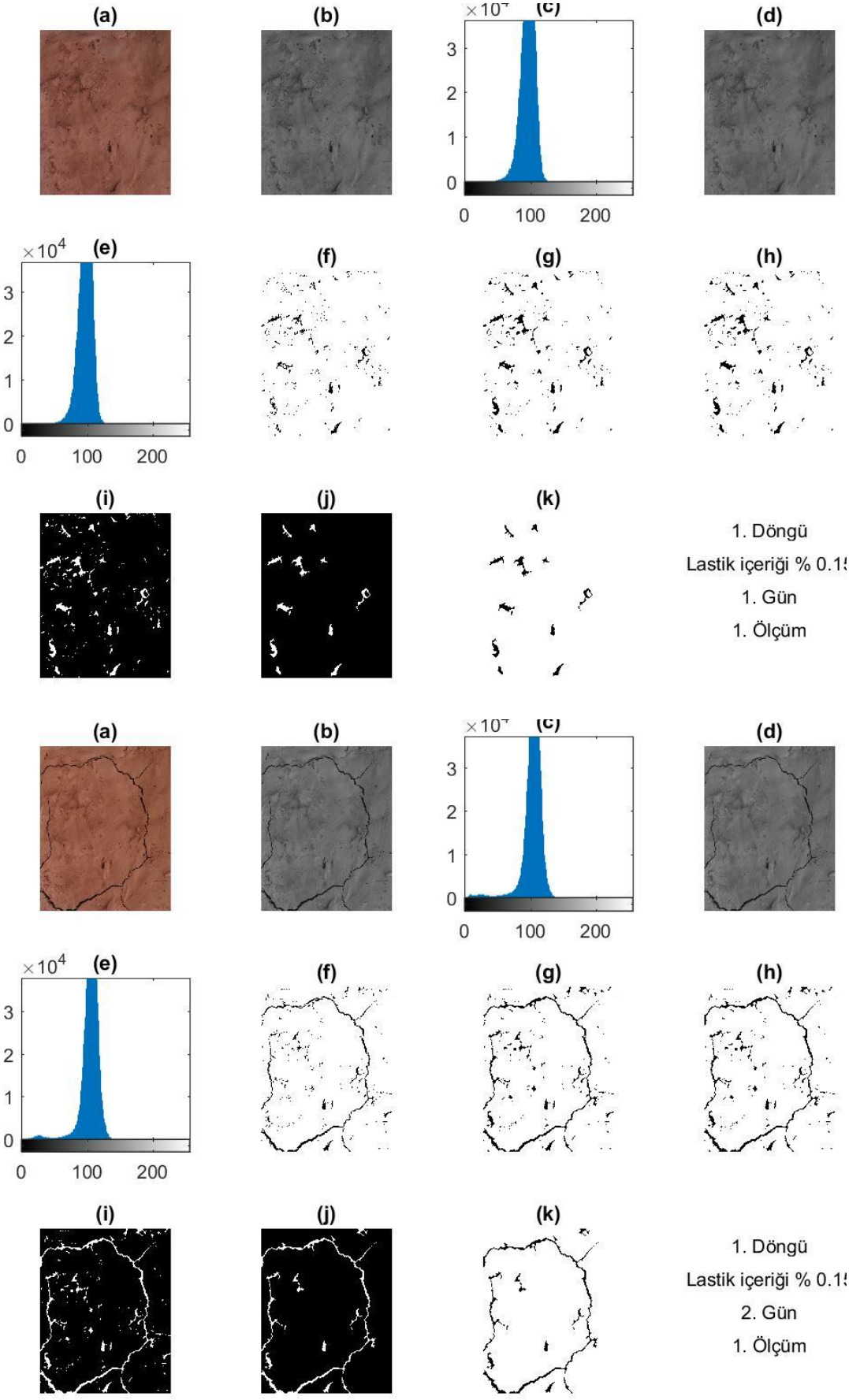
Şekil K.1 :Görüntü Analizleri



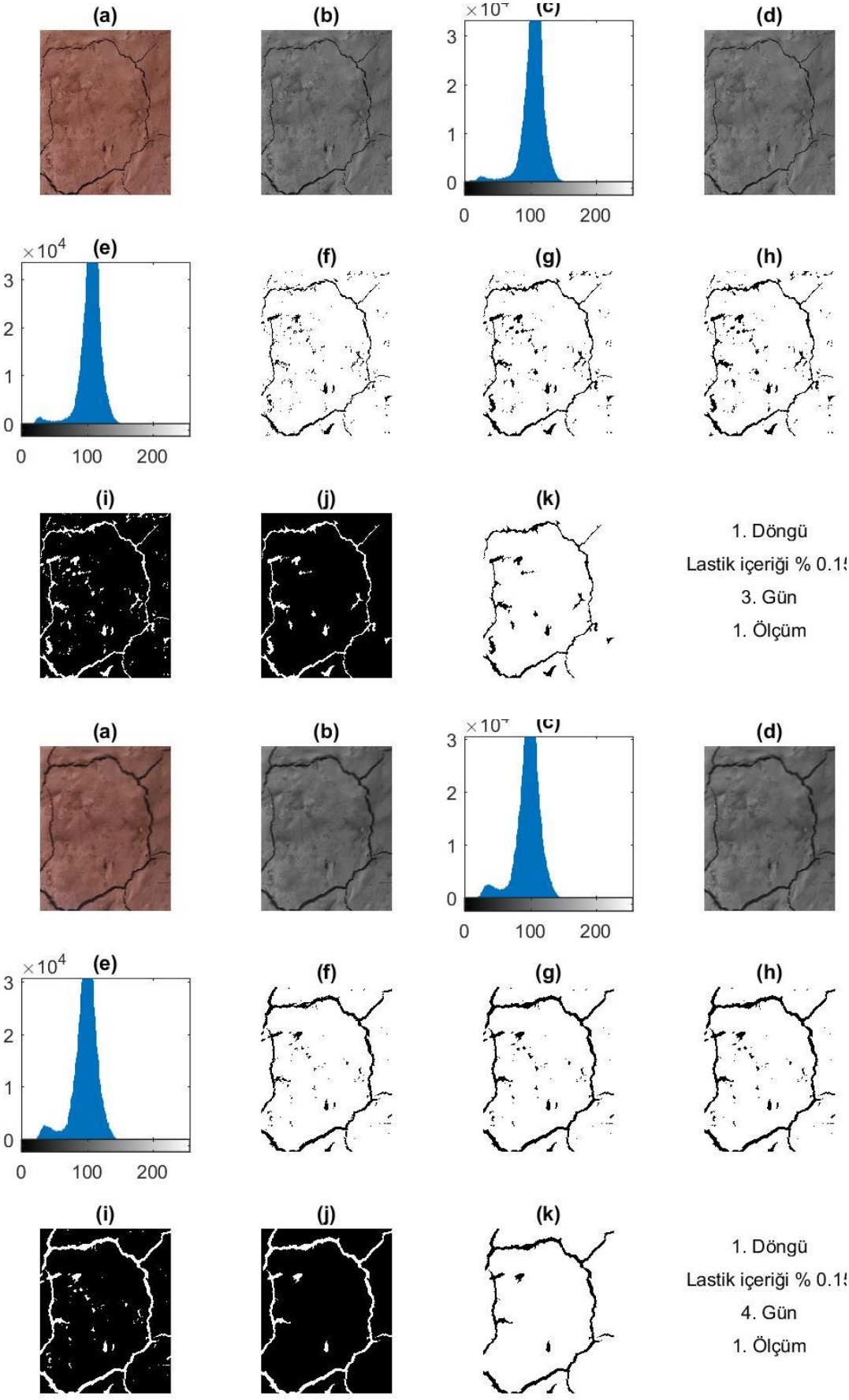
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



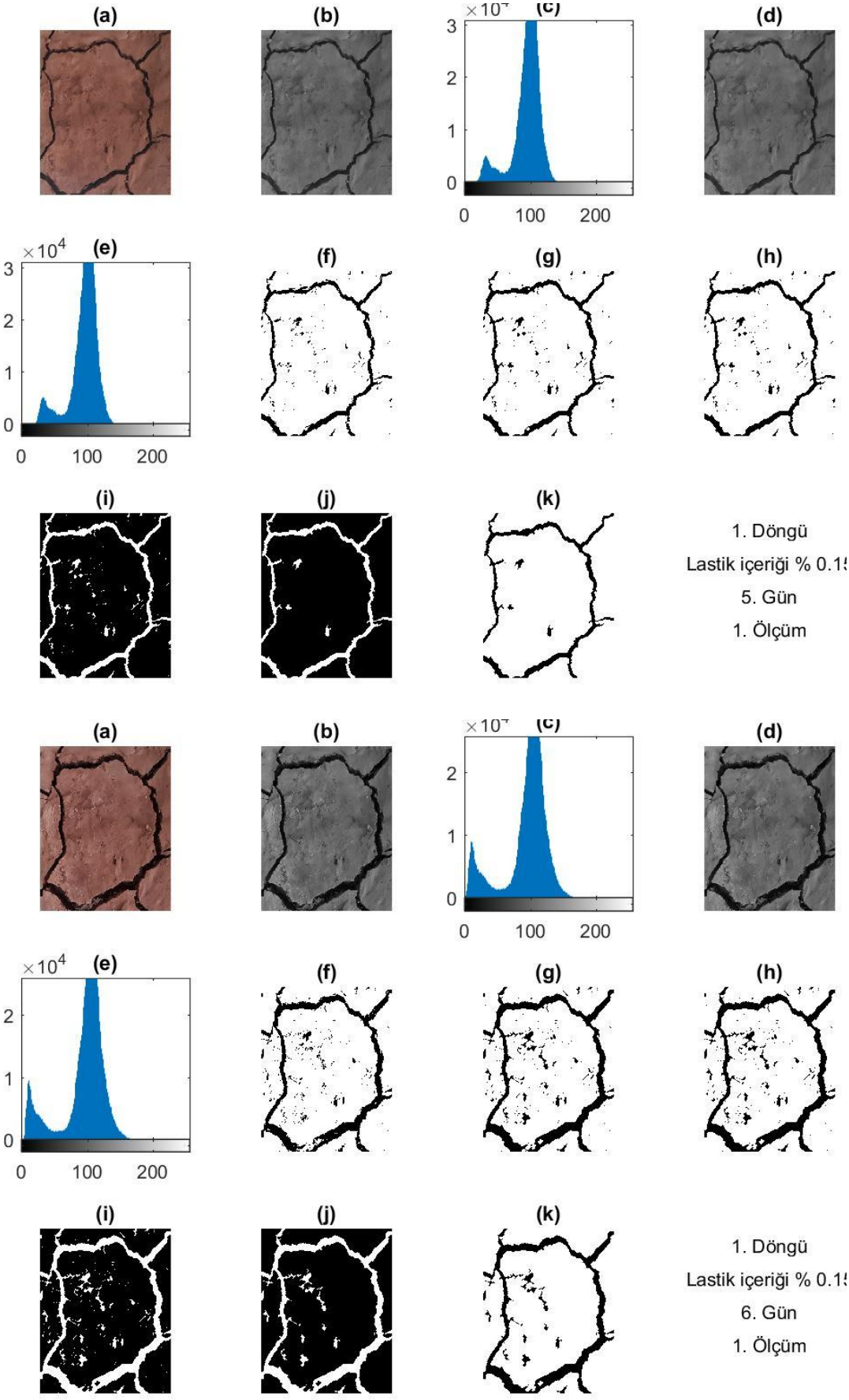
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



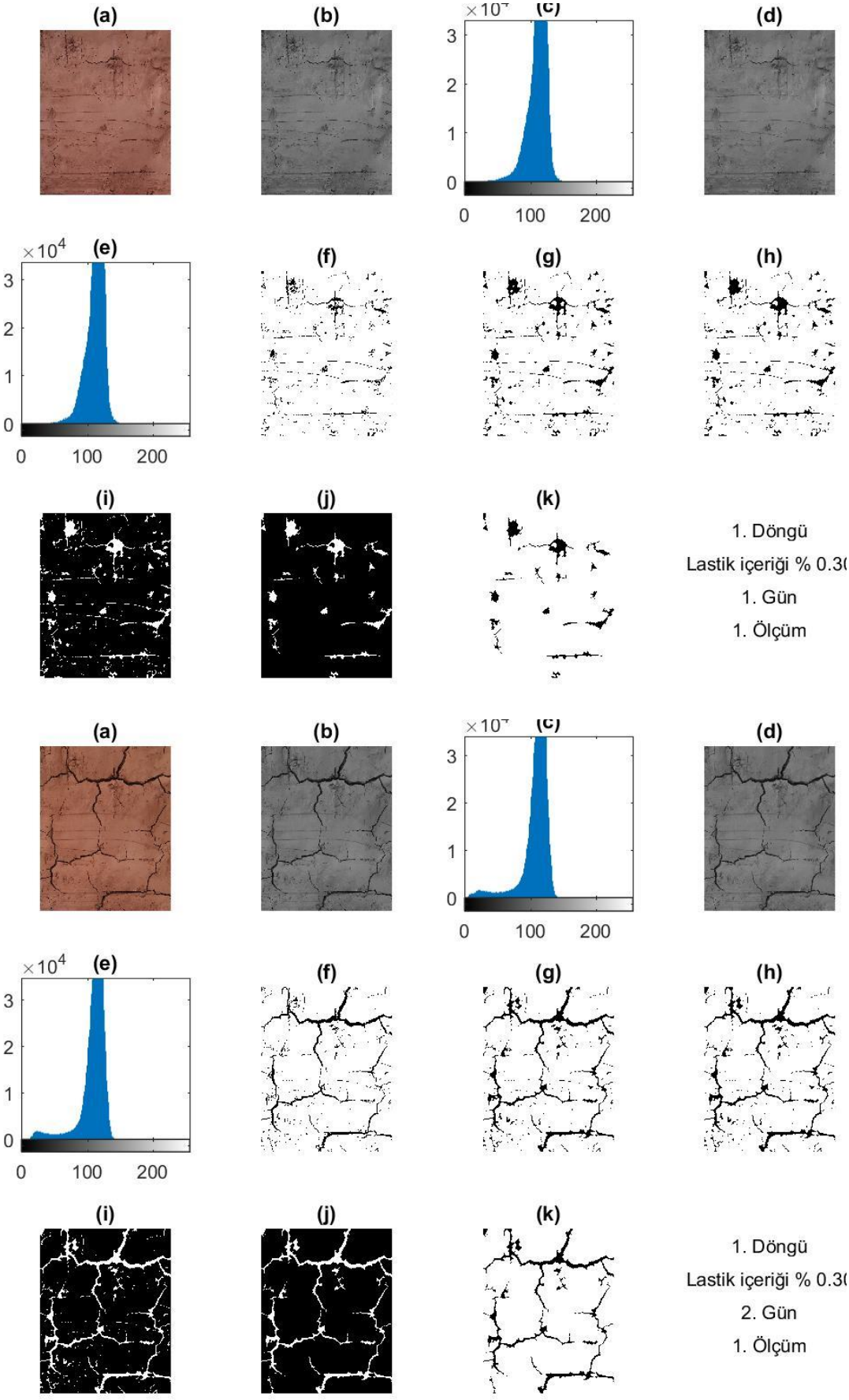
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



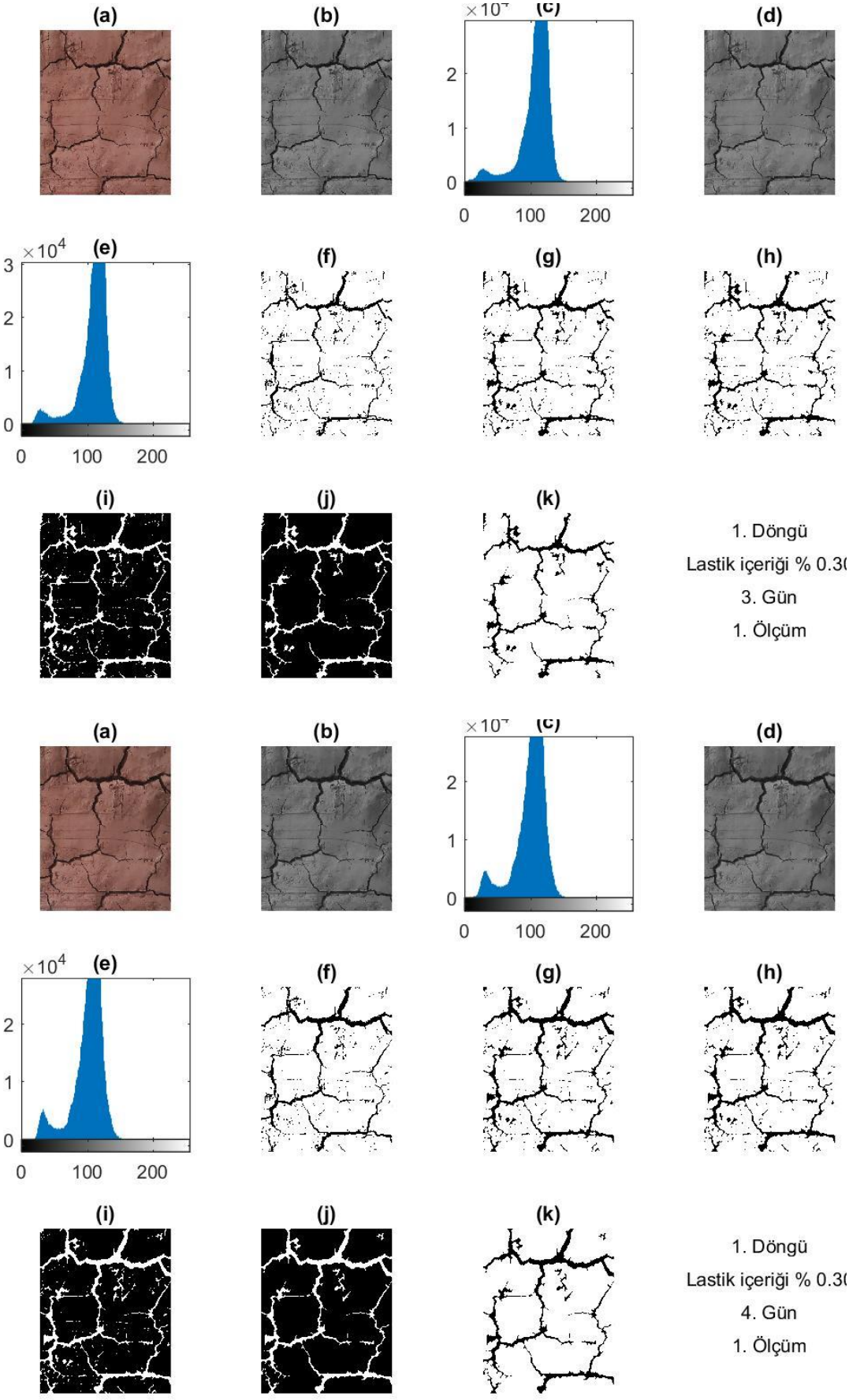
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



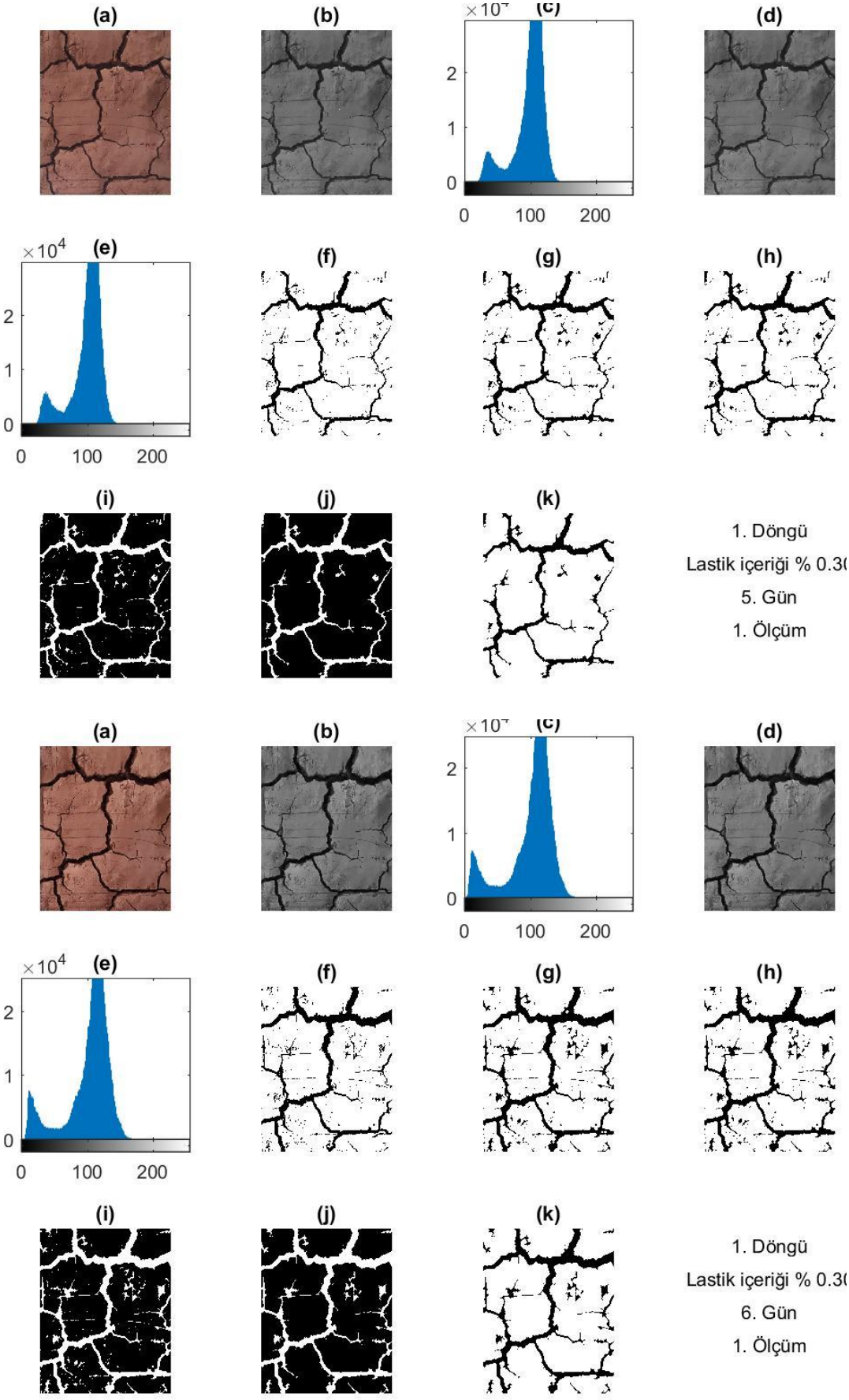
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



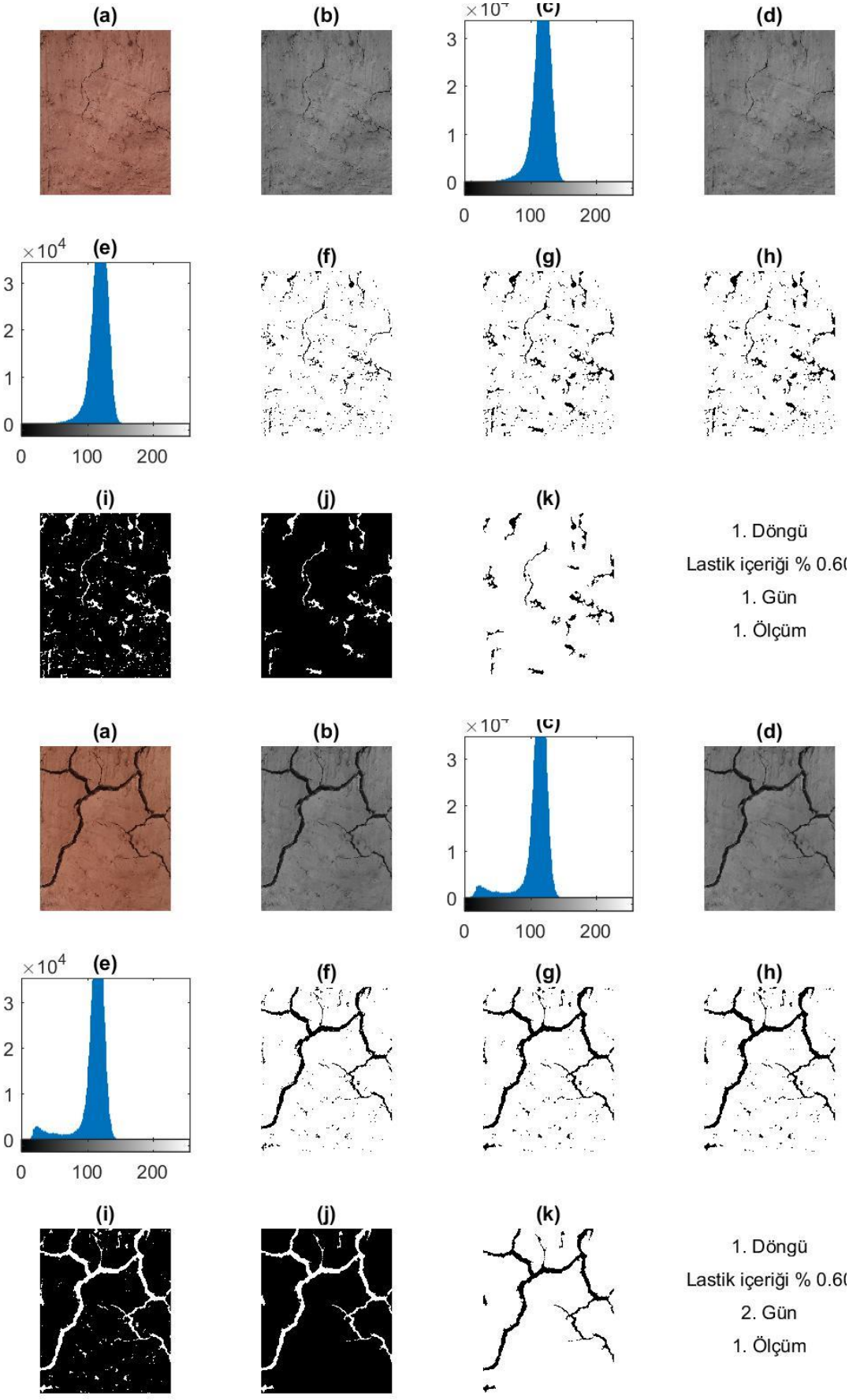
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



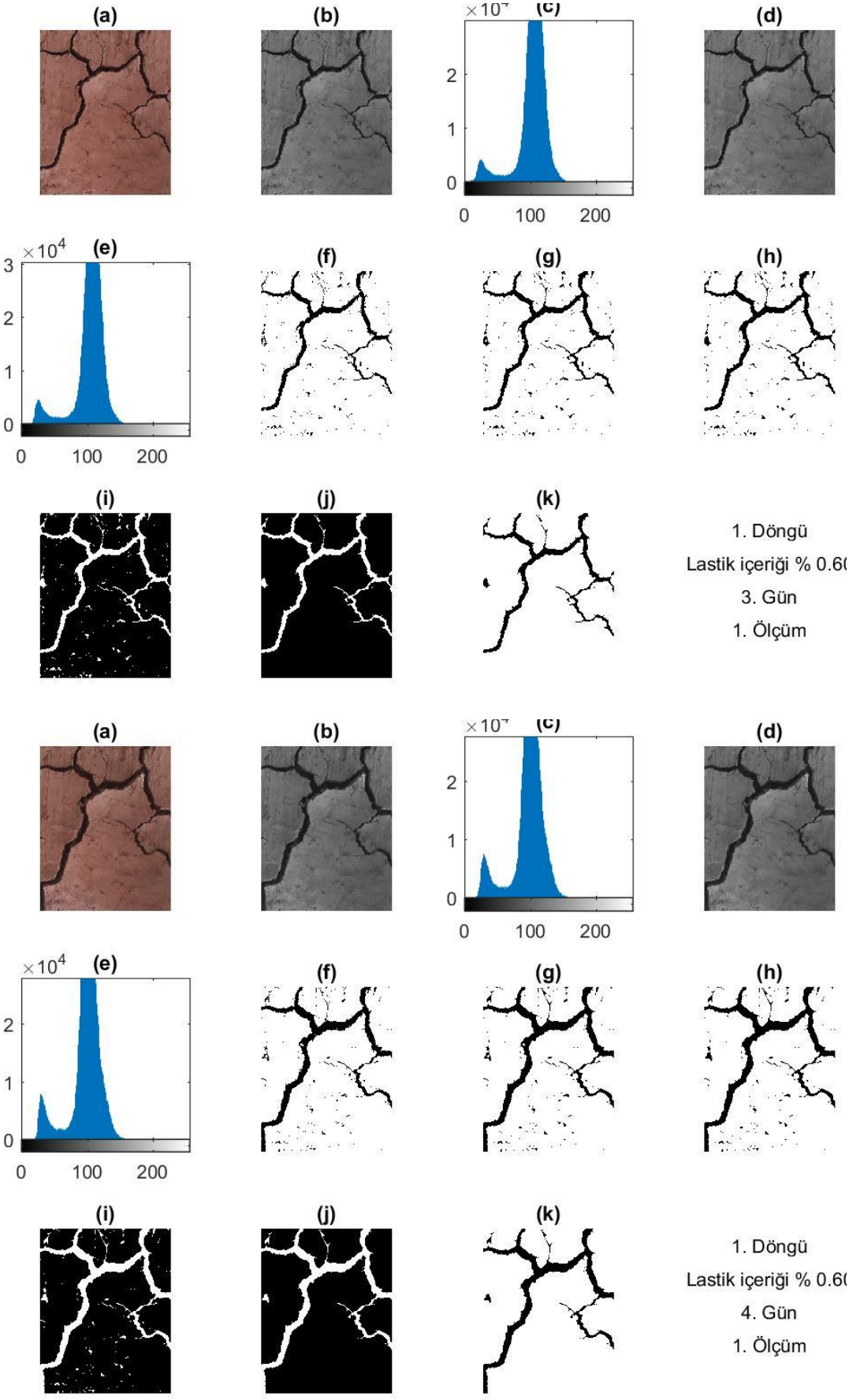
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



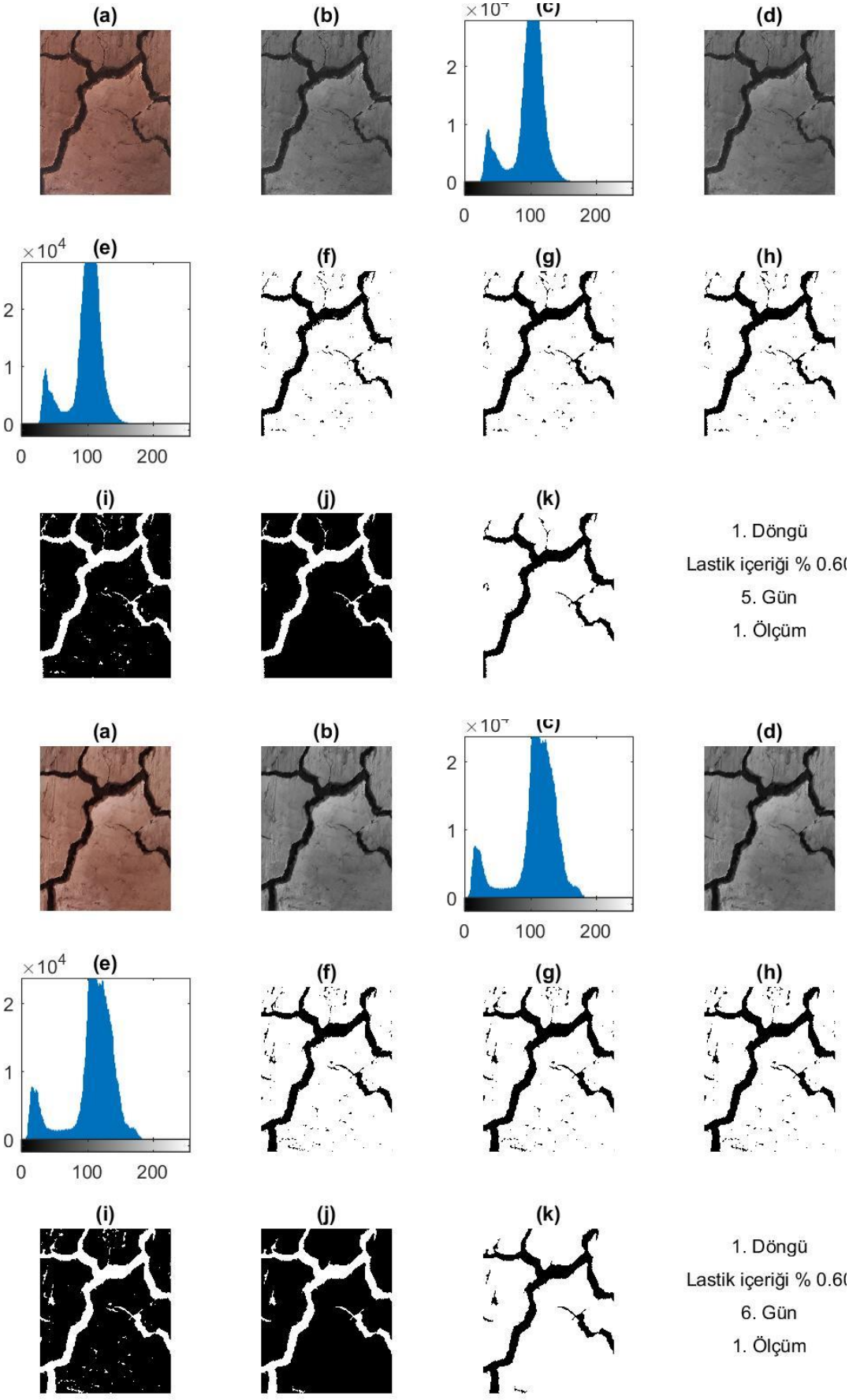
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



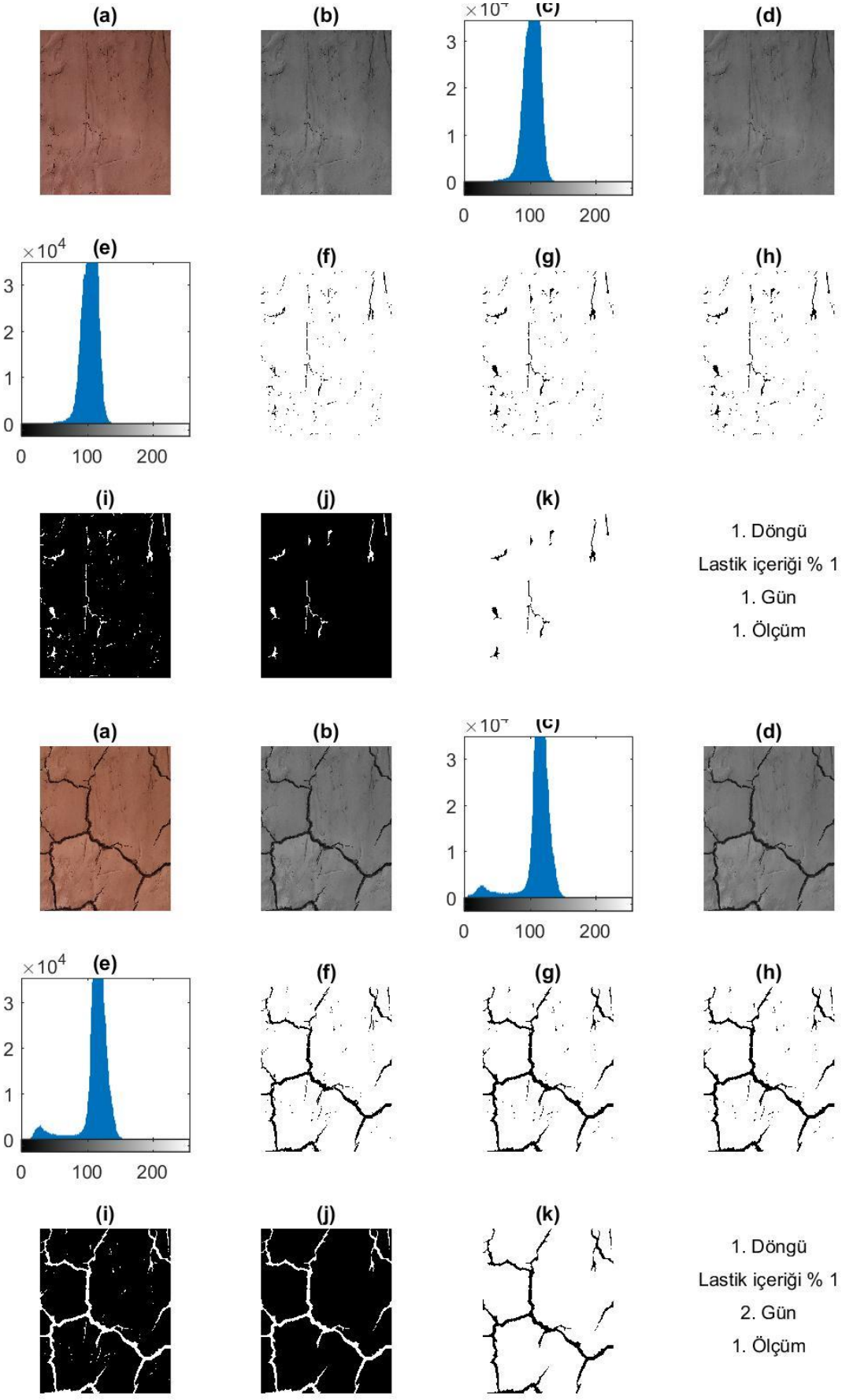
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



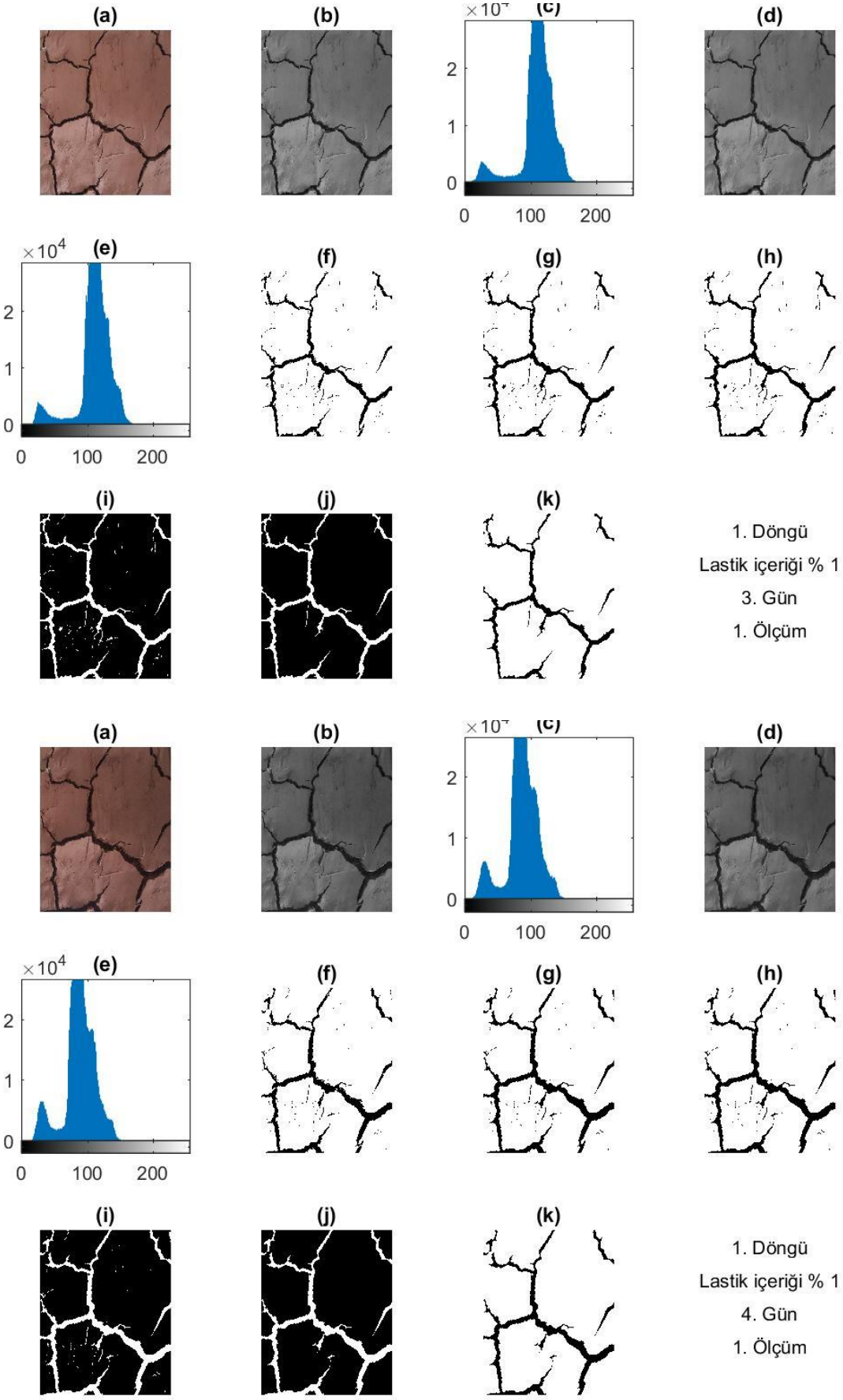
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



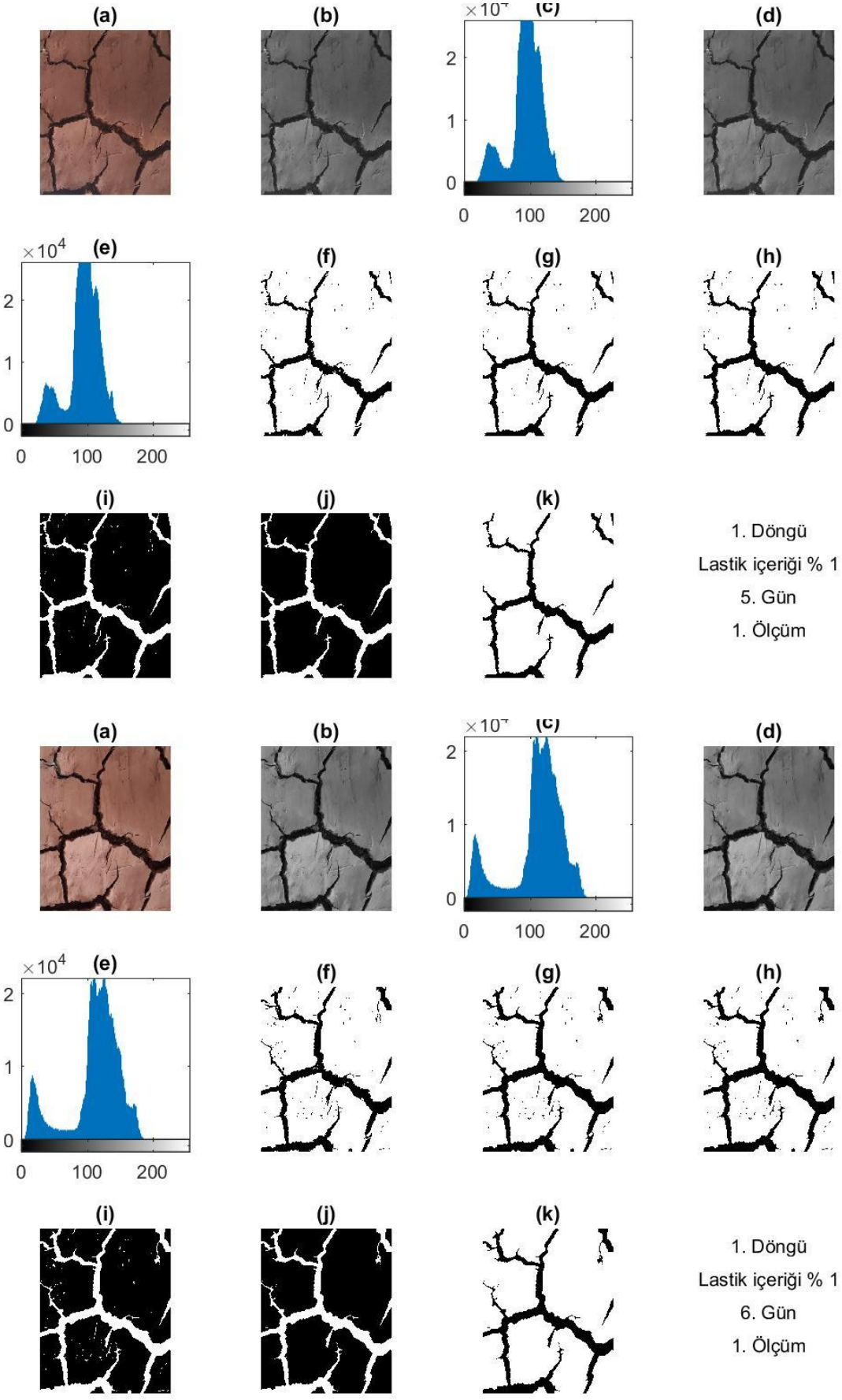
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



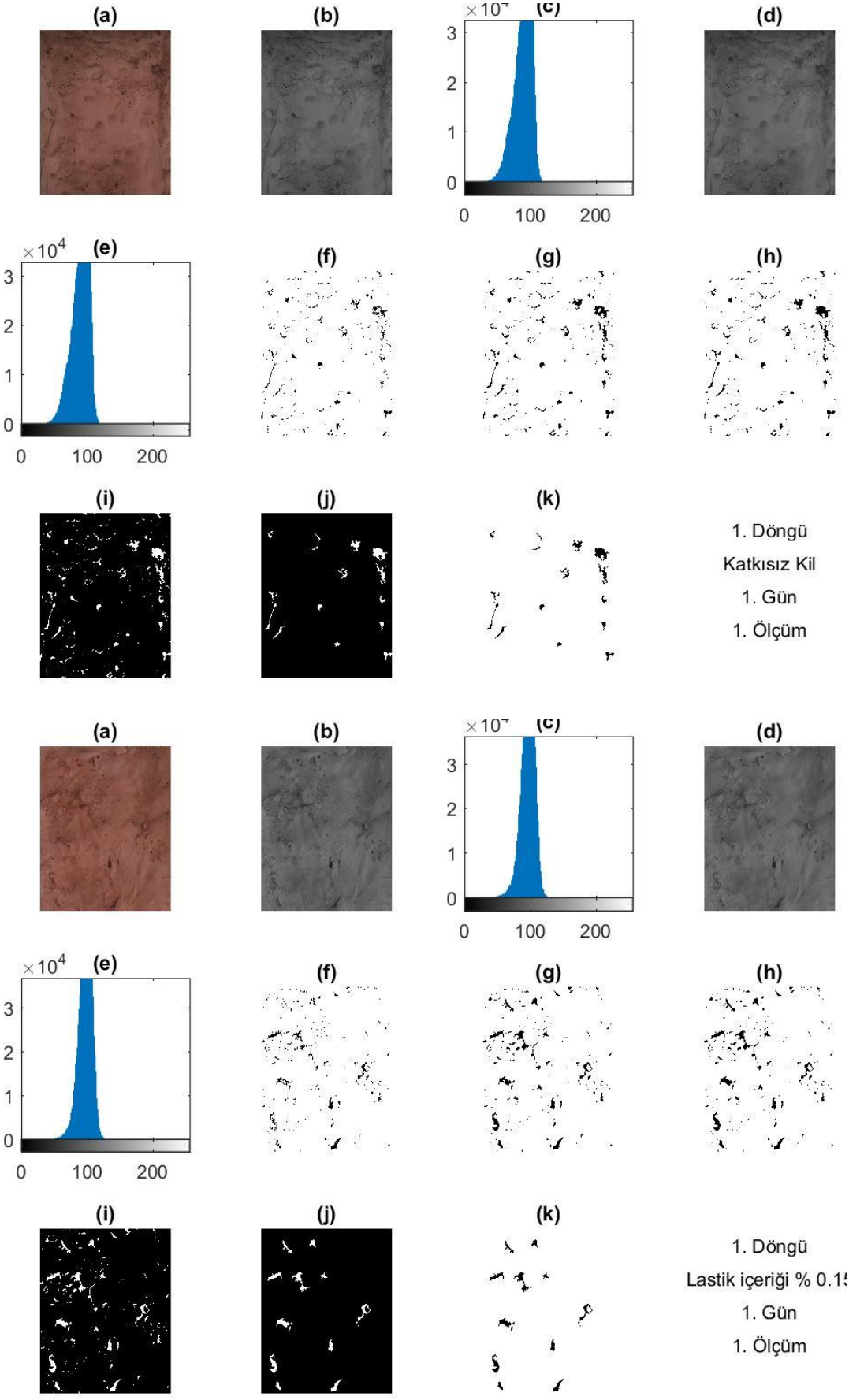
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



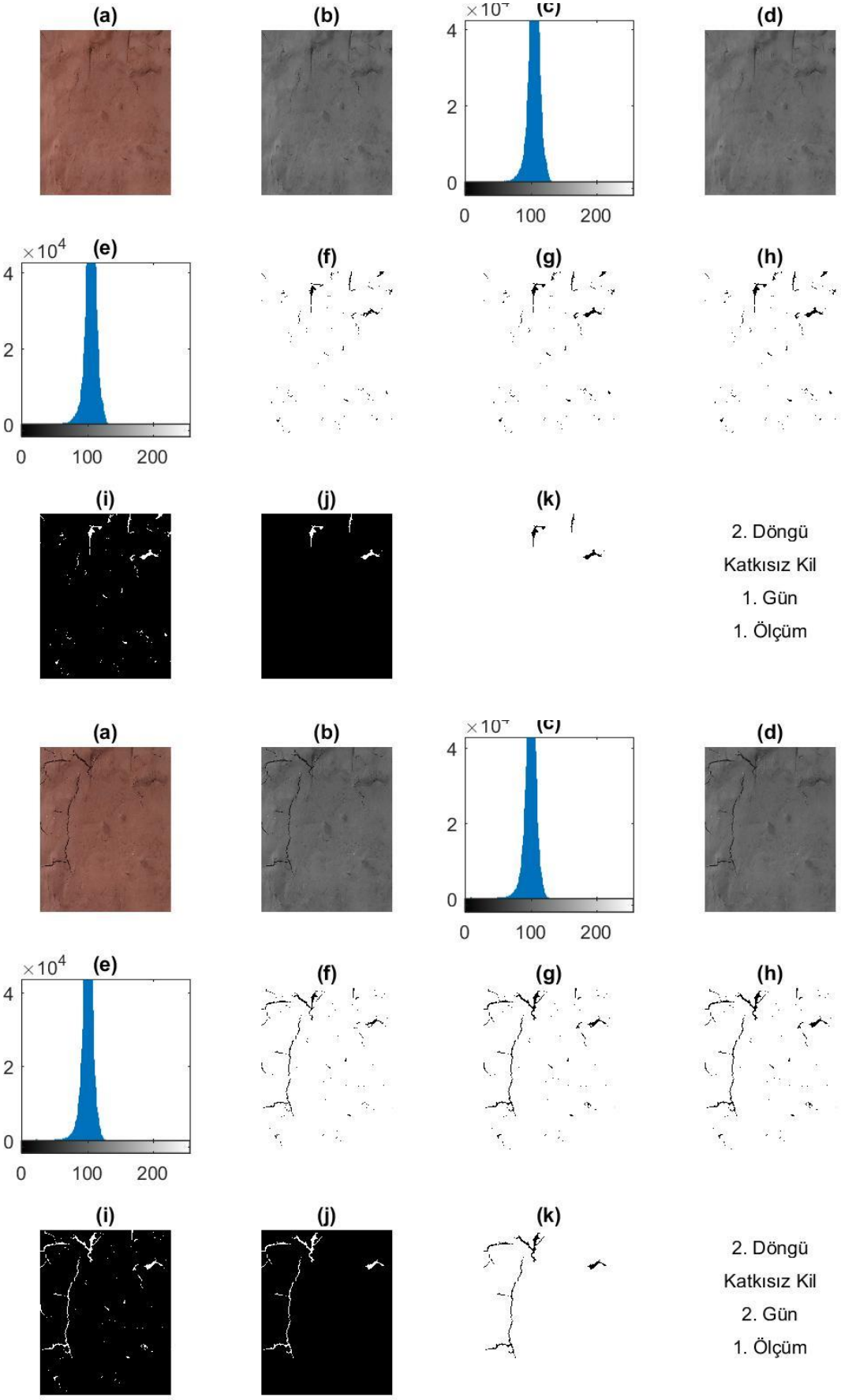
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



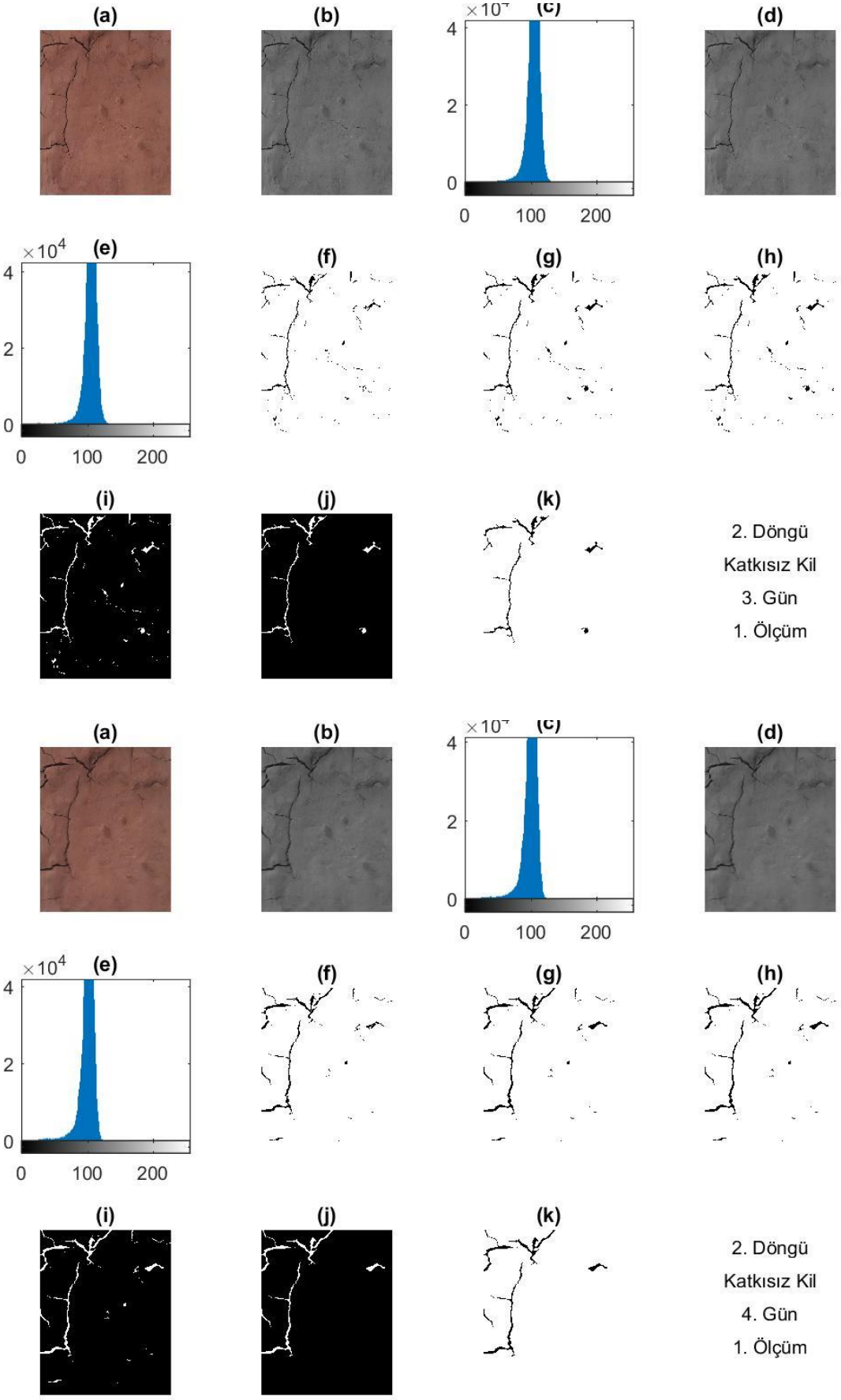
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



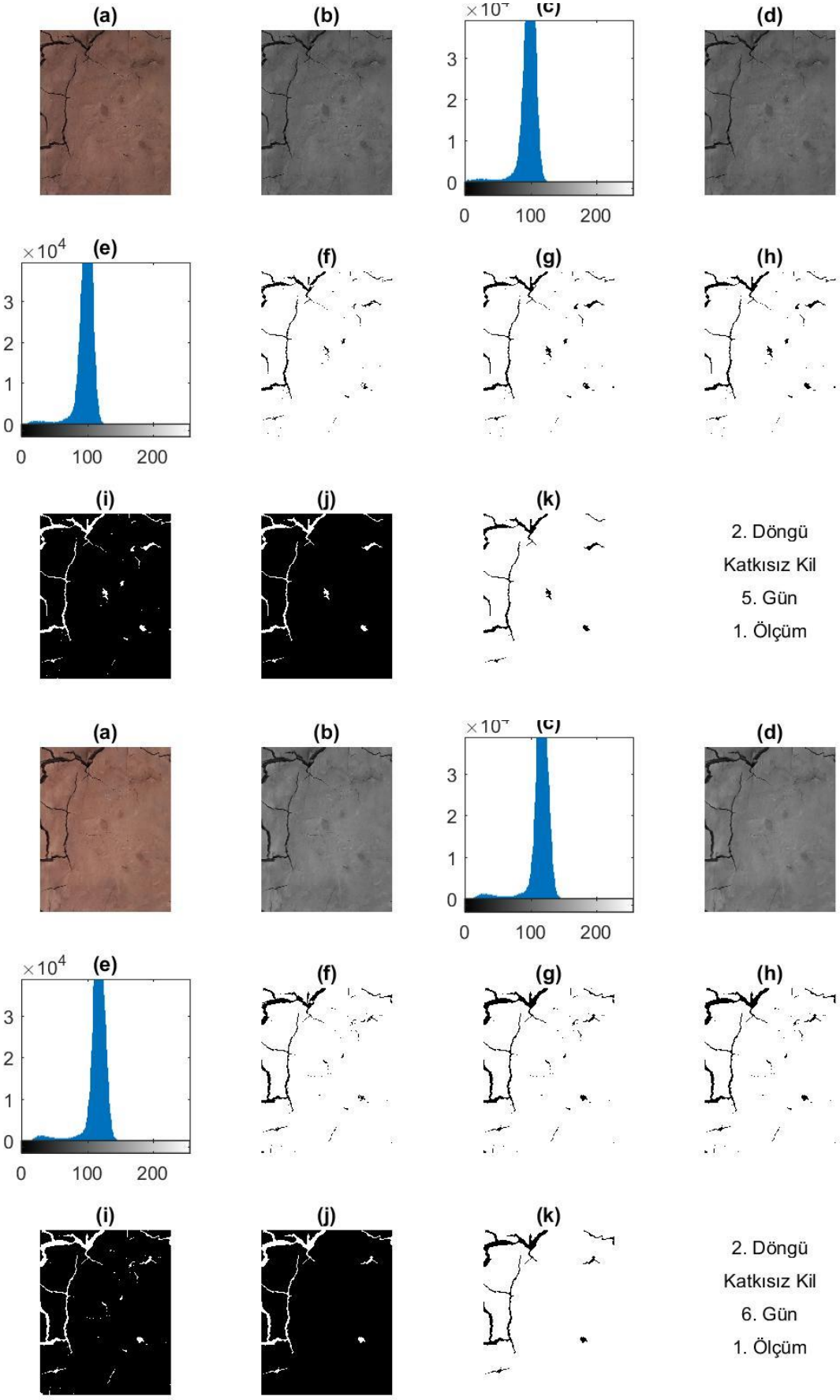
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



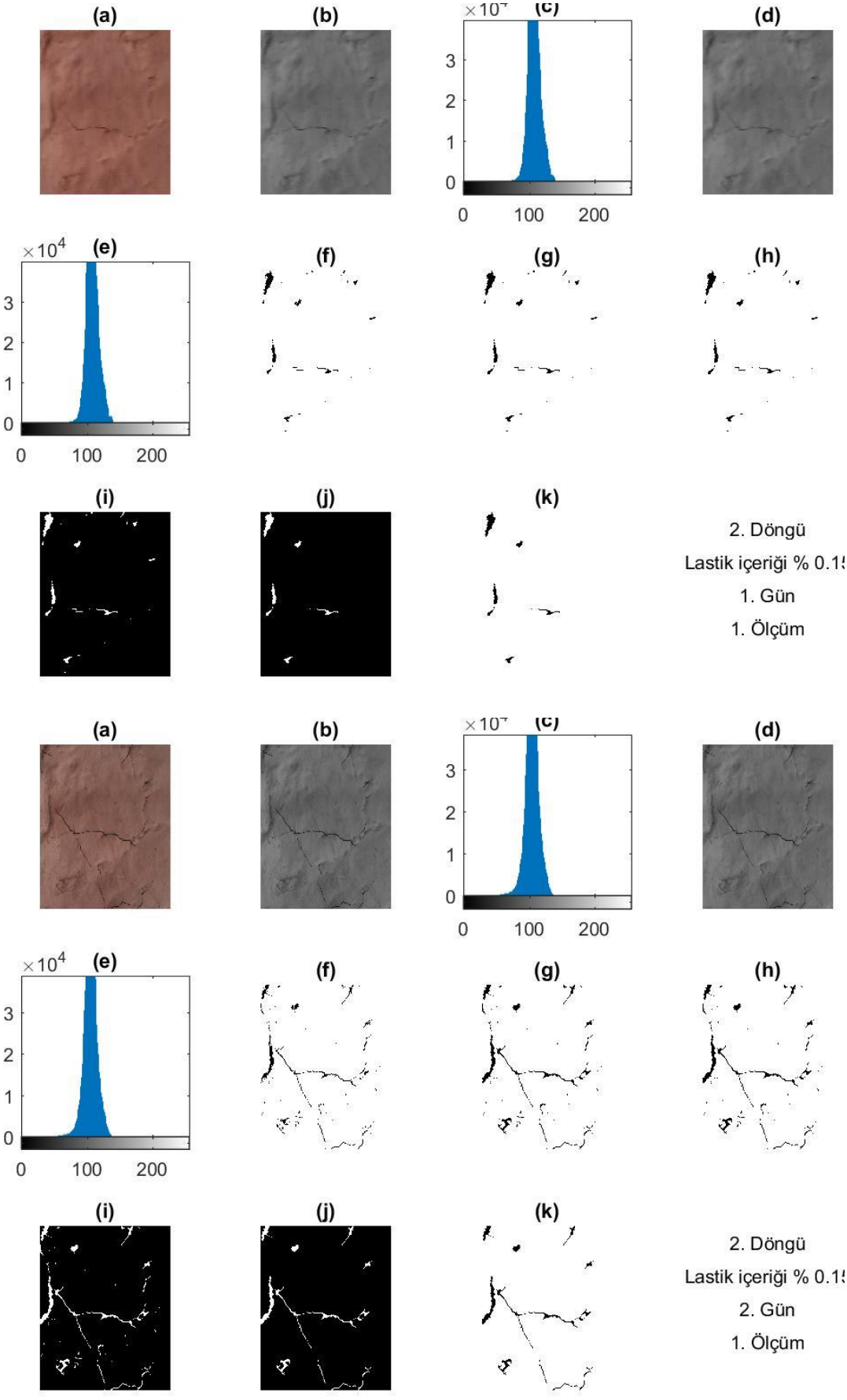
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



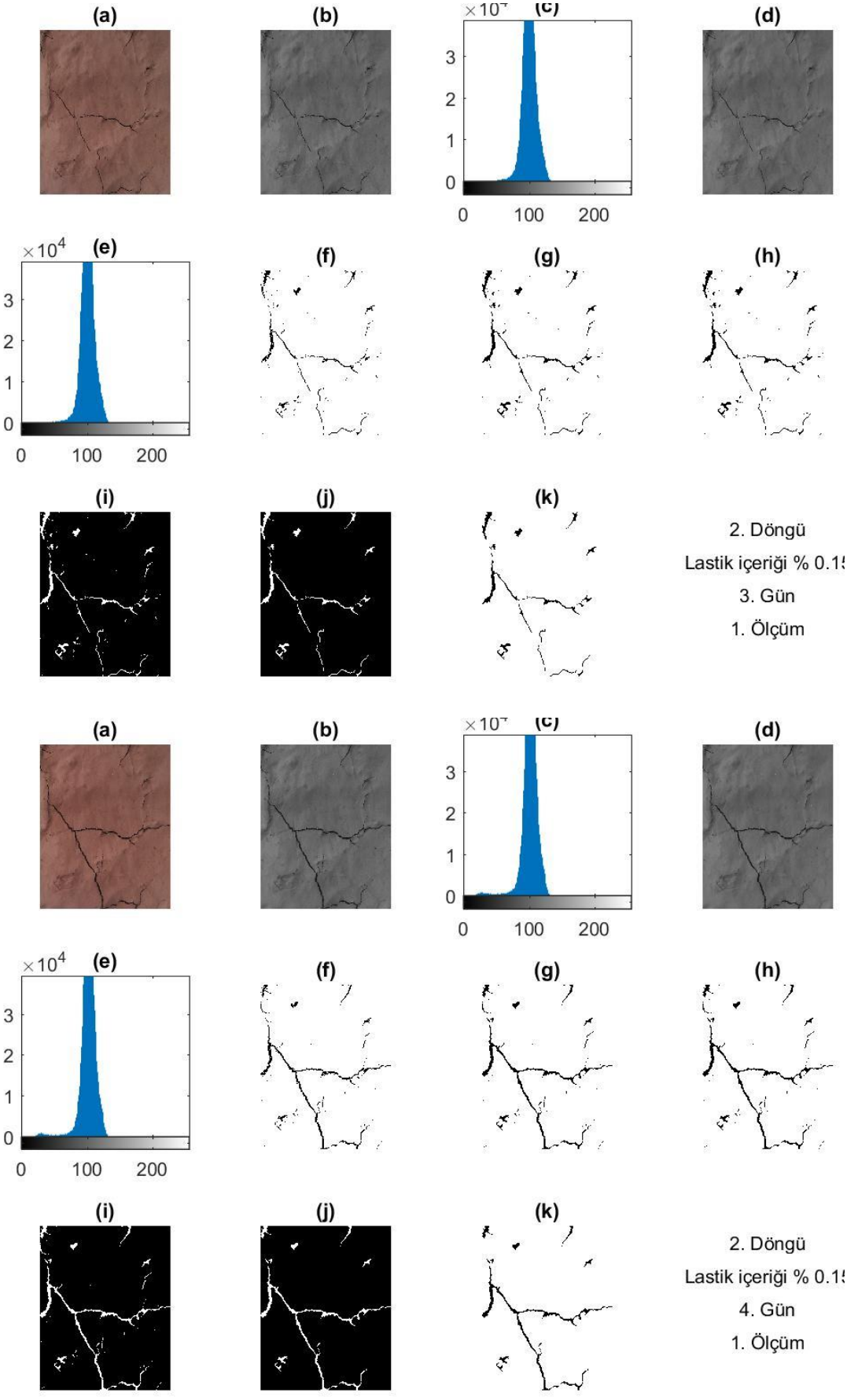
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



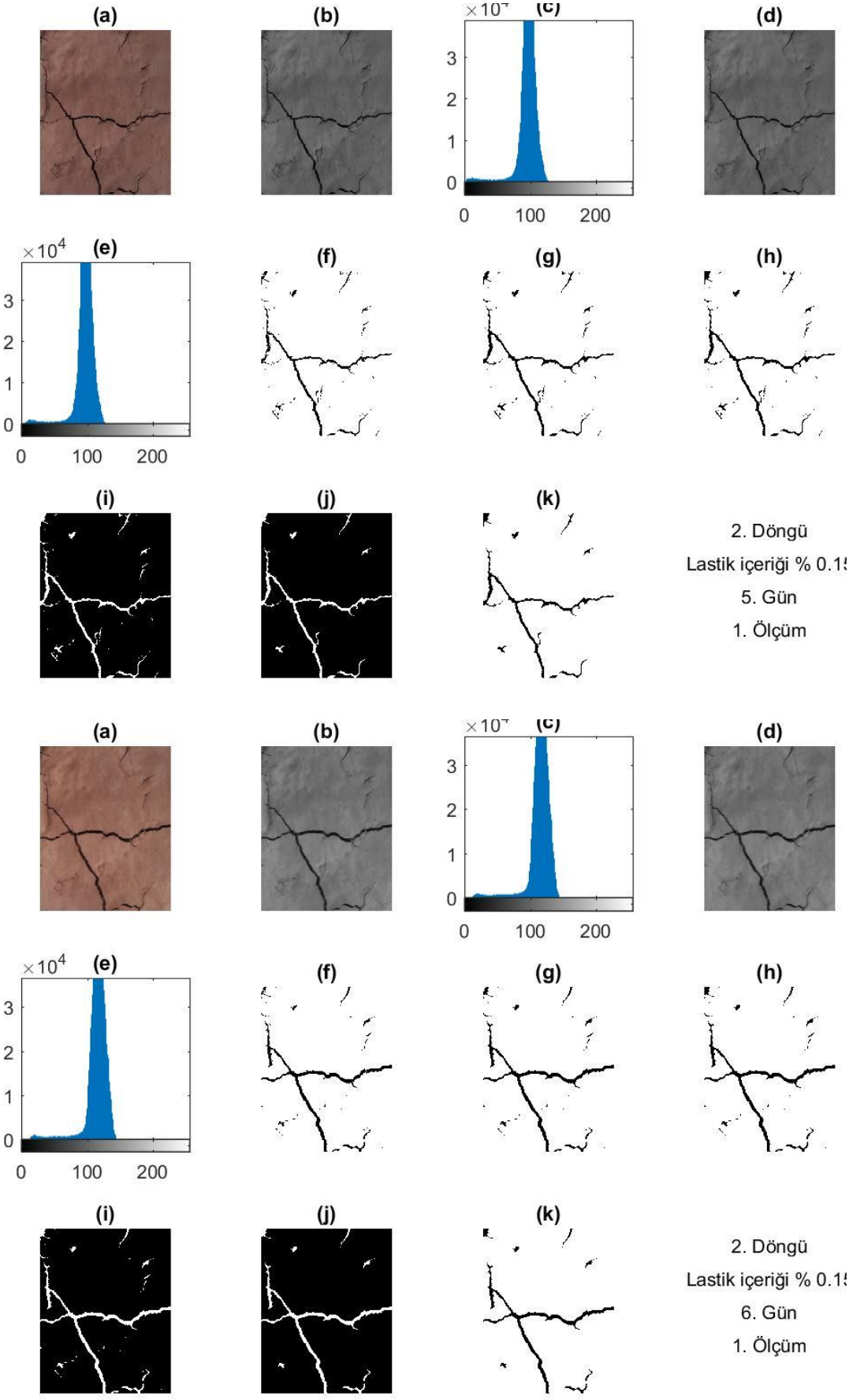
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



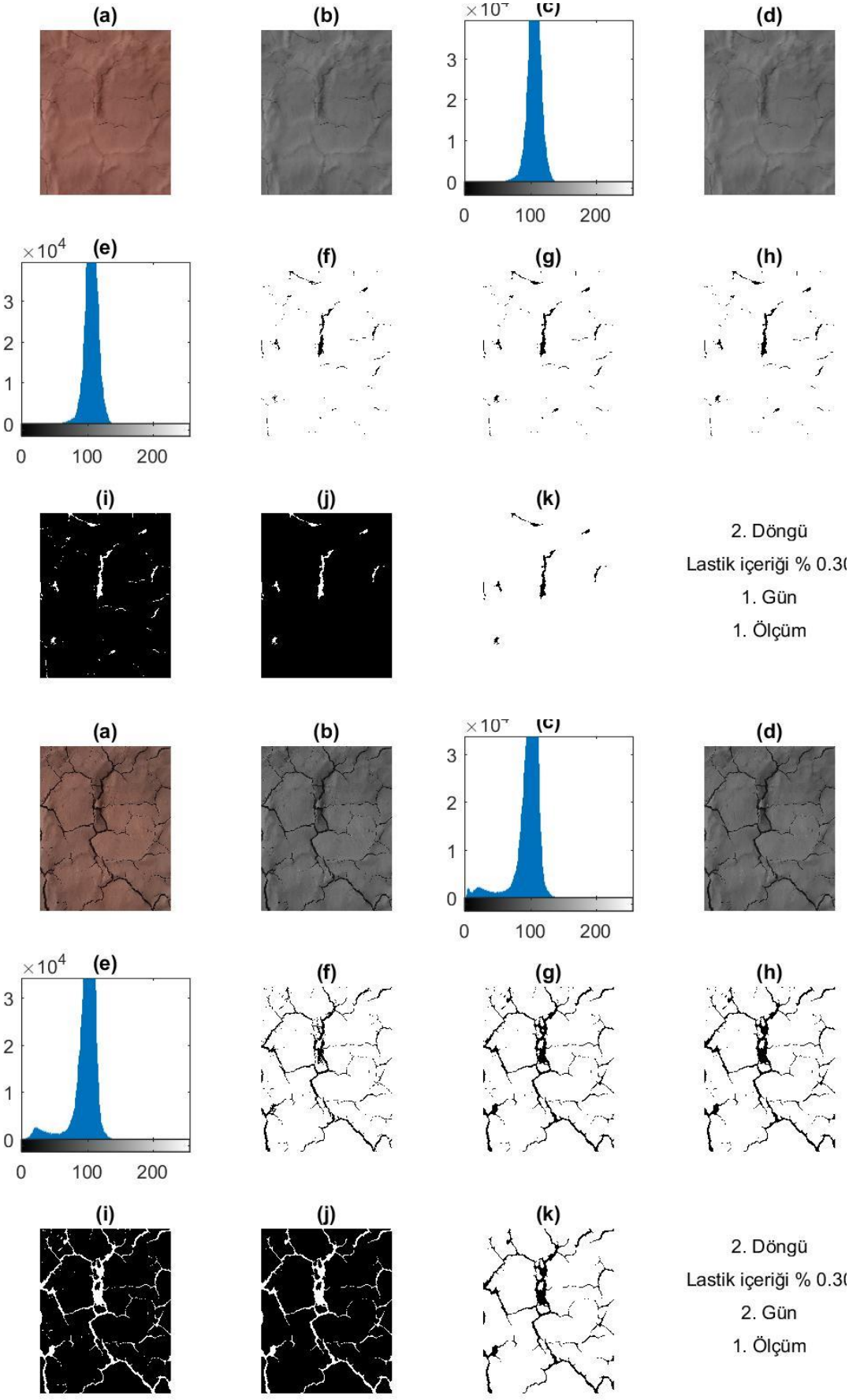
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



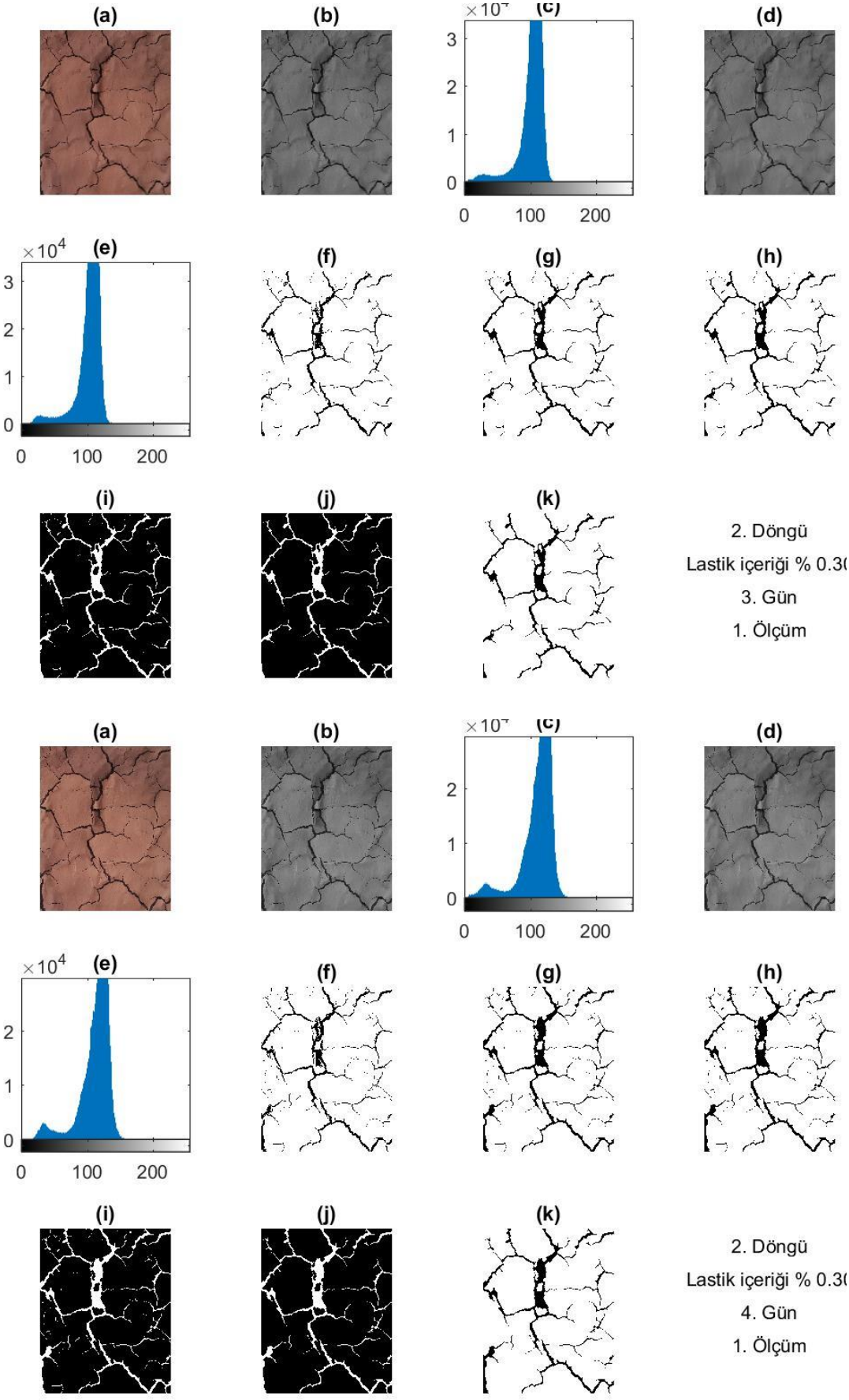
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



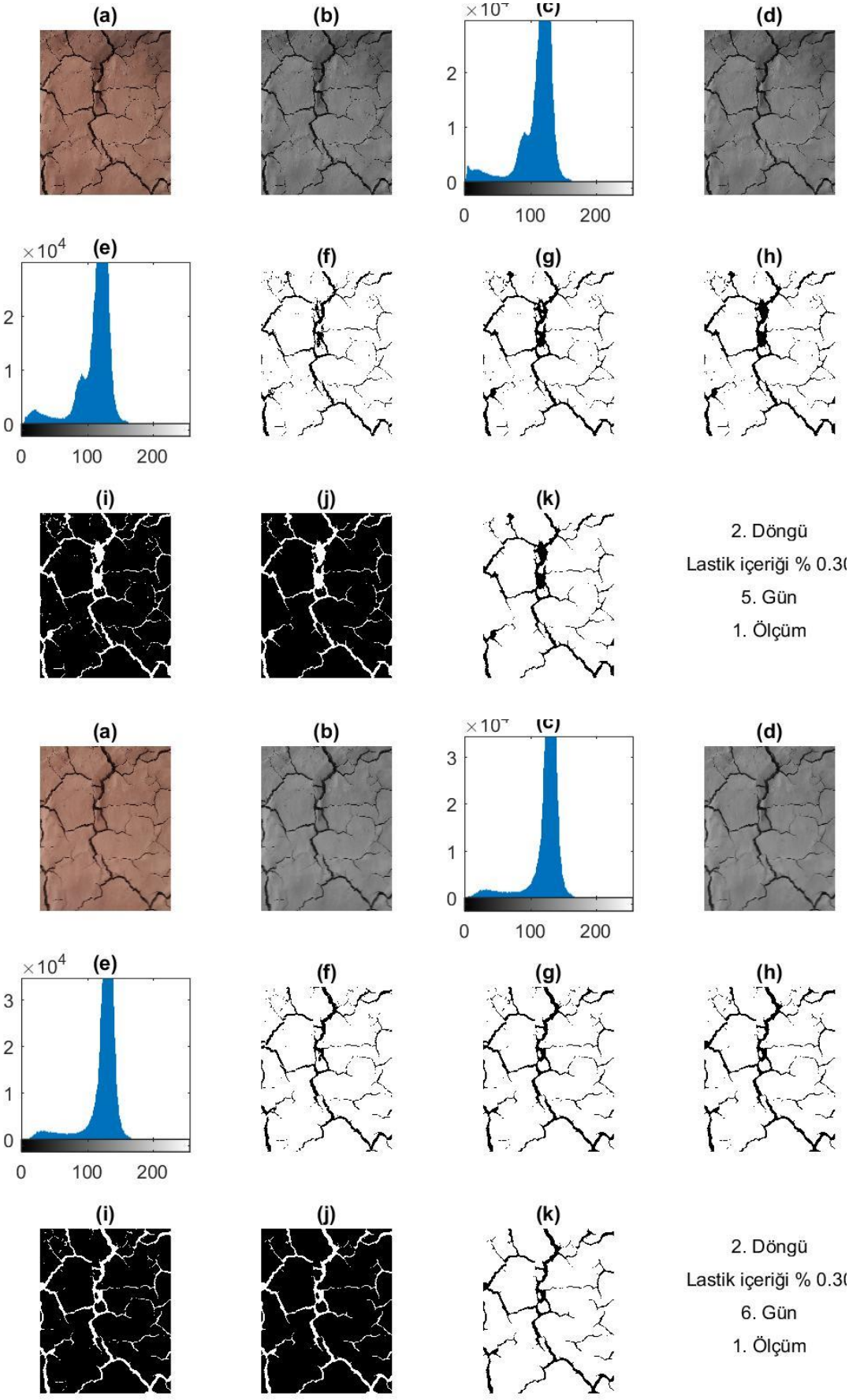
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



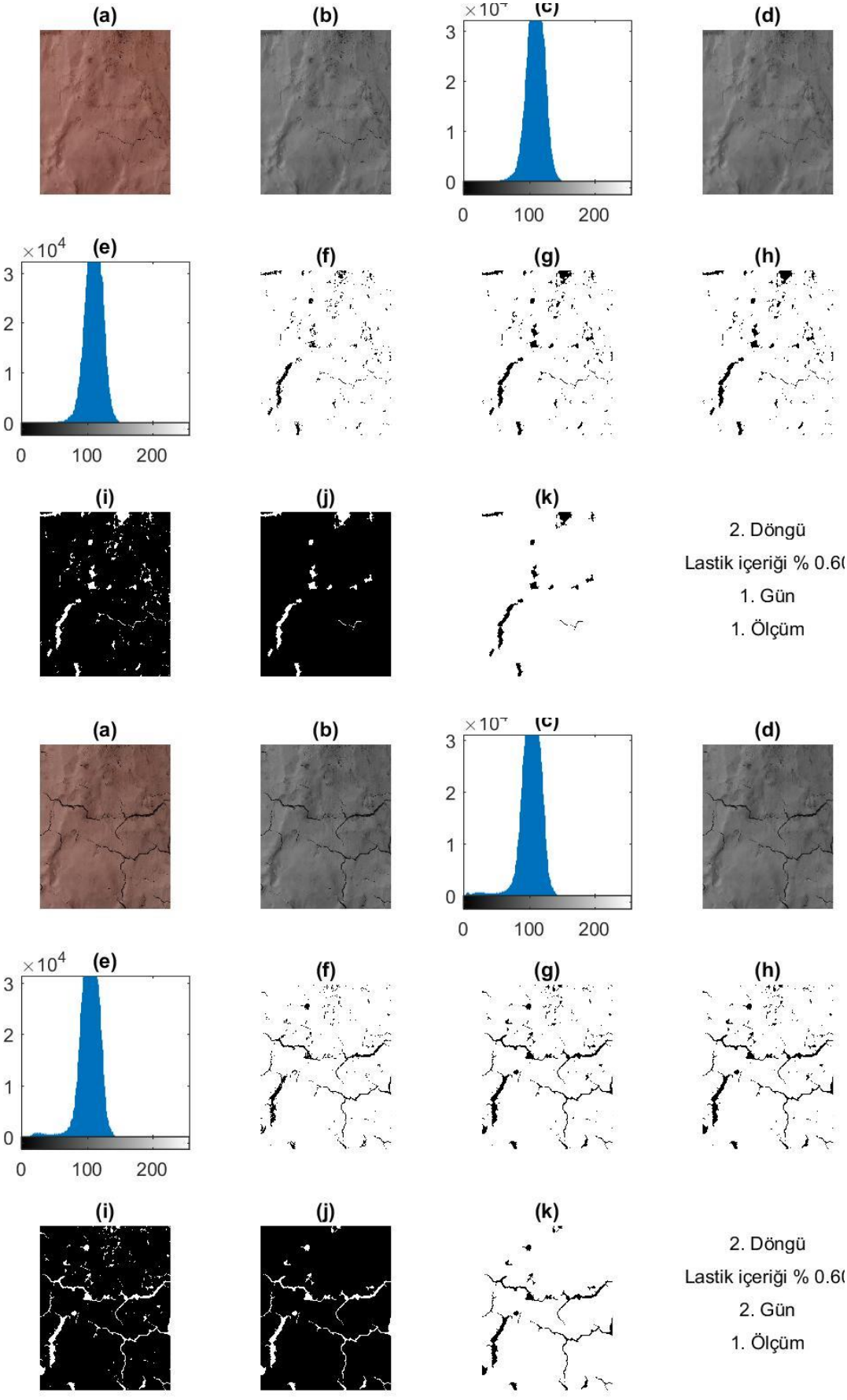
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



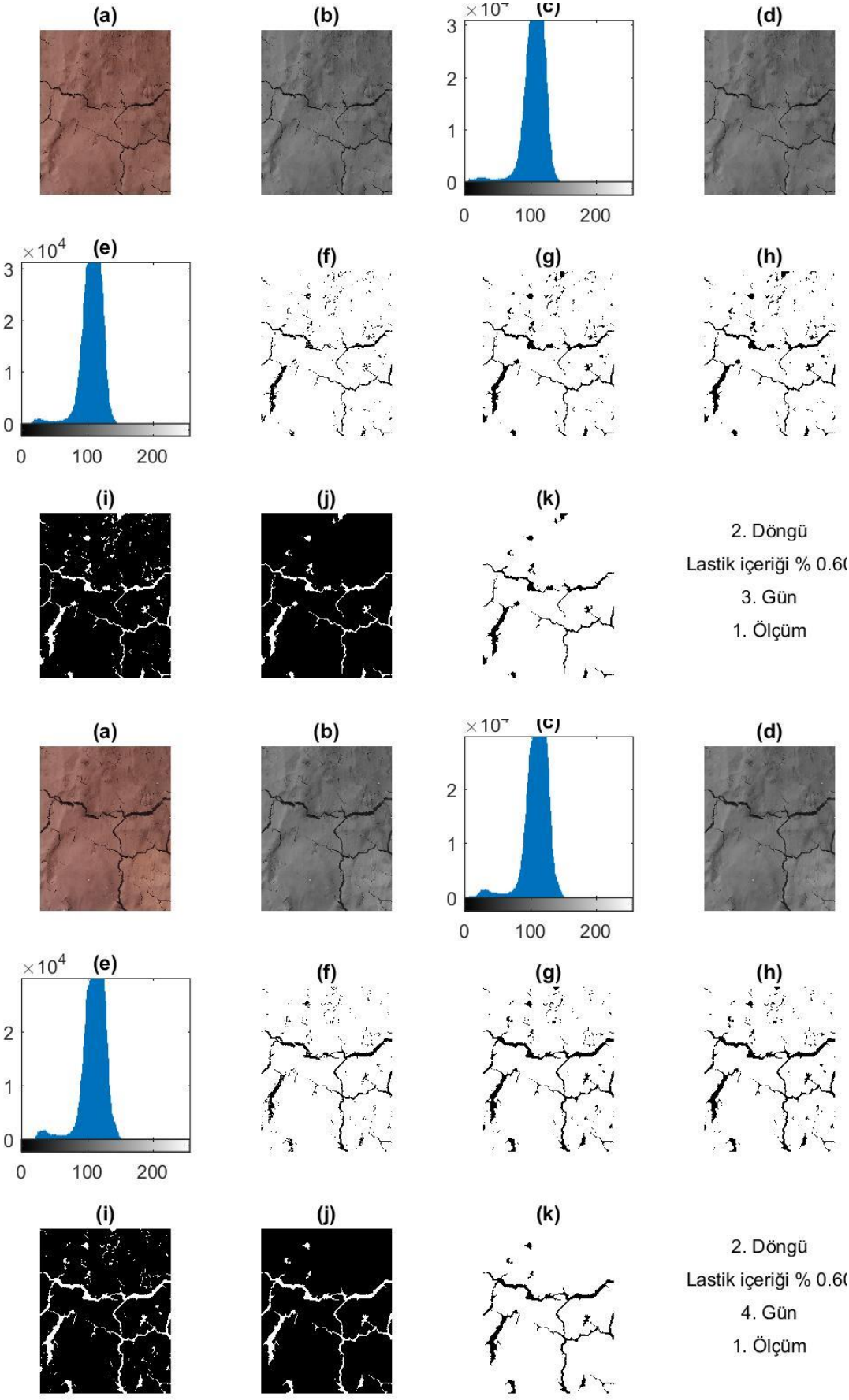
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



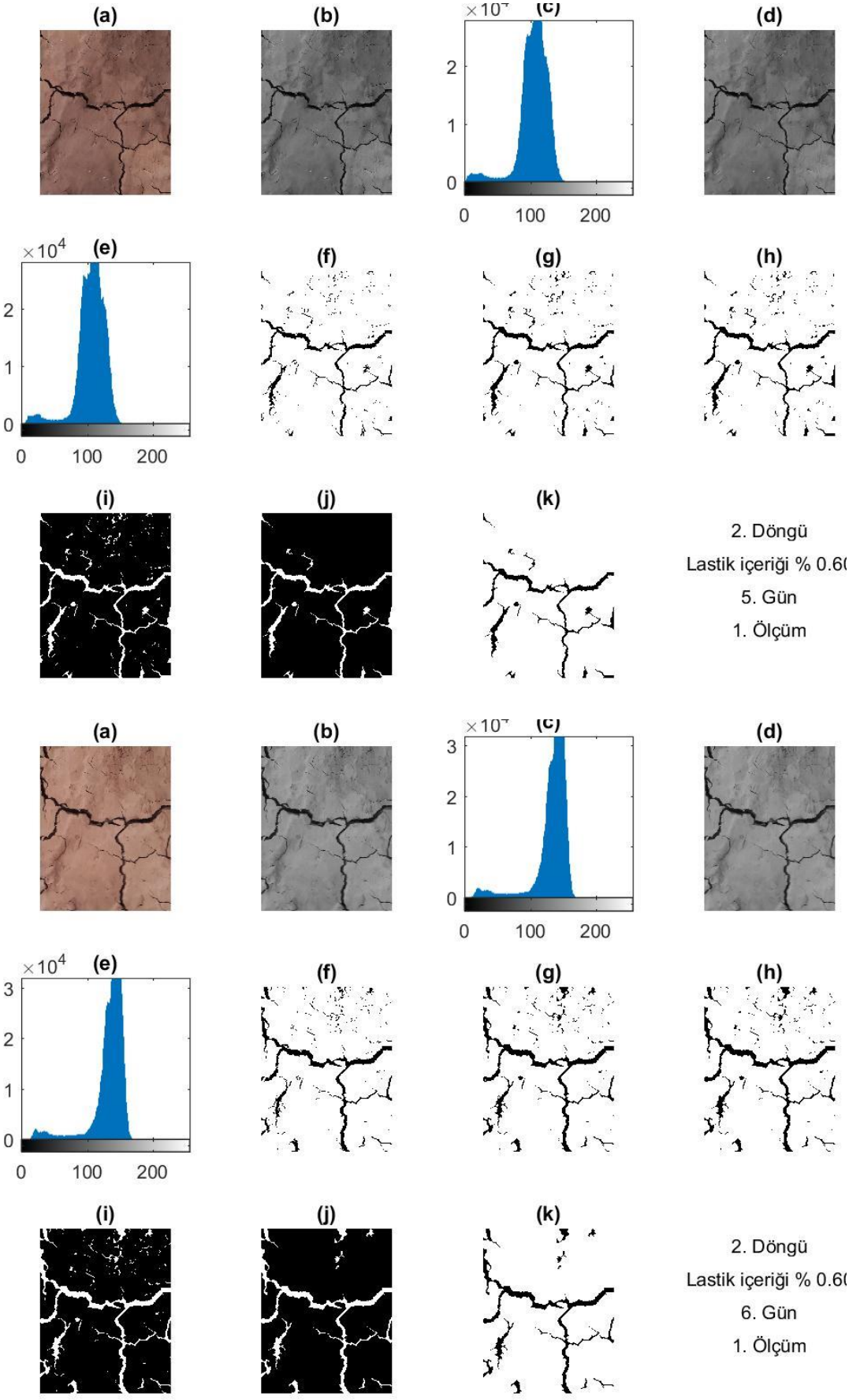
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



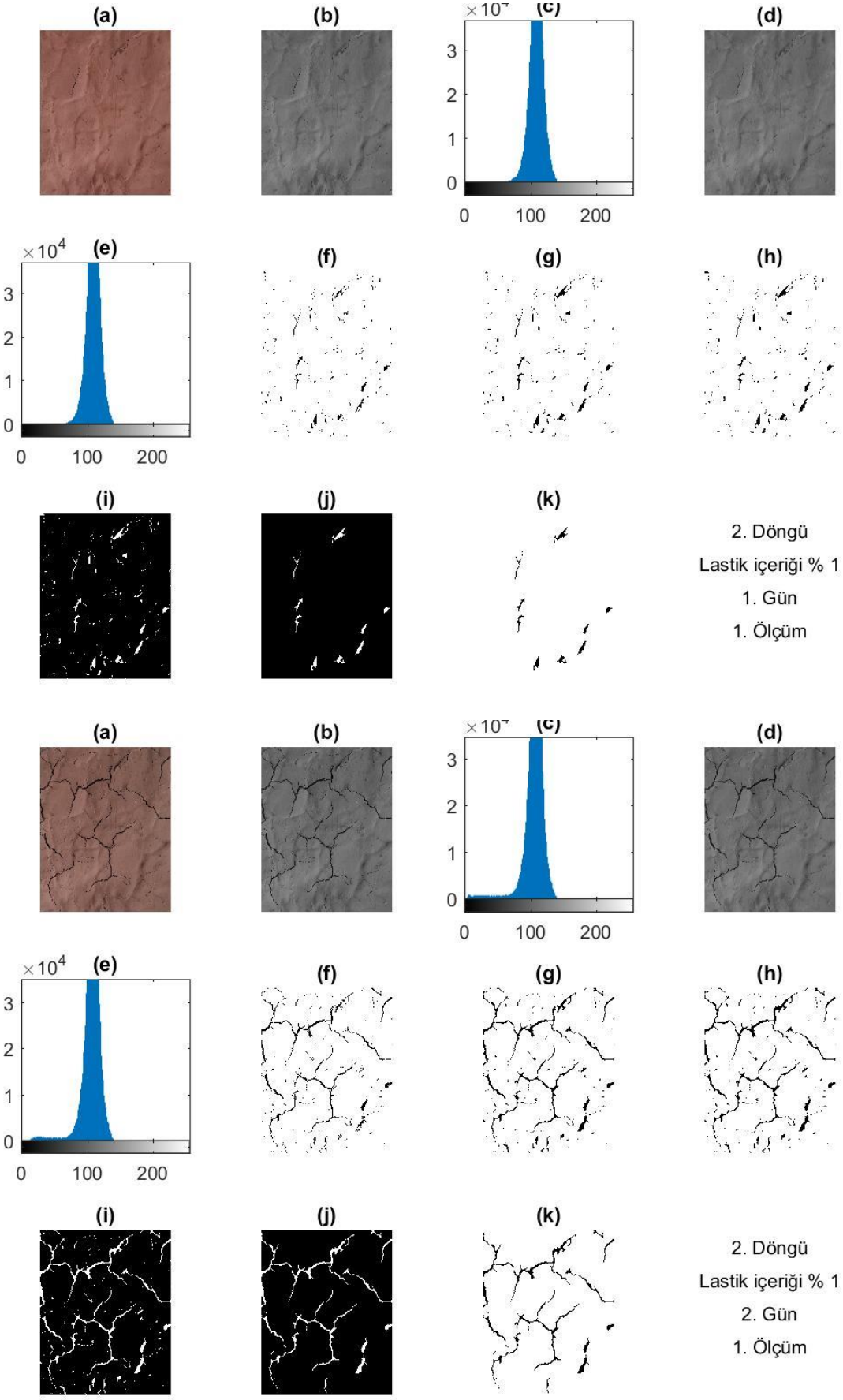
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



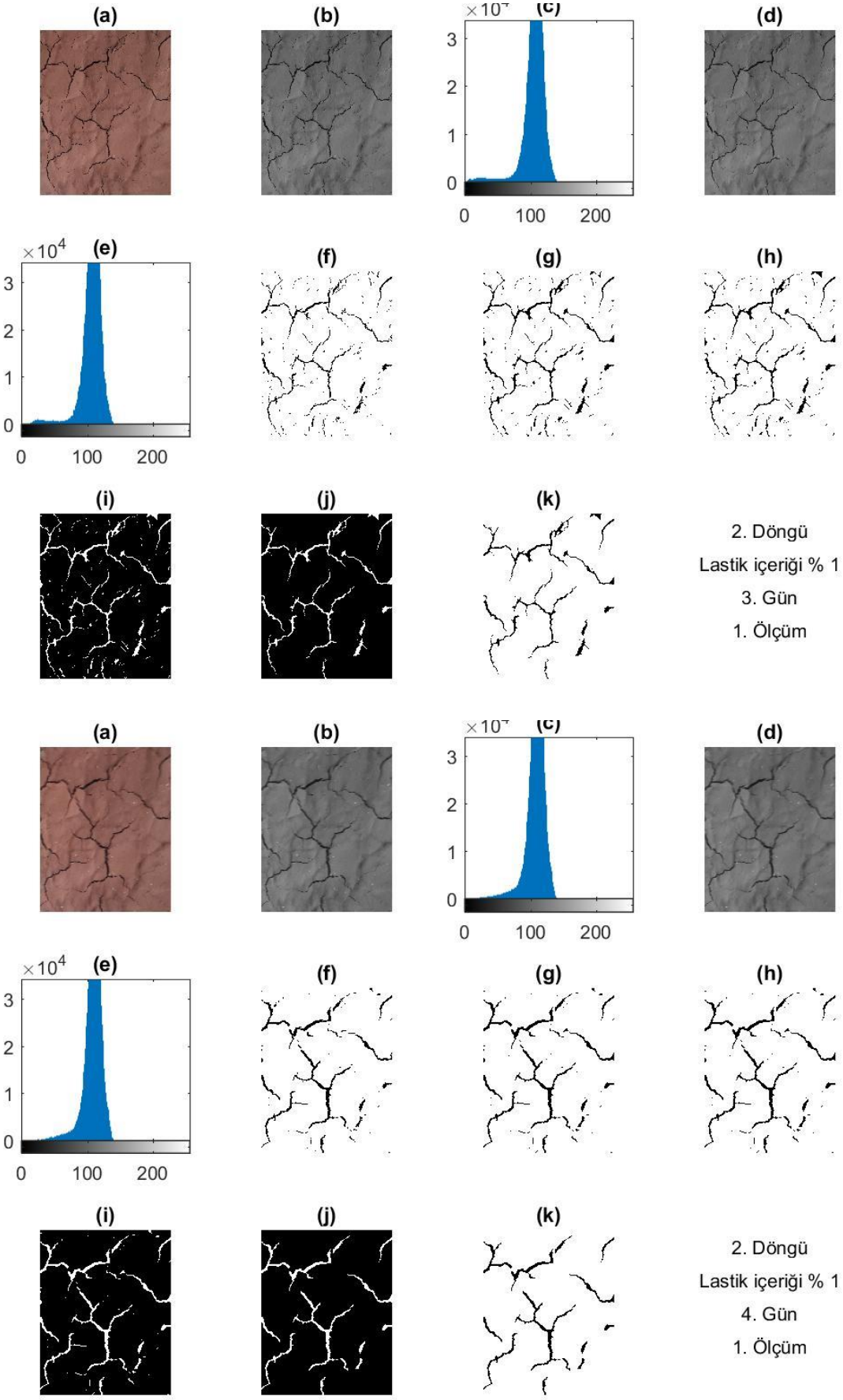
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



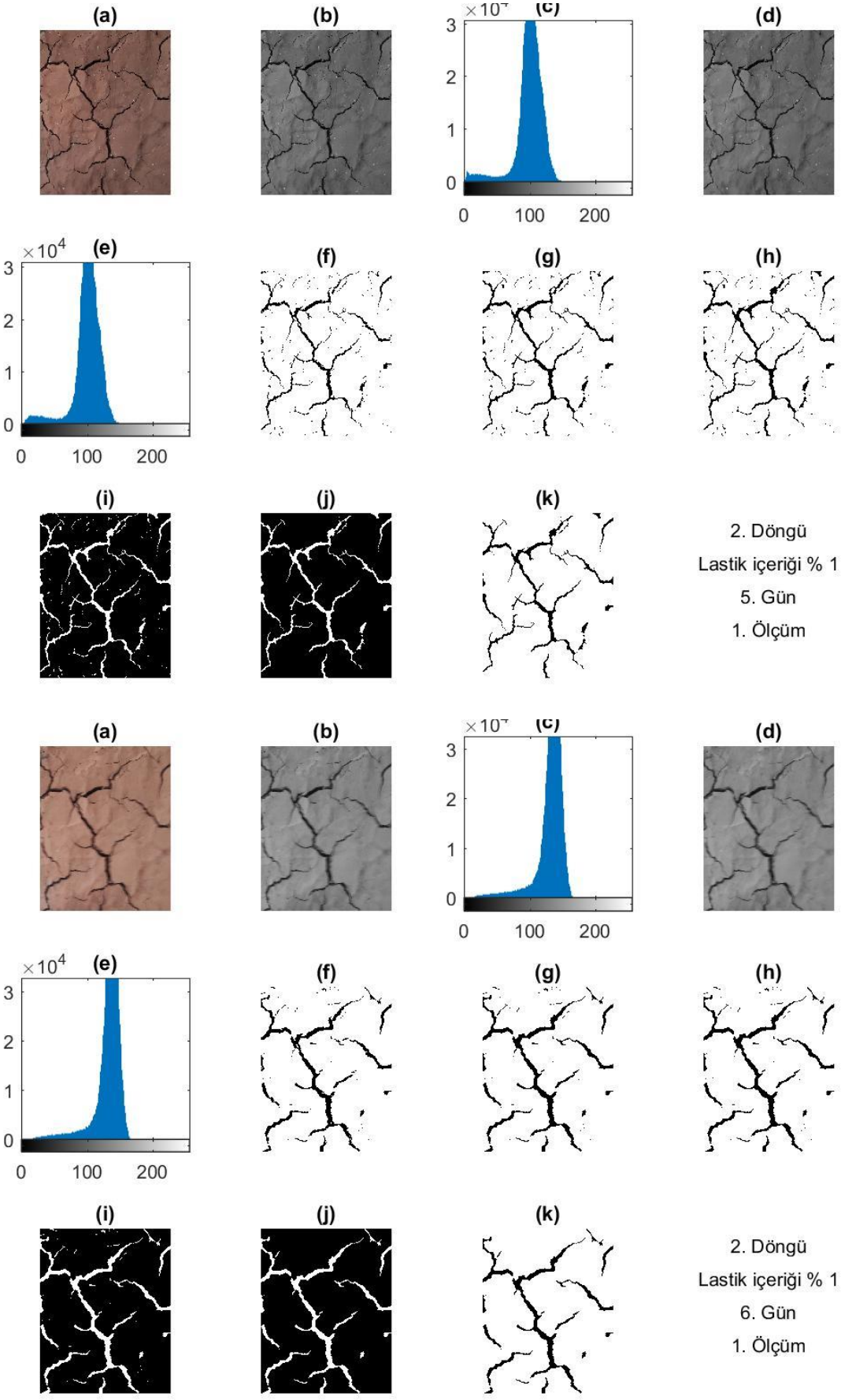
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



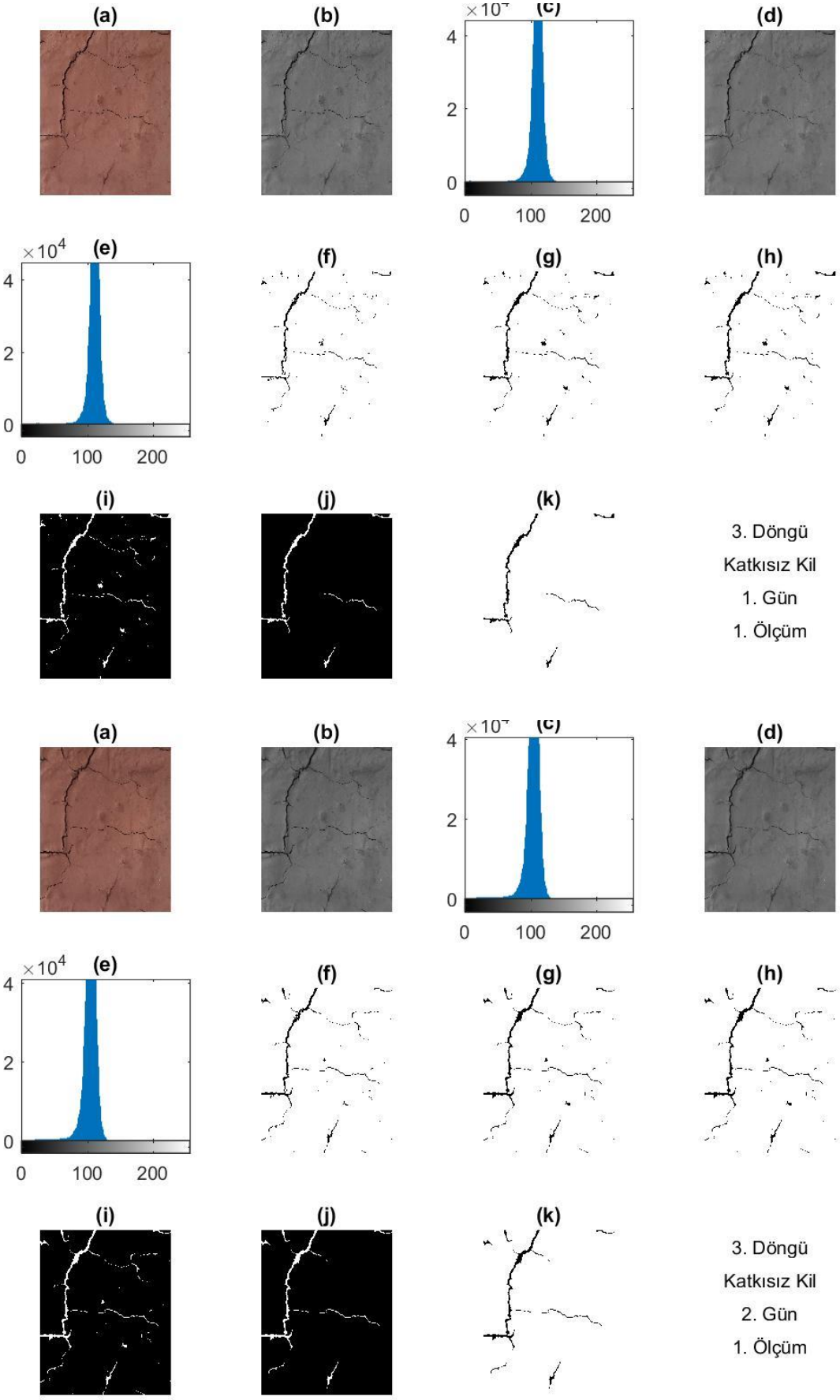
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



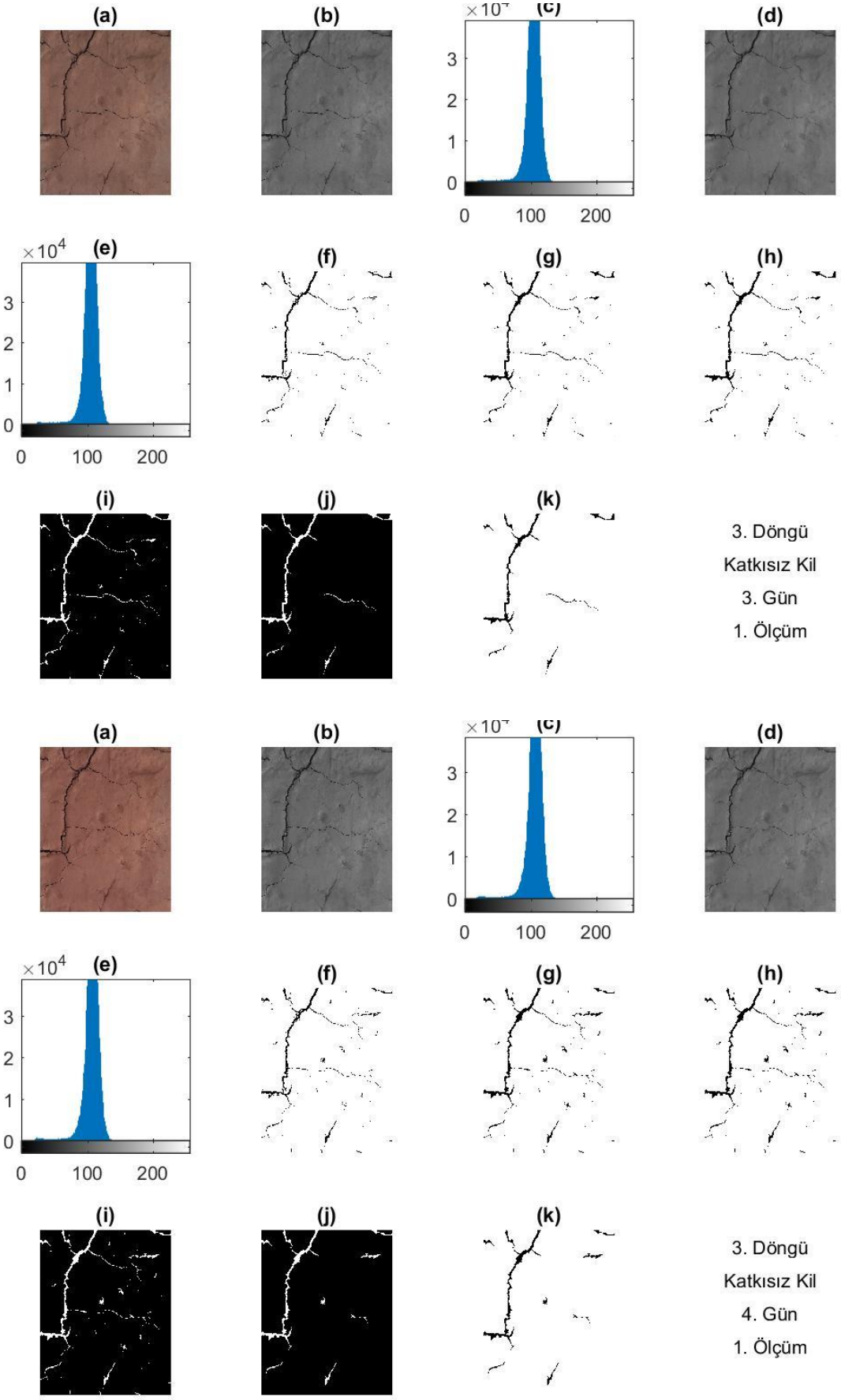
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



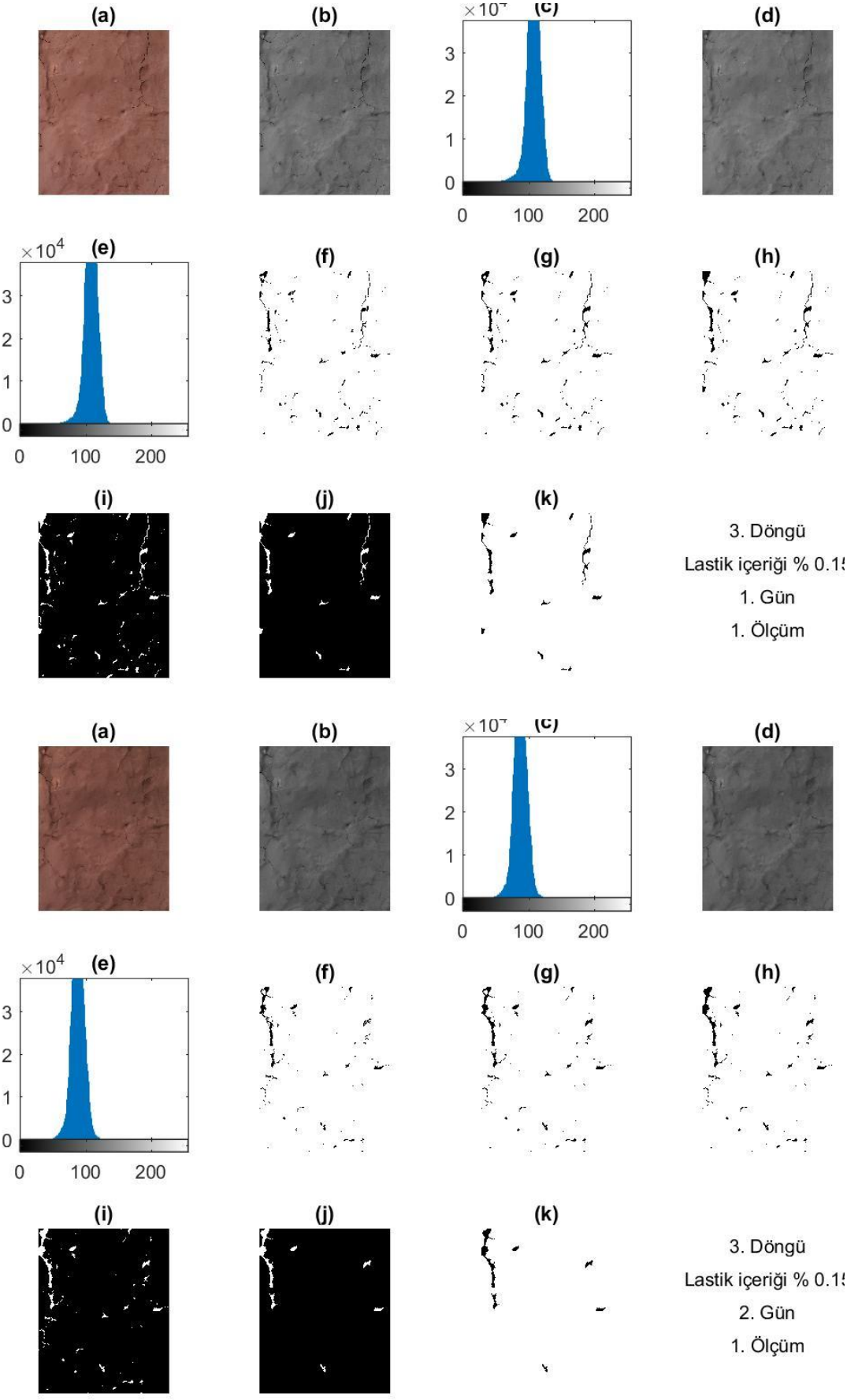
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



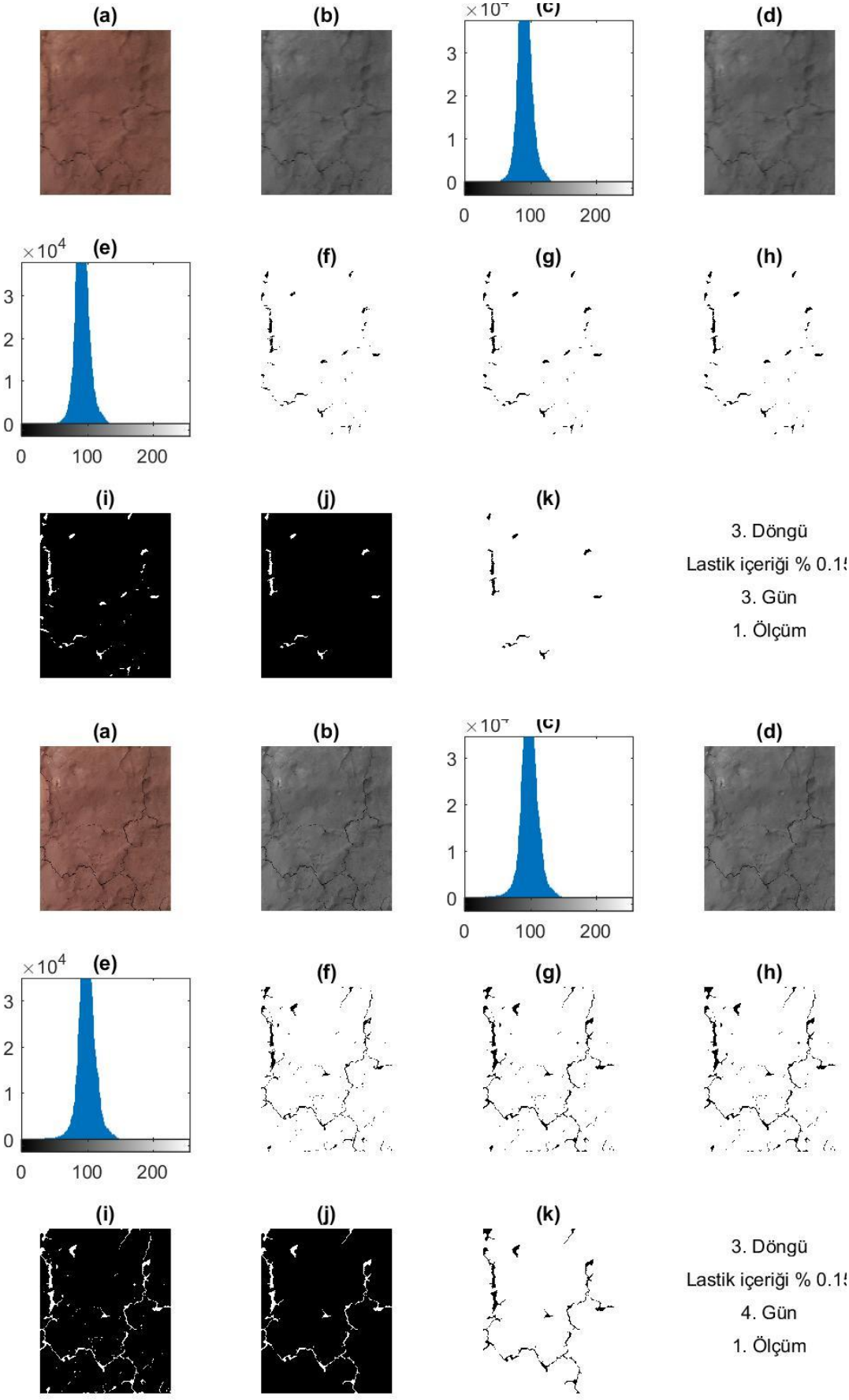
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



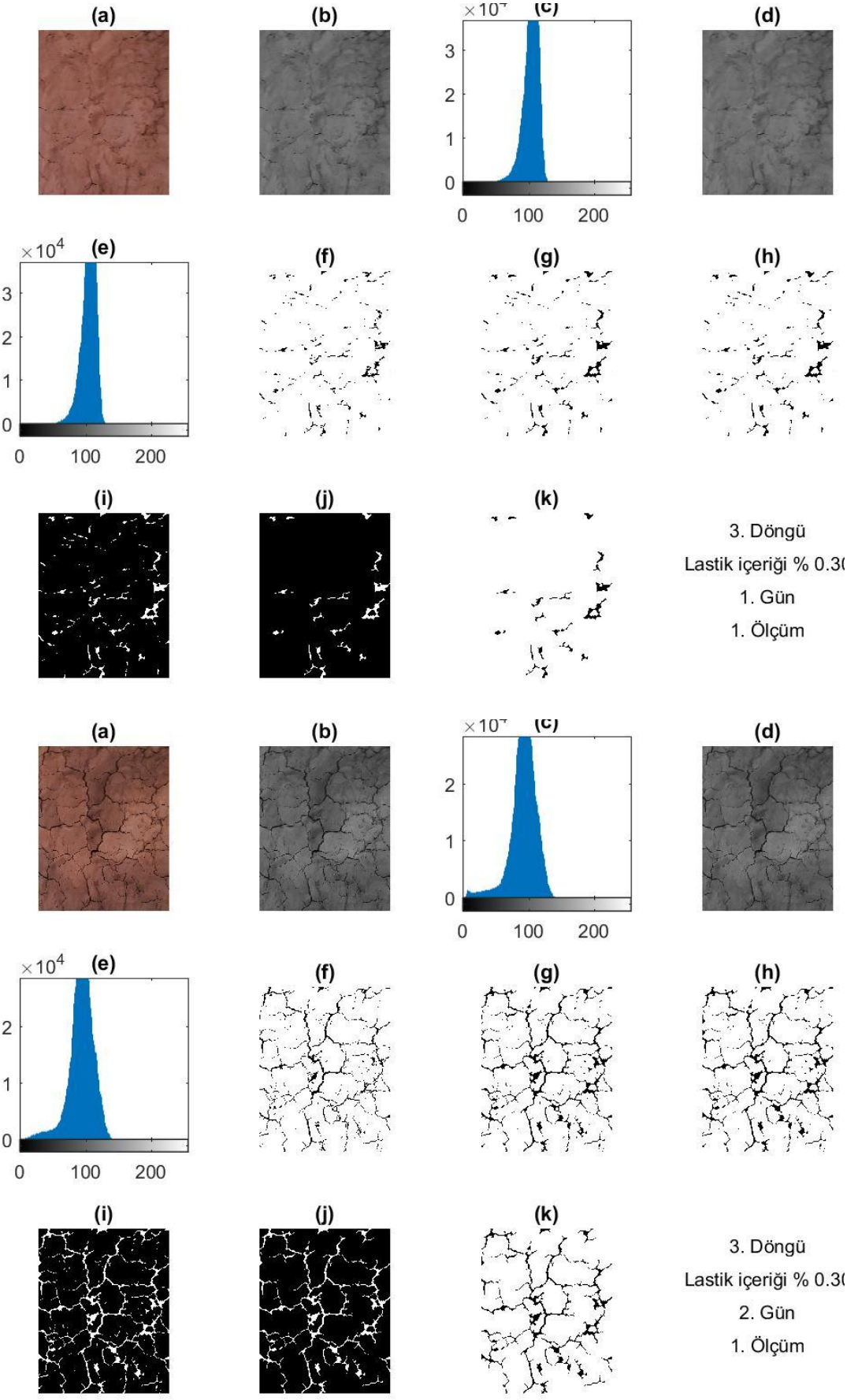
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



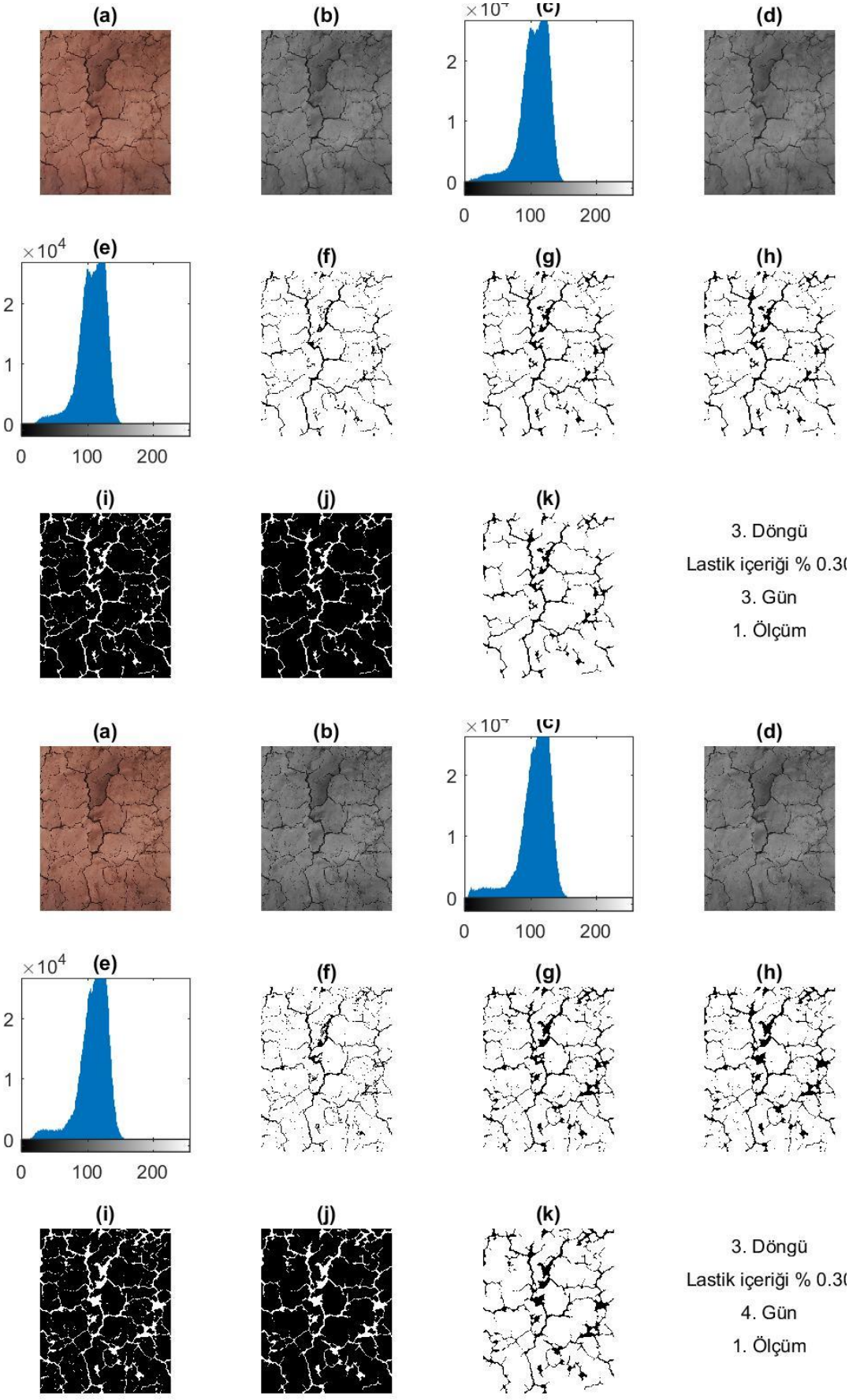
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



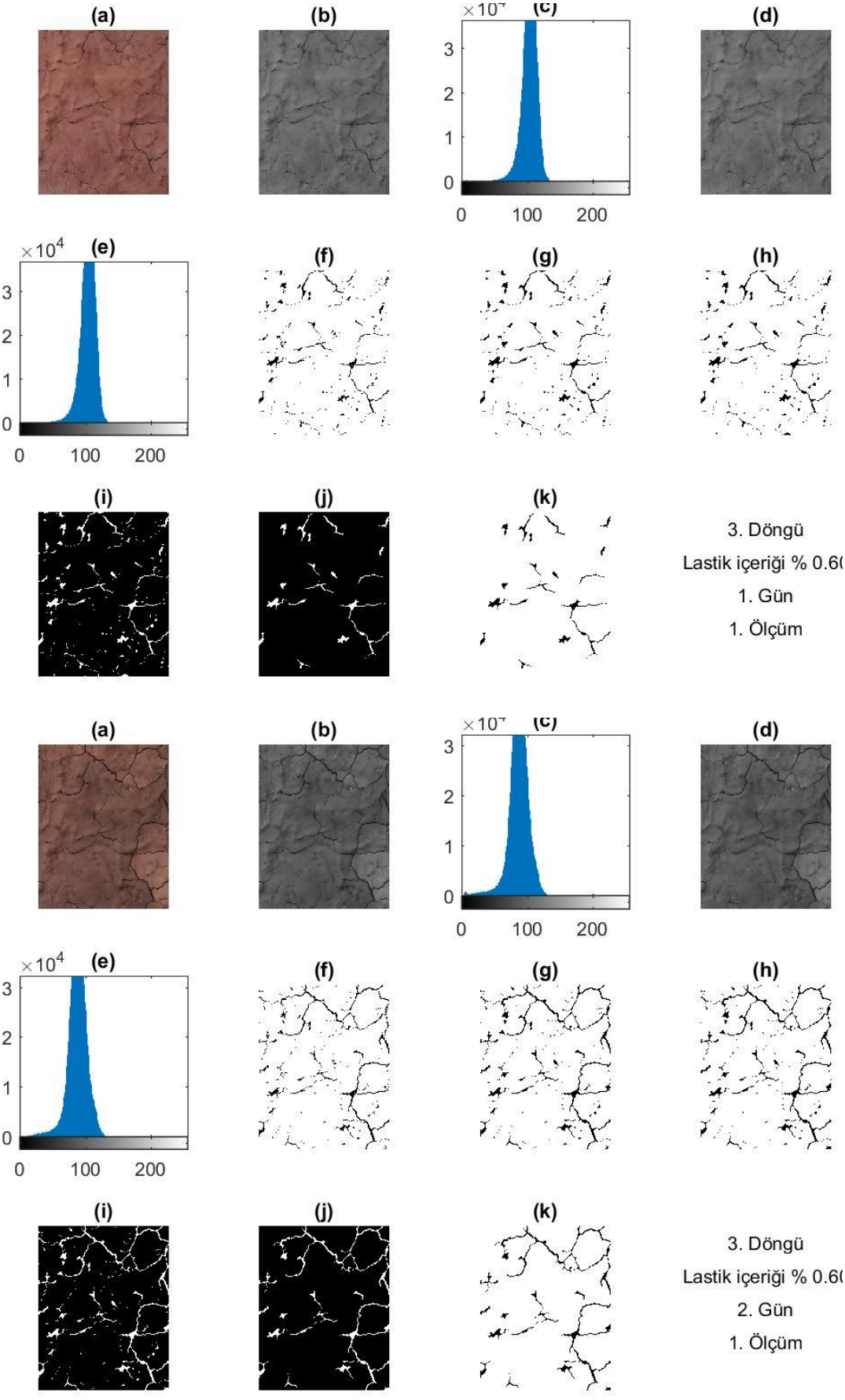
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



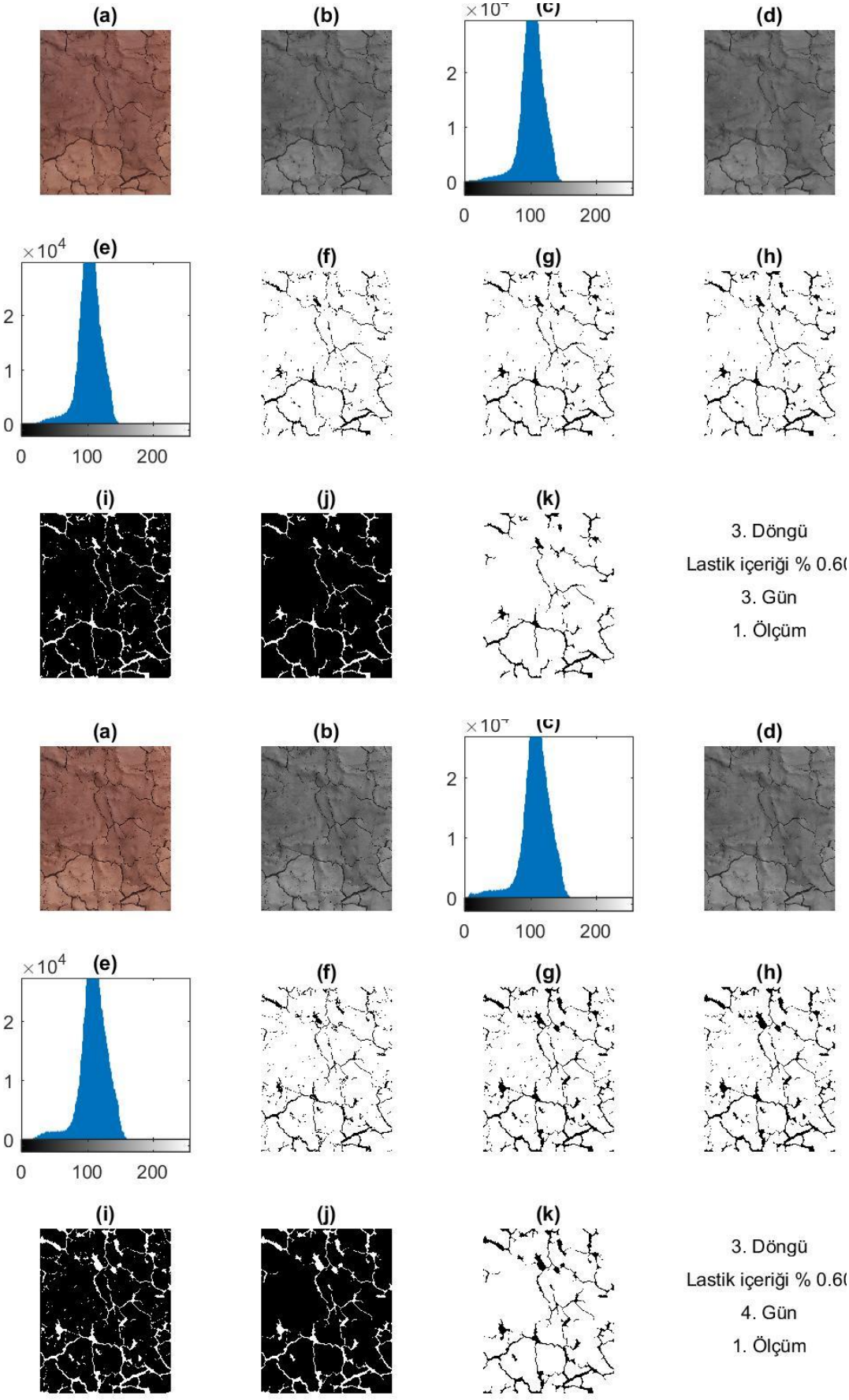
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



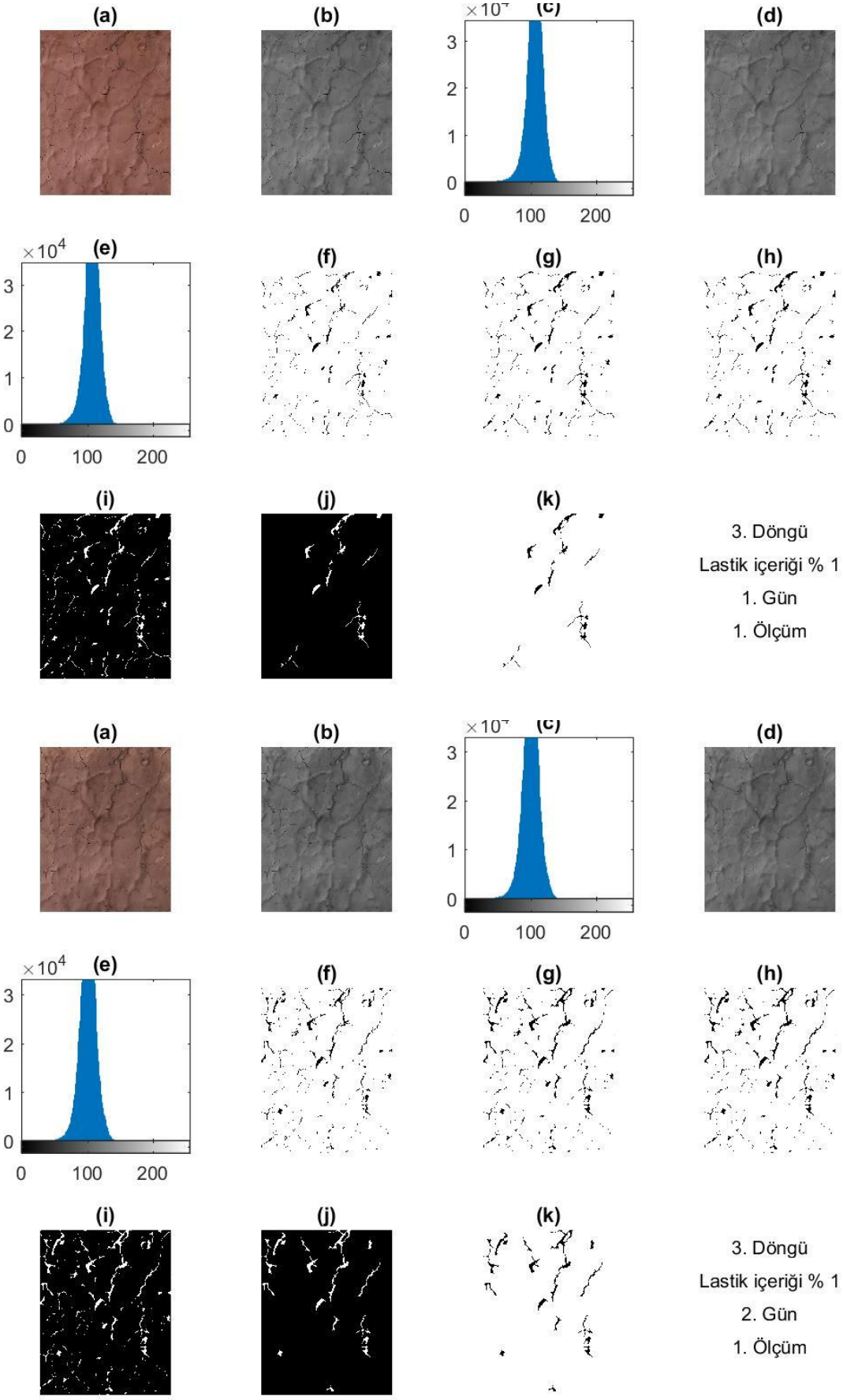
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



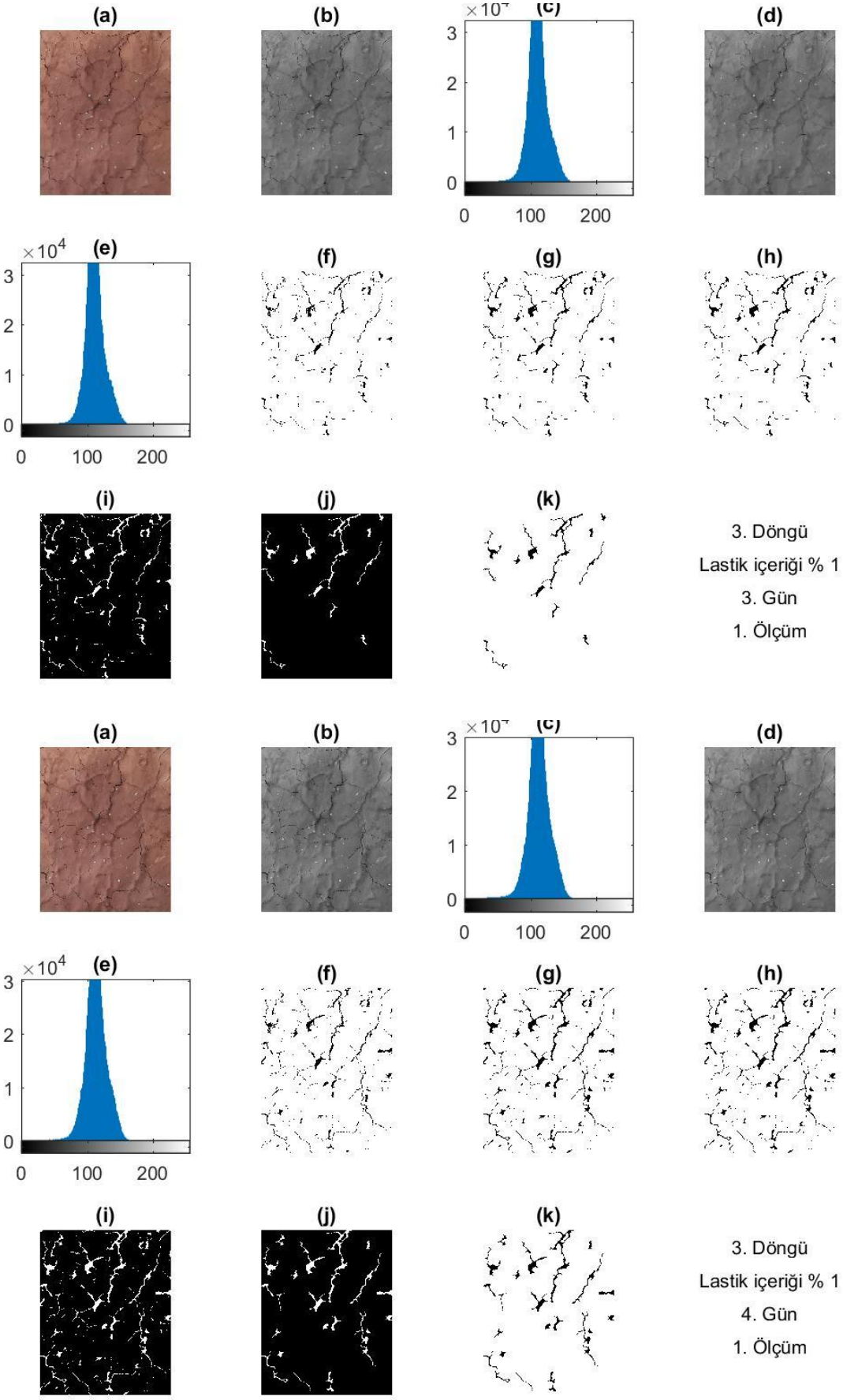
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



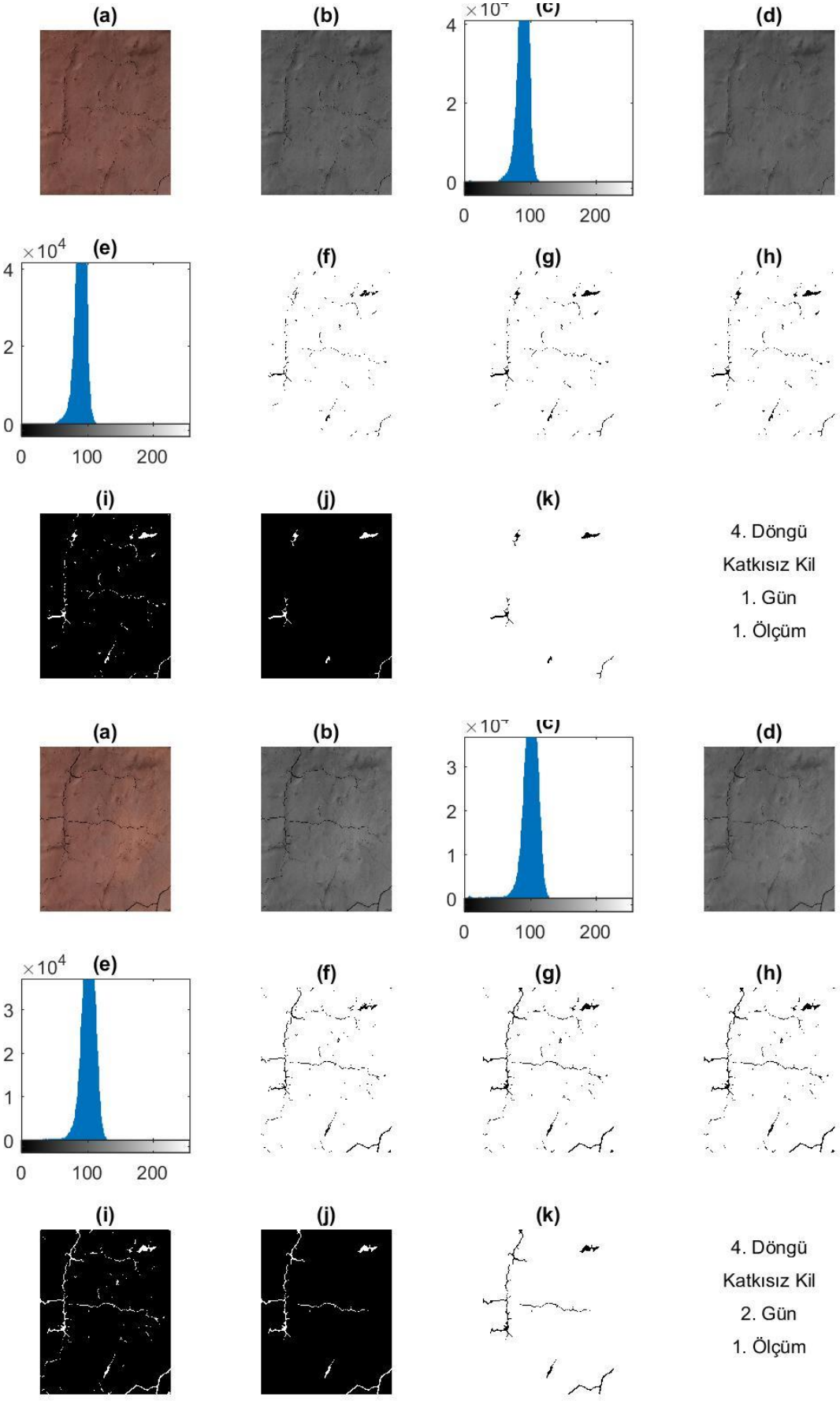
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



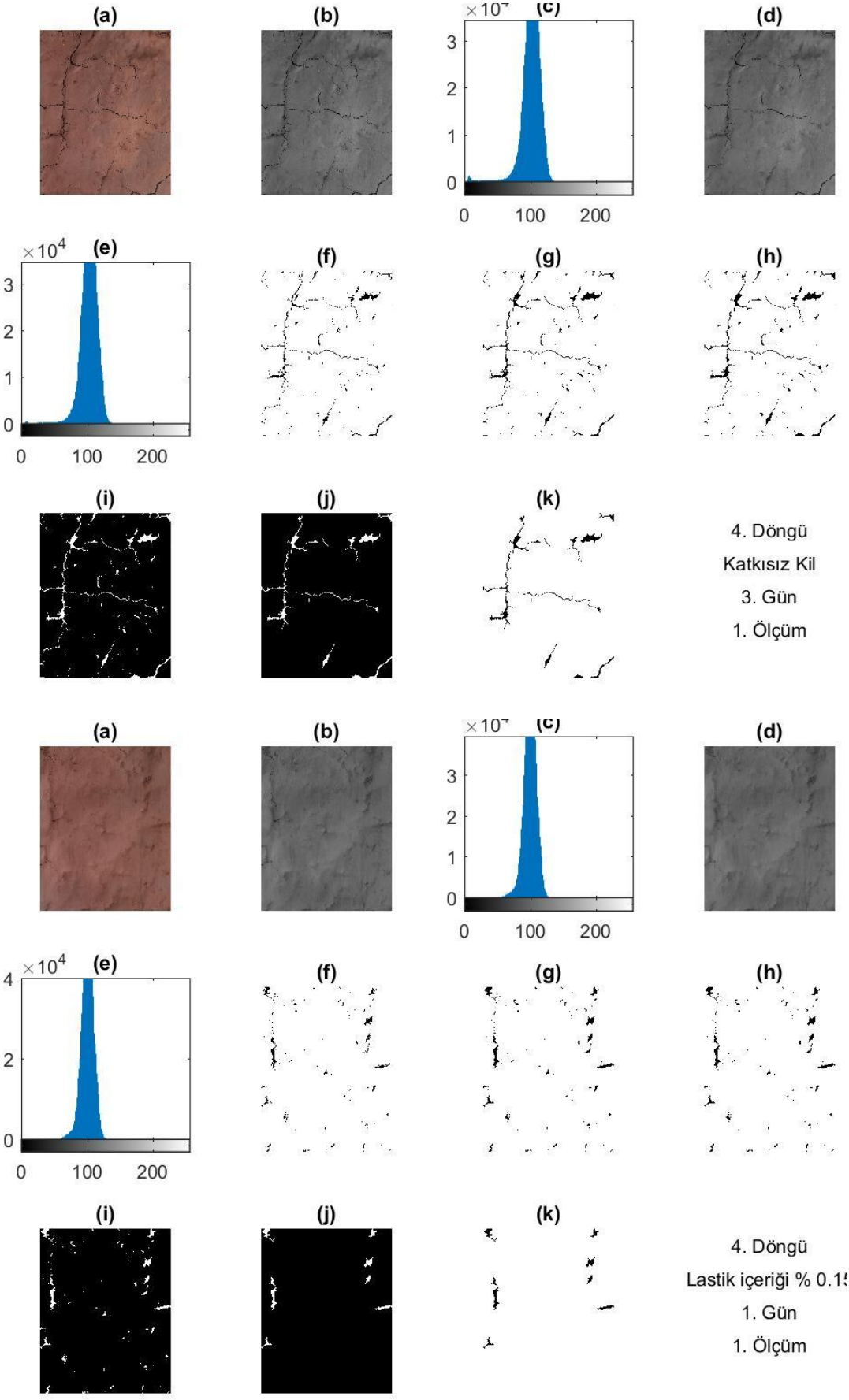
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



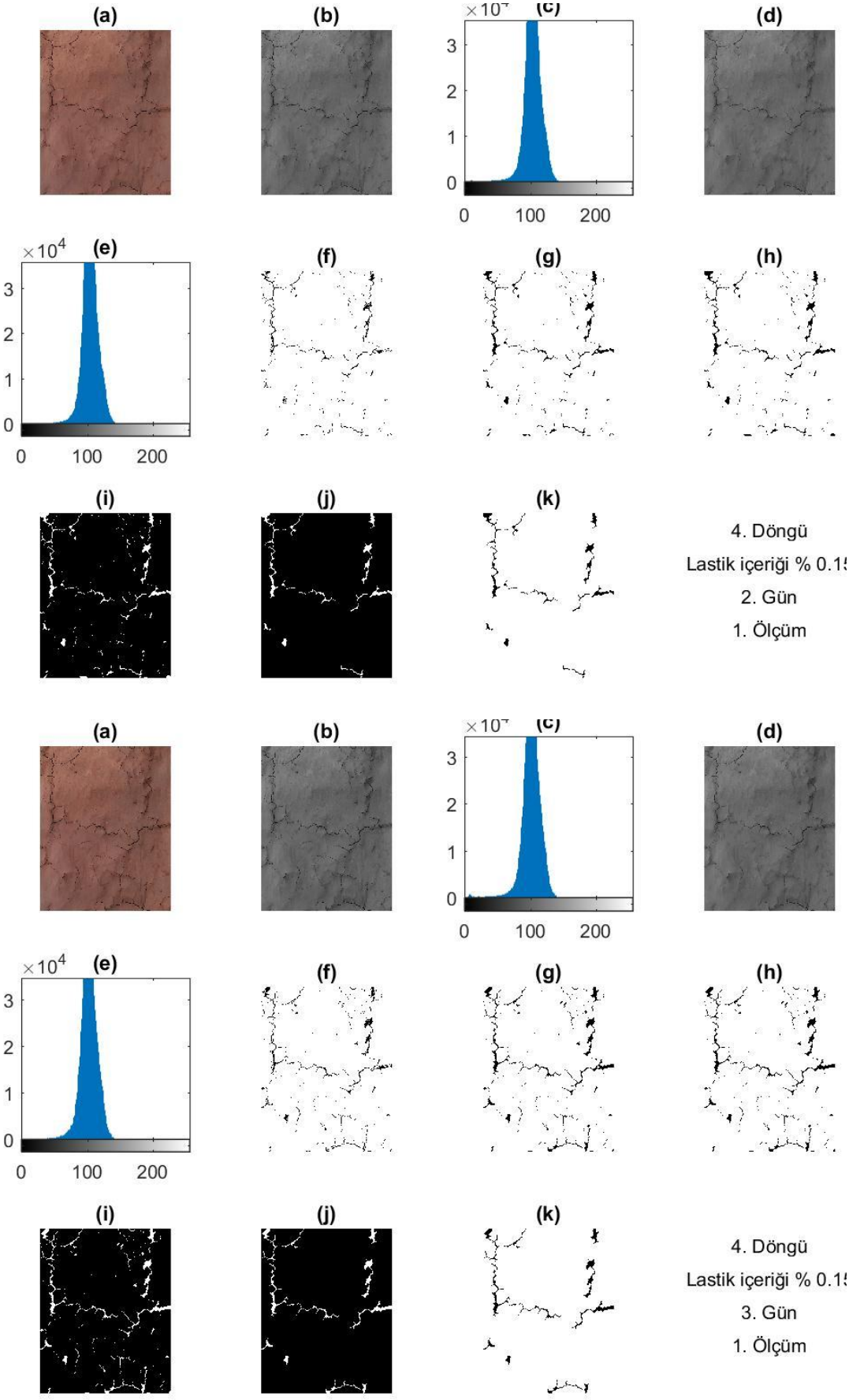
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



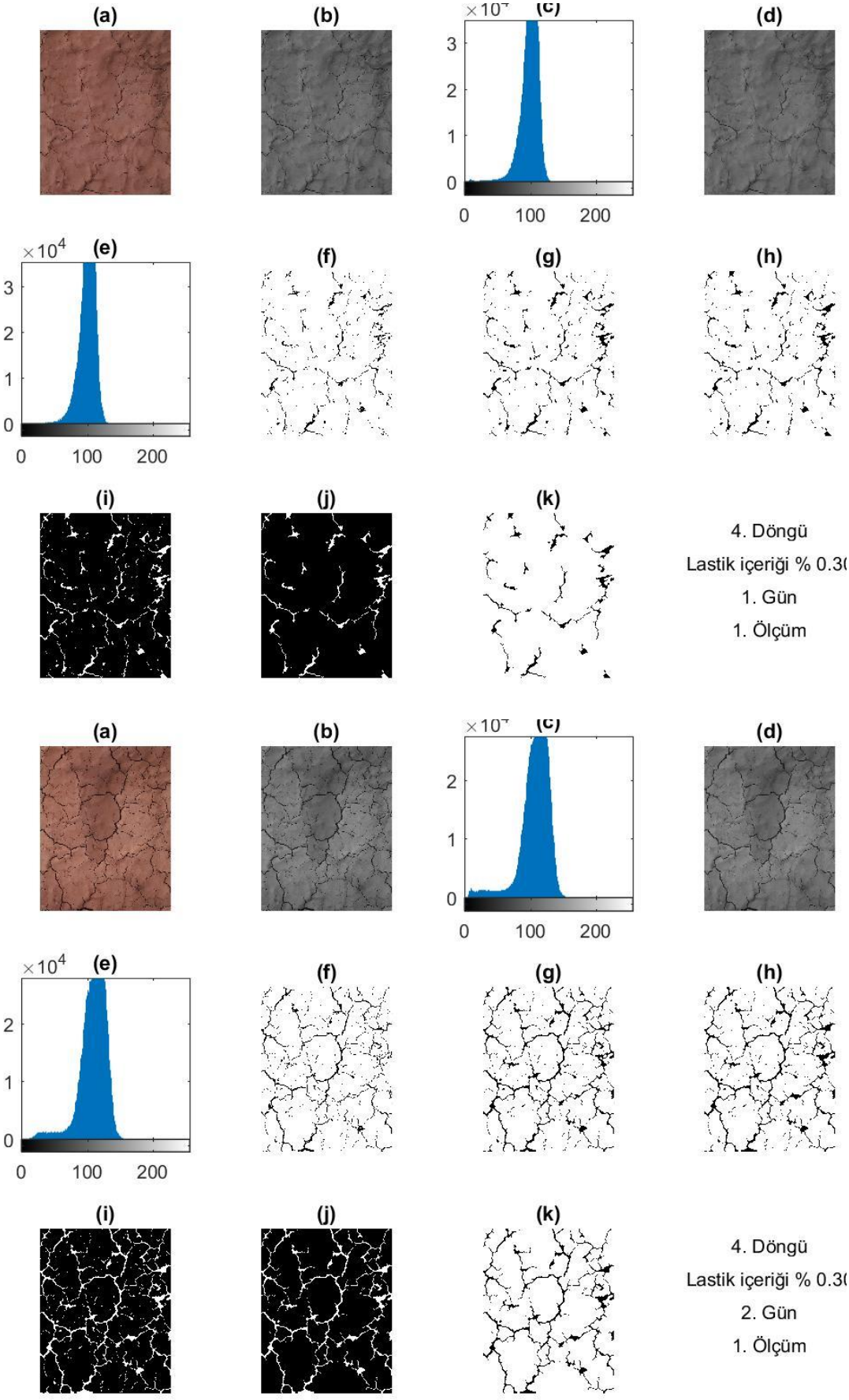
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



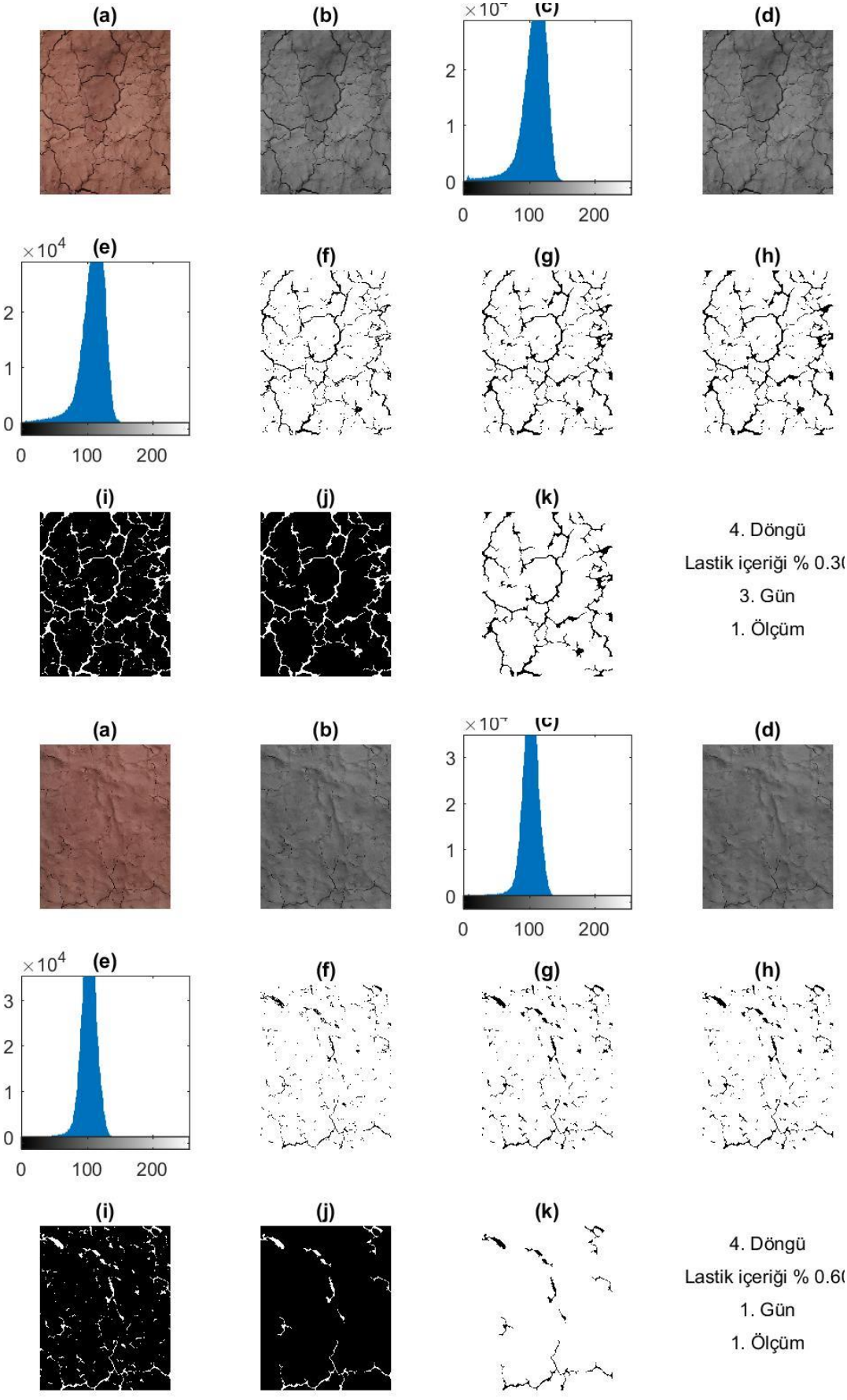
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



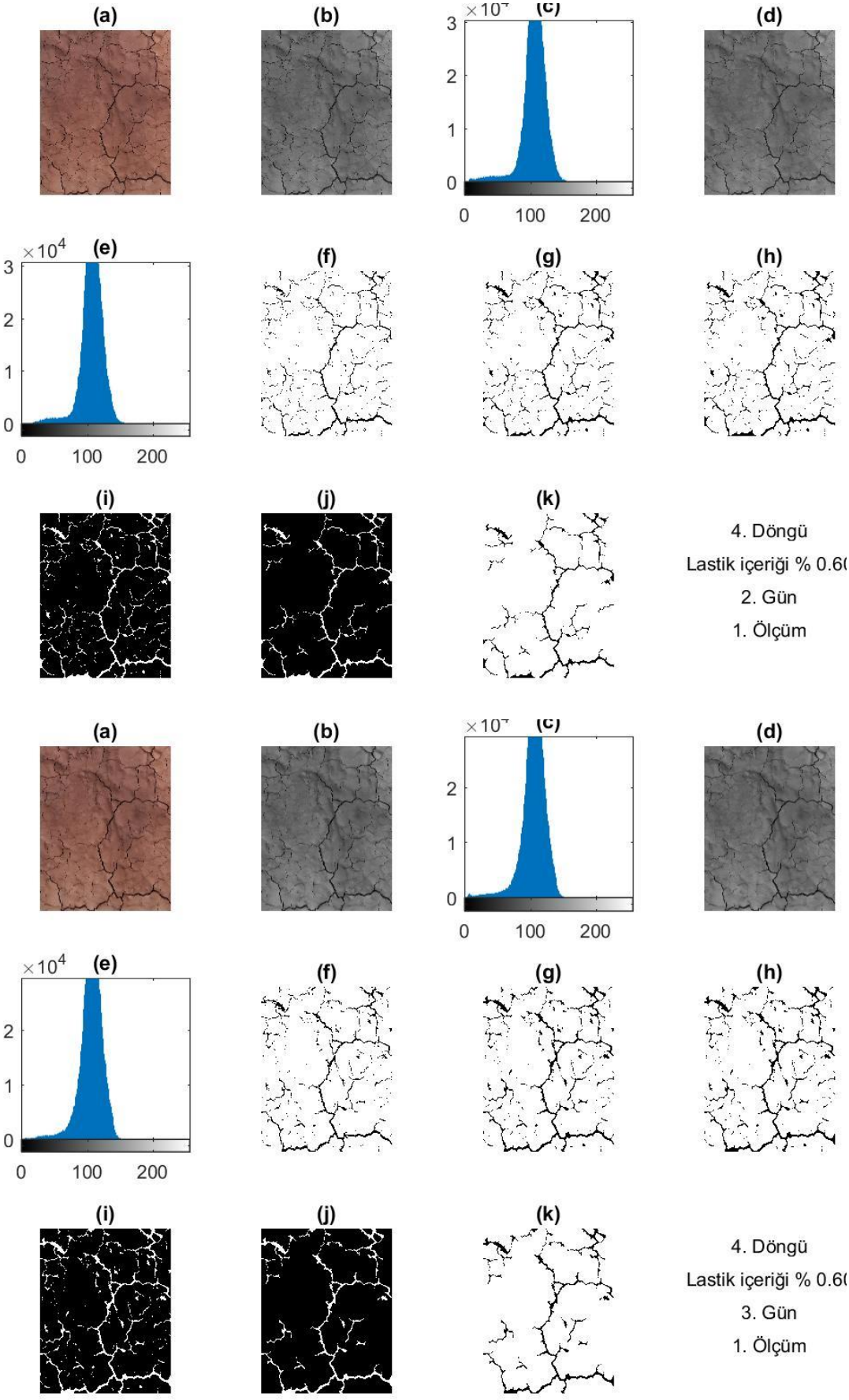
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



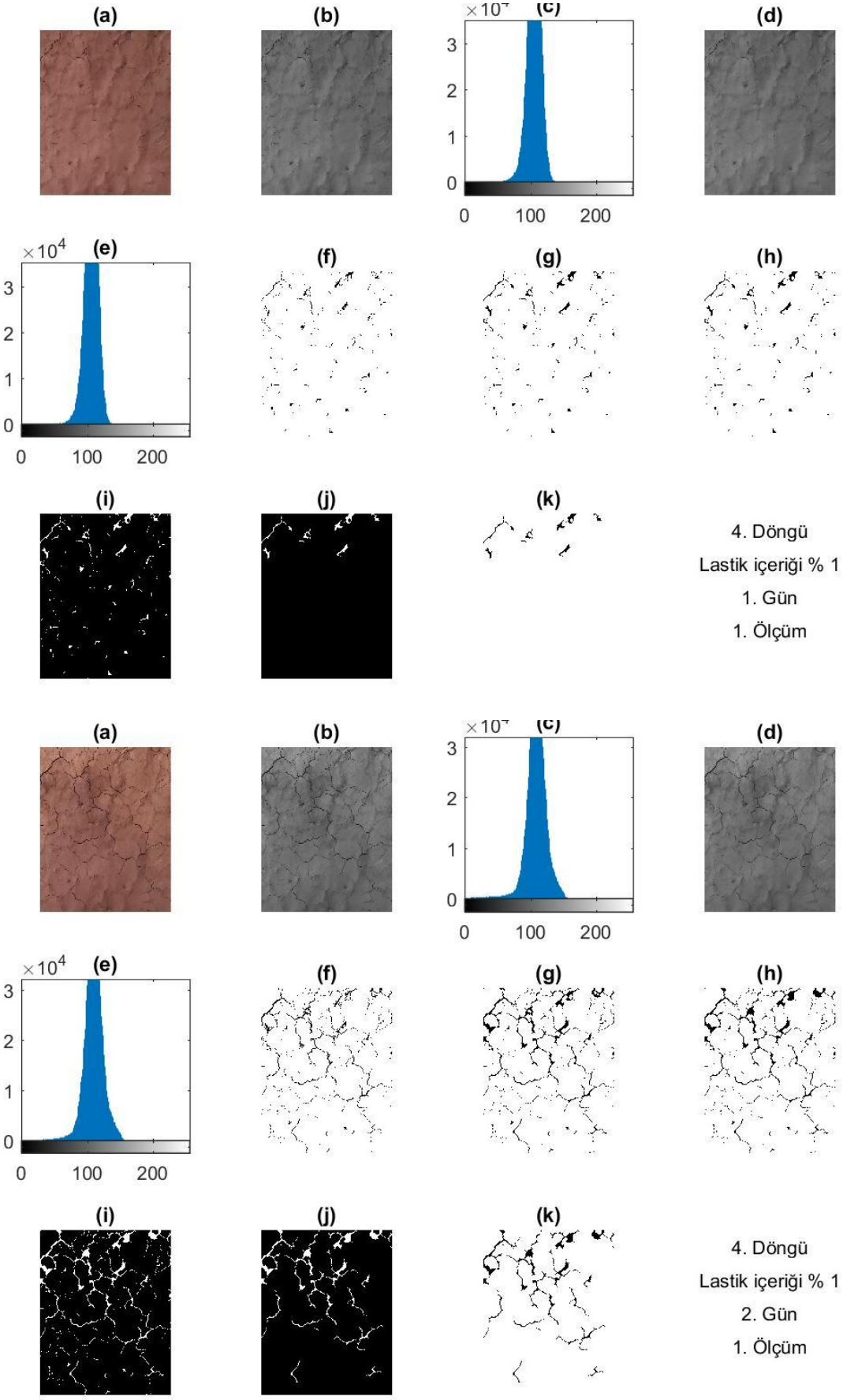
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



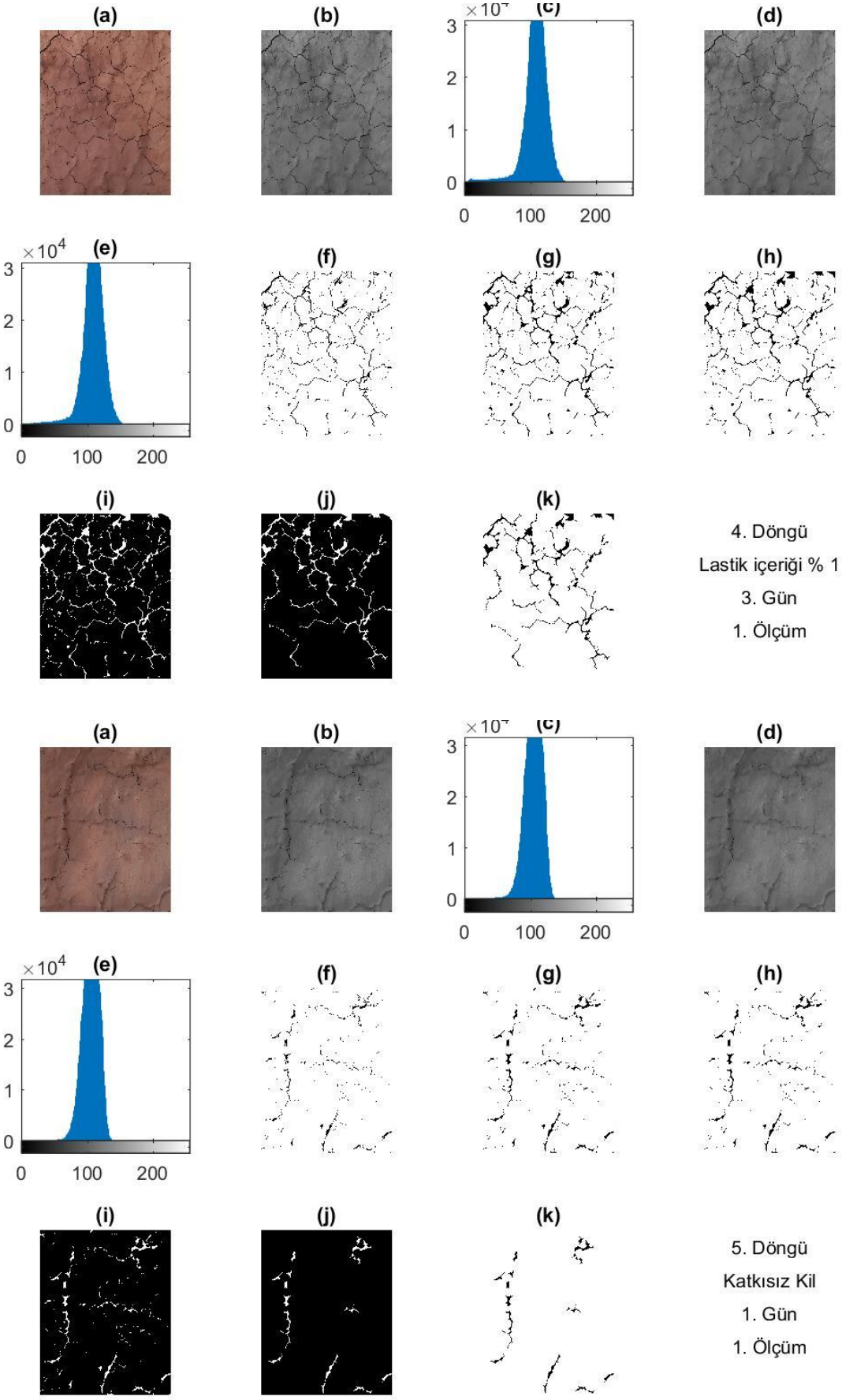
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



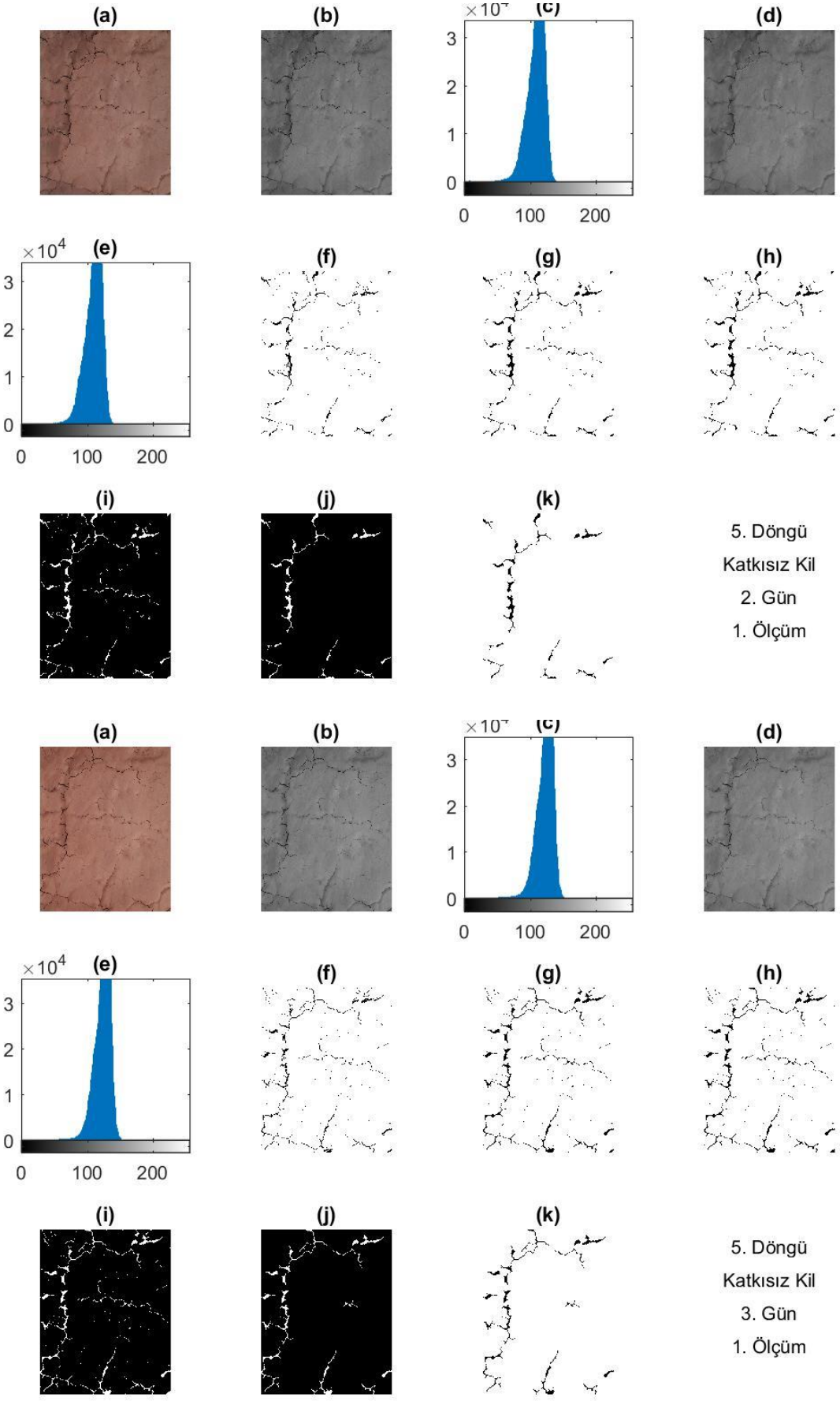
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



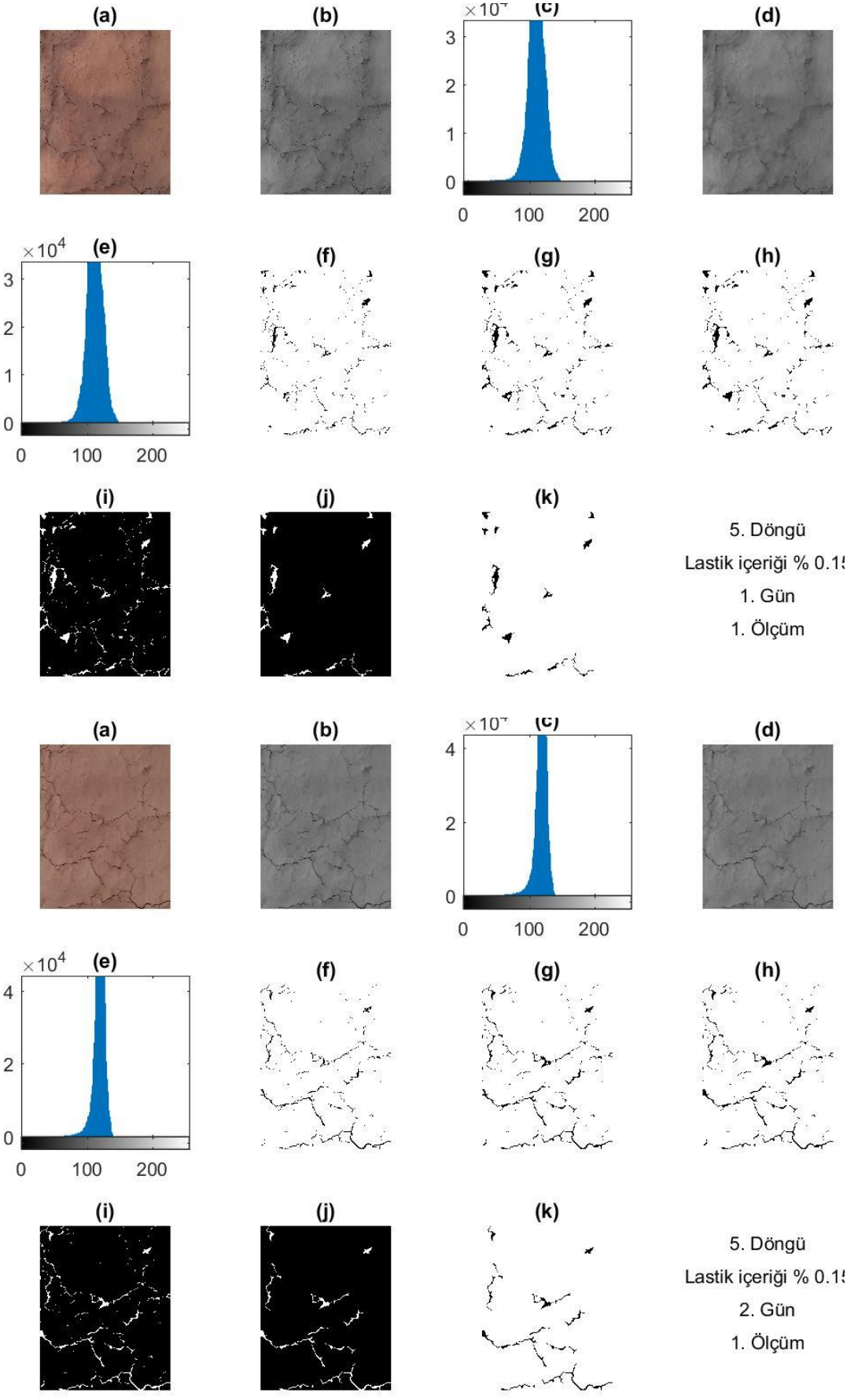
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



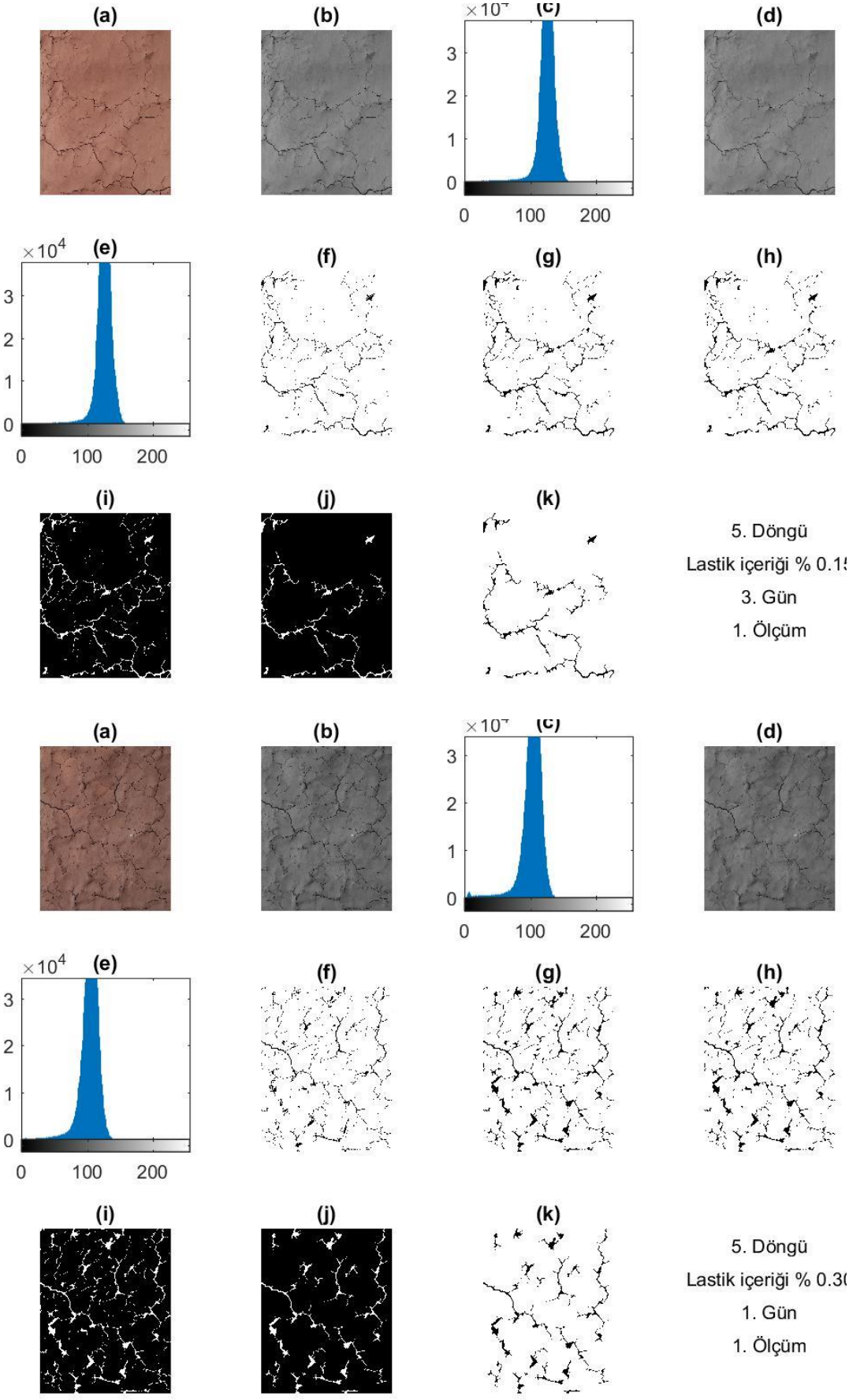
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



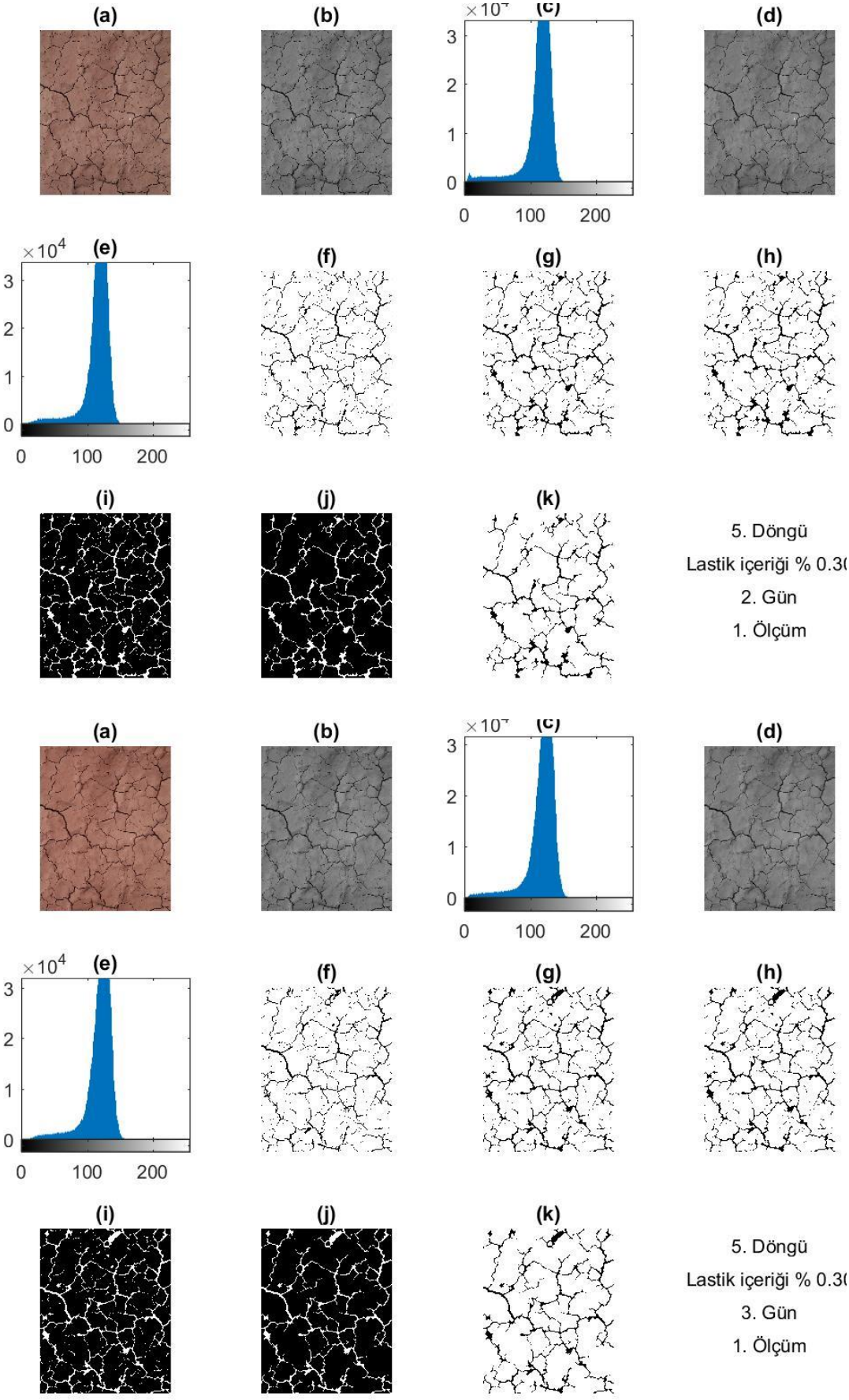
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



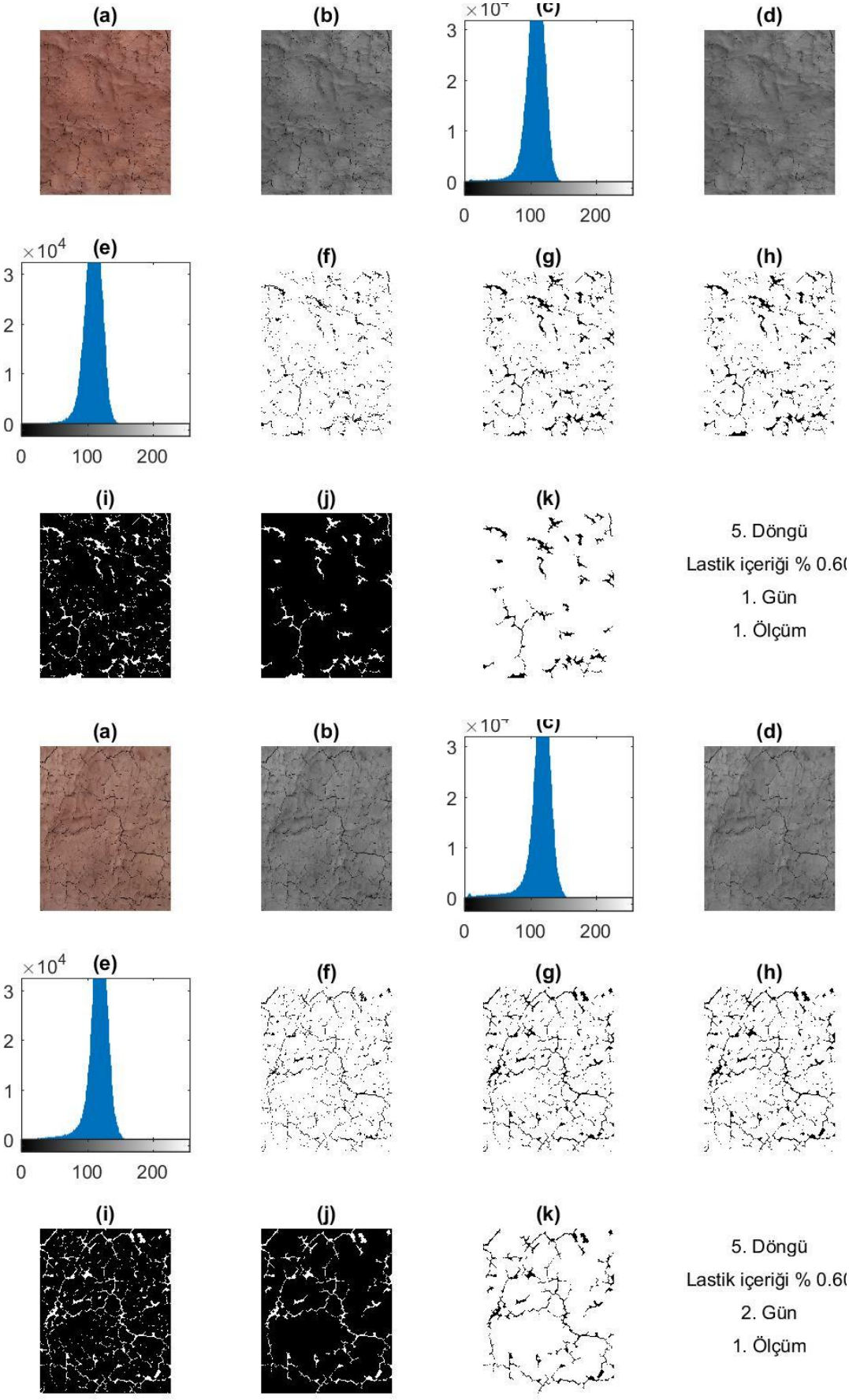
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



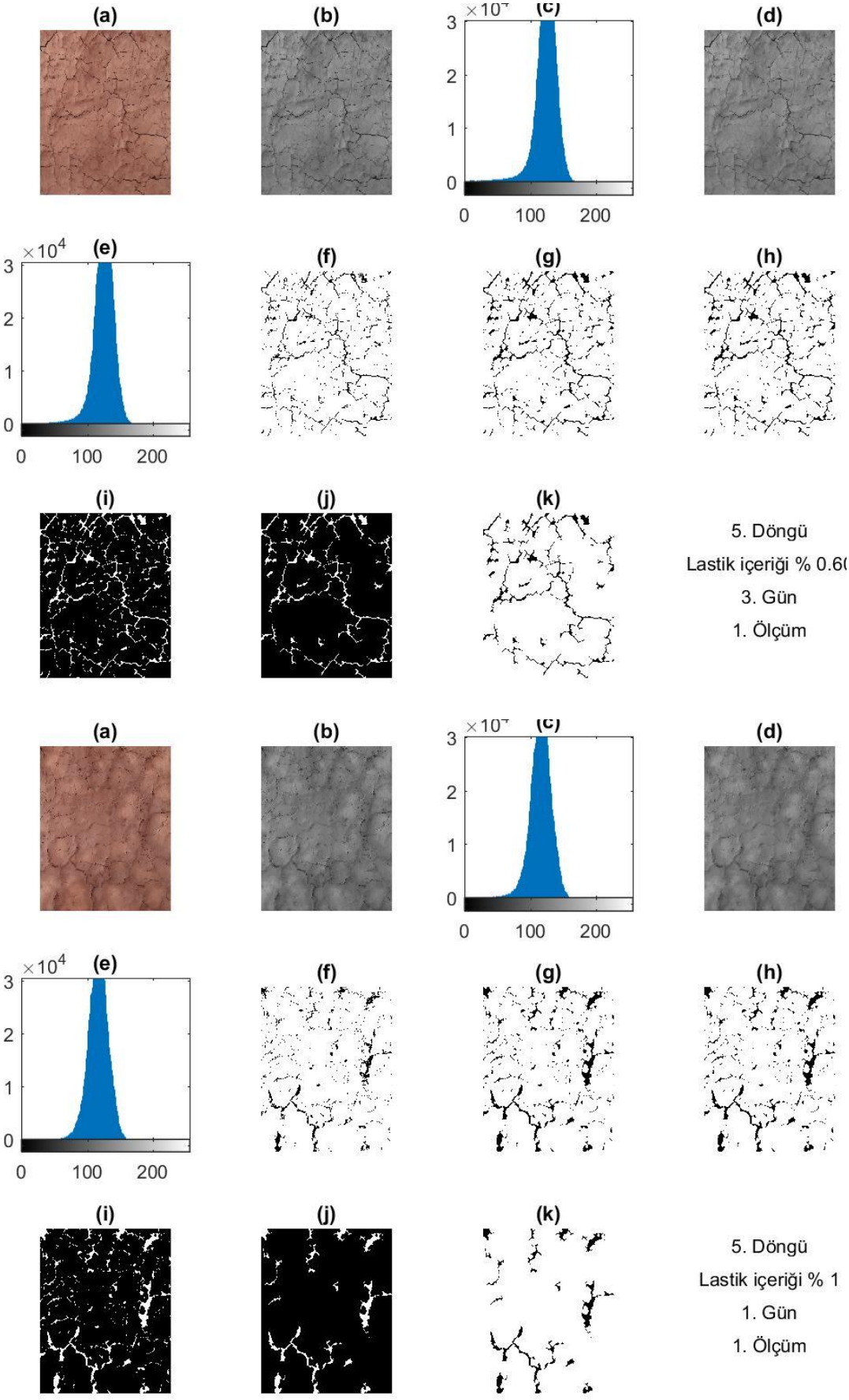
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



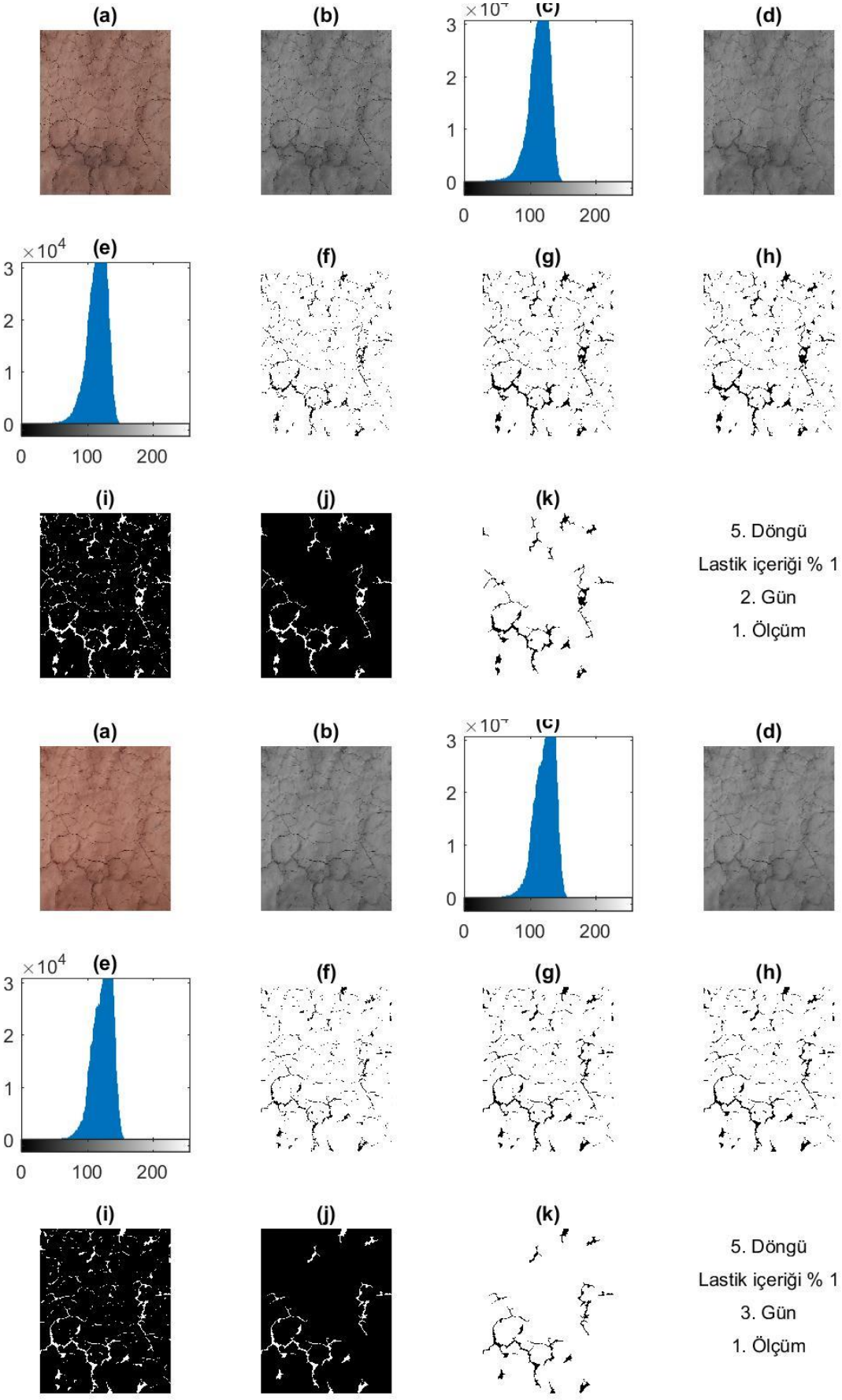
Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri



Şekil K.1 (devam) :Görüntü Analizleri

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı **:Mürüvet ÜNLÜ ÖZSOY**

Doğum Tarihi ve Yeri **: 20.01.1992 Aksaray**

E-posta adresi **: munlu68@gmail.com**

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans **: Aksaray Üniversitesi 2014**

Yüksek Lisans **:Aksaray Üniversitesi 2016**

Doktora **:**