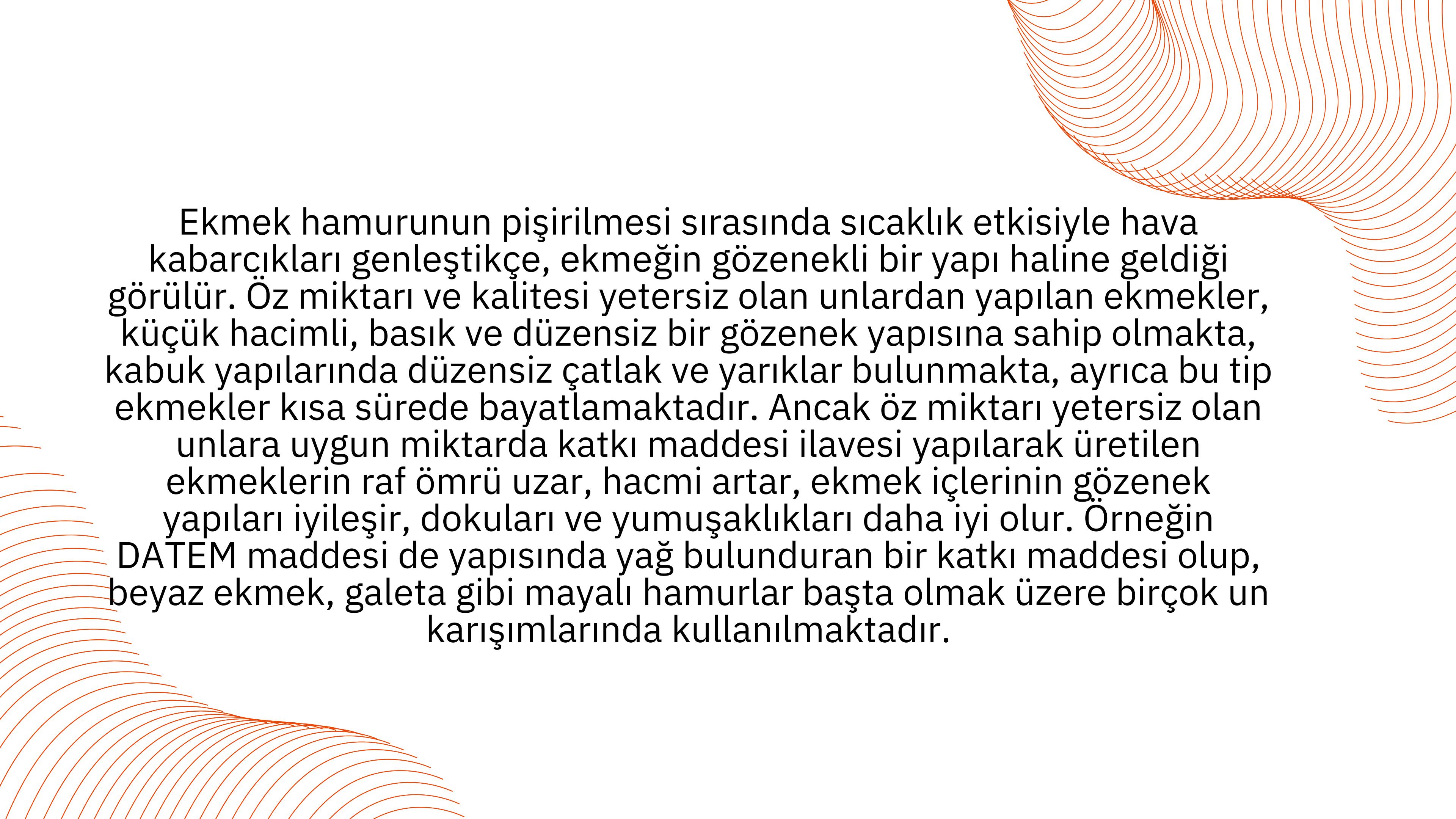


Görüntü işleme teknikleri  
kullanılarak ekmek doku analizi  
ve arayüz programının  
geliştirilmesi



Ekmek hamurunun pişirilmesi sırasında sıcaklık etkisiyle hava kabarcıkları genleşikçe, ekmeğin gözenekli bir yapı haline geldiği görülür. Öz miktarı ve kalitesi yetersiz olan unlardan yapılan ekmekler, küçük hacimli, basık ve düzensiz bir gözenek yapısına sahip olmakta, kabuk yapılarında düzensiz çatlak ve yarıklar bulunmakta, ayrıca bu tip ekmekler kısa sürede bayatlamaktadır. Ancak öz miktarı yetersiz olan unlara uygun miktarda katkı maddesi ilavesi yapılarak üretilen ekmeklerin raf ömrü uzar, hacmi artar, ekmek içlerinin gözenek yapıları iyileşir, dokuları ve yumuşaklıkları daha iyi olur. Örneğin DATEM maddesi de yapısında yağ bulunduran bir katkı maddesi olup, beyaz ekmek, galeta gibi mayalı hamurlar başta olmak üzere birçok un karışımılarında kullanılmaktadır.

Bu yüzden ekmek içi doku dağılımının belirlenmesi, gerek ekmeğin bayatlama süresinin değerlendirilmesinde, gerek ekmek kalitesinin belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Gelişen görüntü işleme teknikleriyle birlikte ekmek kalite analizlerinin daha ucuz, hızlı ve güvenilir şekilde yapılabilmesi sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu sayede birçok görüntü işleme tekniklerinin kullanılmasına imkân sağlanarak ekmek kalitesine yönelik analiz yapmak daha kolay hale gelmektedir. Diğer yandan bir ekmek diliminde yüzlerce gözenek olduğu düşünüldüğünde bu gözeneklerin şekil, sayı, düzen gibi özelliklerinin belirlenmesine yönelik nesnel bir kalite analizi yapılmasında yine görüntü işleme tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Ekmek kalitesinin belirlenmesine yönelik literatürde yapılmış değişik çalışmalar vardır. Kamman yapmış olduğu çalışmada ekmeğin gözenekli yapısının ve bu gözeneklere ait büyülüklük, düzen, gözenek duvarı kalınlığı, şekil faktörü gibi parametrelerin ekmek kalitesine önemli etkisi olduğunu vurgulamıştır. Ekmek gözeneklerinin bölütlenmesine yönelik H.D. Sapirstein ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, oksidansız ve oksidanlı toplam 30 adet ekmek görüntüsüne K-means algoritması kullanılarak ekmek görüntü analizi yapılmış ve ekmeğe ait gözenek alanı, gözenek yoğunluğu (hücre/cm<sup>2</sup>), boşluk oranı (hücre alanını /toplam ekmek alanı) gibi bazı morfometrik parametreler hesaplamıştır.

Fakat çalışmada başarıım görsel olarak belirlenmiştir. Francis Butler ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada ise 135 ekmek dilimi görüntüsüne farklı eşikleme yöntemleri kullanılarak, ekmek kalite analizi yapılmıştır. Bu çalışmada ise, DATEM katkı maddesi ile FL ve GL enzimlerinin doğrudan ekmek yapım yöntemiyle elde edilen ekmeklerde kaliteye etkisi belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmalarдан farklı olarak bu çalışmada, uzman gıda mühendisinin gözetiminde farklı katkı maddelerinin ekmek gözenek dokusunu ne şekilde etkilediği analitik olarak incelenmiştir.

## **2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)**

## 2.1. Veri Kümesi(Dataset)

Çalışmada kullanılan ekmek kesit alan görüntülerini doğrudan ekmek yapım yöntemiyle elde edilmiştir . Ekmek hazırlama içeriğine 1 kg un üzerinden, %3 maya, %1,5 tuz, 10 mg/kg alfa-amilaz ve 75 mg/kg askorbik asit eklenerek başlanmıştır. Tüm bileşenler bir yoğurucuda uygun kıvamda hamur oluşturuncaya kadar yoğrulmuş ve daha sonra 30°C'de %85 nispi nemde 30 dakika fermantasyona bırakılmıştır. Fermantasyon sonrasında, hamur 10 eşit parçaya bölünerek, parçalar yuvarlandıktan sonra tekrar aynı koşullarda 30 dakika daha fermantasyona bırakılmıştır.

Fermantasyon sonunda, silindir şekline getirilmiş hamur parçaları teflon pişirme kaplarında 60 dakika gelişmeye bırakılmış ve 220 °C'de 25 dakika döner tipte bir fırında pişirilmiştir. Fırından çıkartılan ekmekler oda sıcaklığında iki saat soğumaya bırakıldıktan sonra sonar analize tabi tutulmuştur. 4 farklı ekmek dilimi görüntüsü bulunmaktadır. Çalışmada 104 farklı ekmek görüntüsü kullanılmış ve bunların 8 tanesi kontrol grubunu oluşturmaktadır.

32 tanesi ise grindamyl glikolipaz enziminin konsantrasyonlarından oluşmaktadır.

## 2.2. Yöntemler (Methods)

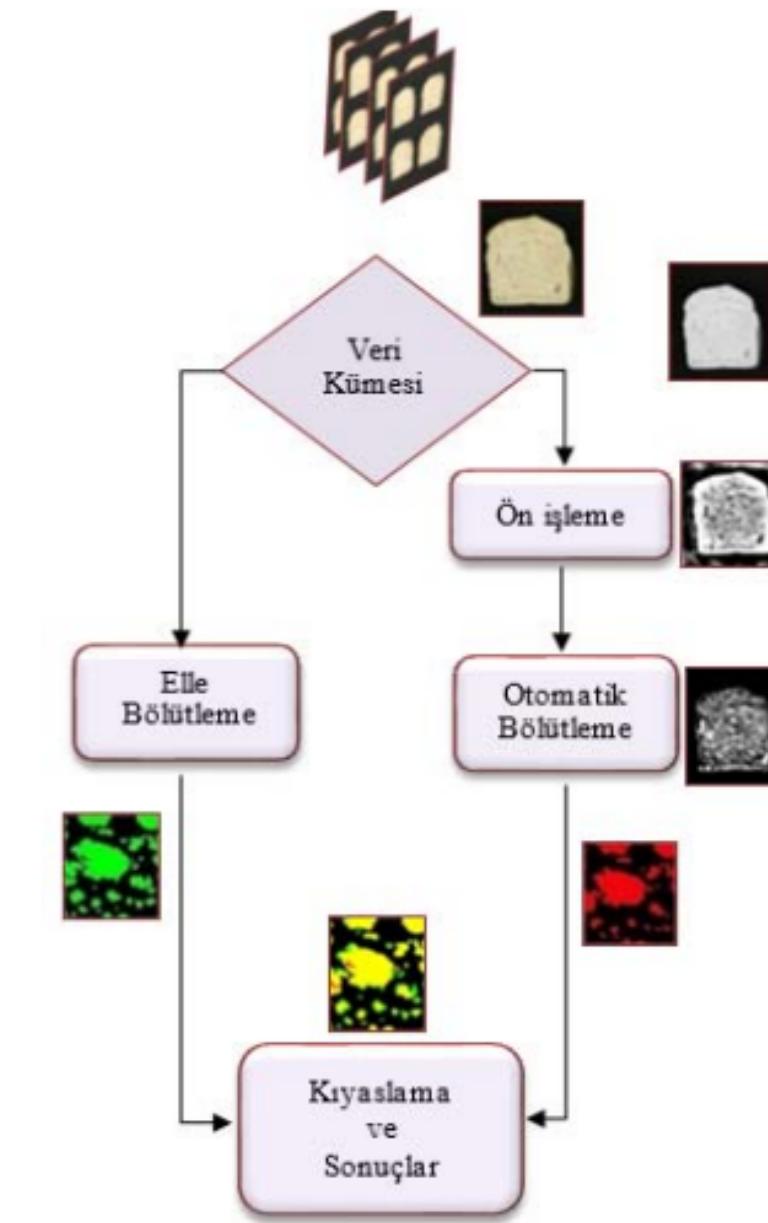
Ham ekmek görüntüleri renkli olup bir resimde 4 farklı ekmek görüntüsü yer almaktadır. Daha sonra elde edilen renkli 104 adet ekmek görüntüsü gri seviye görüntüsüne dönüştürülmüştür. Şekil 3'te çalışmada kullanılan işlemlerin bütünüňü özetleyen genel akış diyagramı verilmiştir. Diyagram incelendiğinde ekmek gözeneklerinin otomatik bölütlenmesi temelli bir ekmek doku analizi için yapılan işlemler görülmektedir.



Şekil 1. Orjinal ekmek görüntüleri (Original bread images)



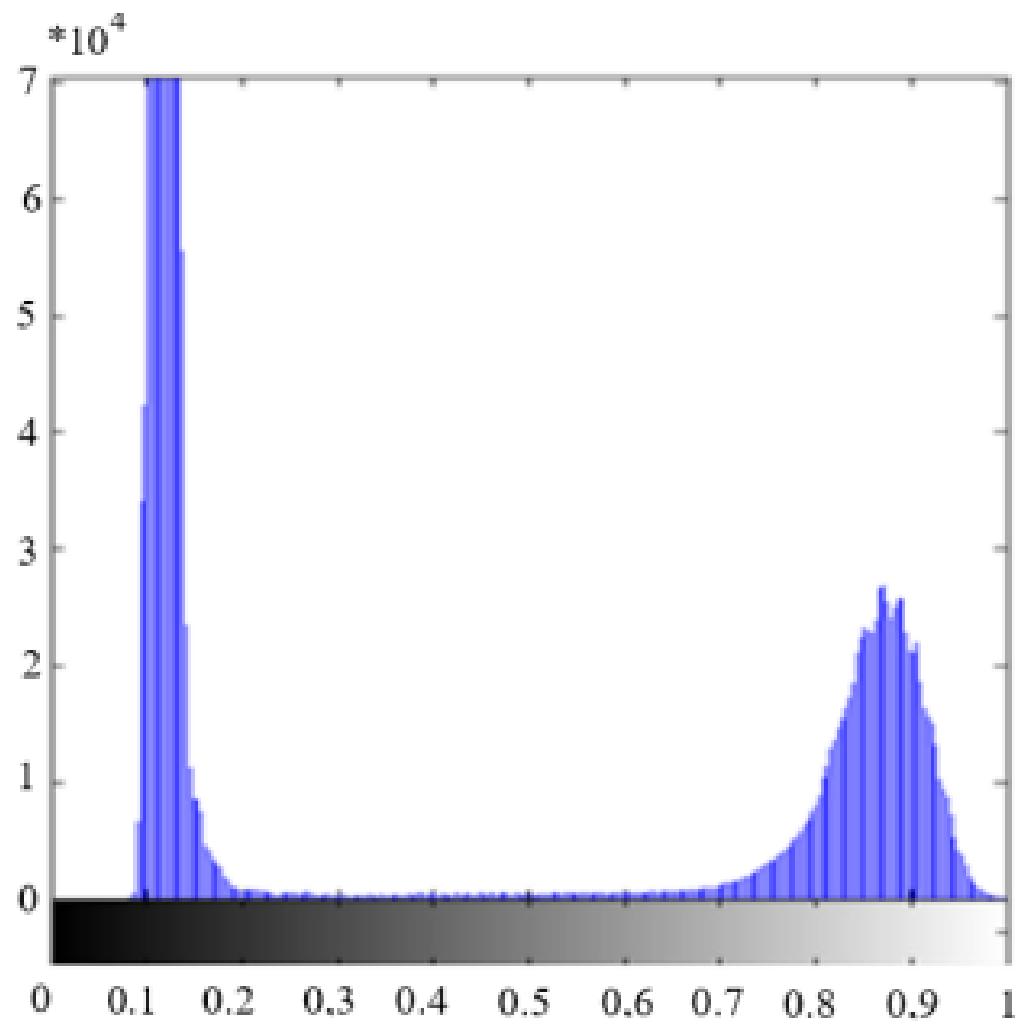
Şekil 2. Gri seviye ekmek görüntüsü (Gray level bread images)



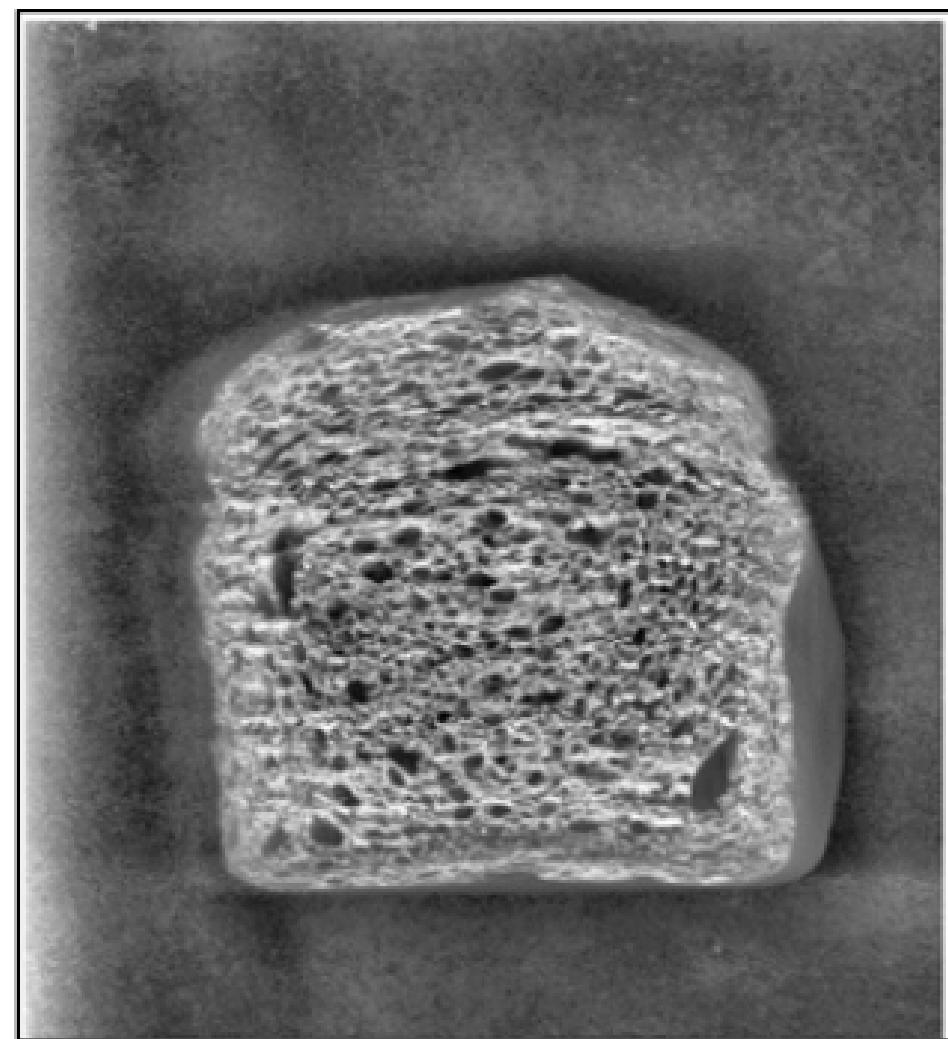
Şekil 3. Çalışmanın akış diyagramı (Flow diagram of this study)

## 2.3. Histogram Germeyi (Histogram Stretching)

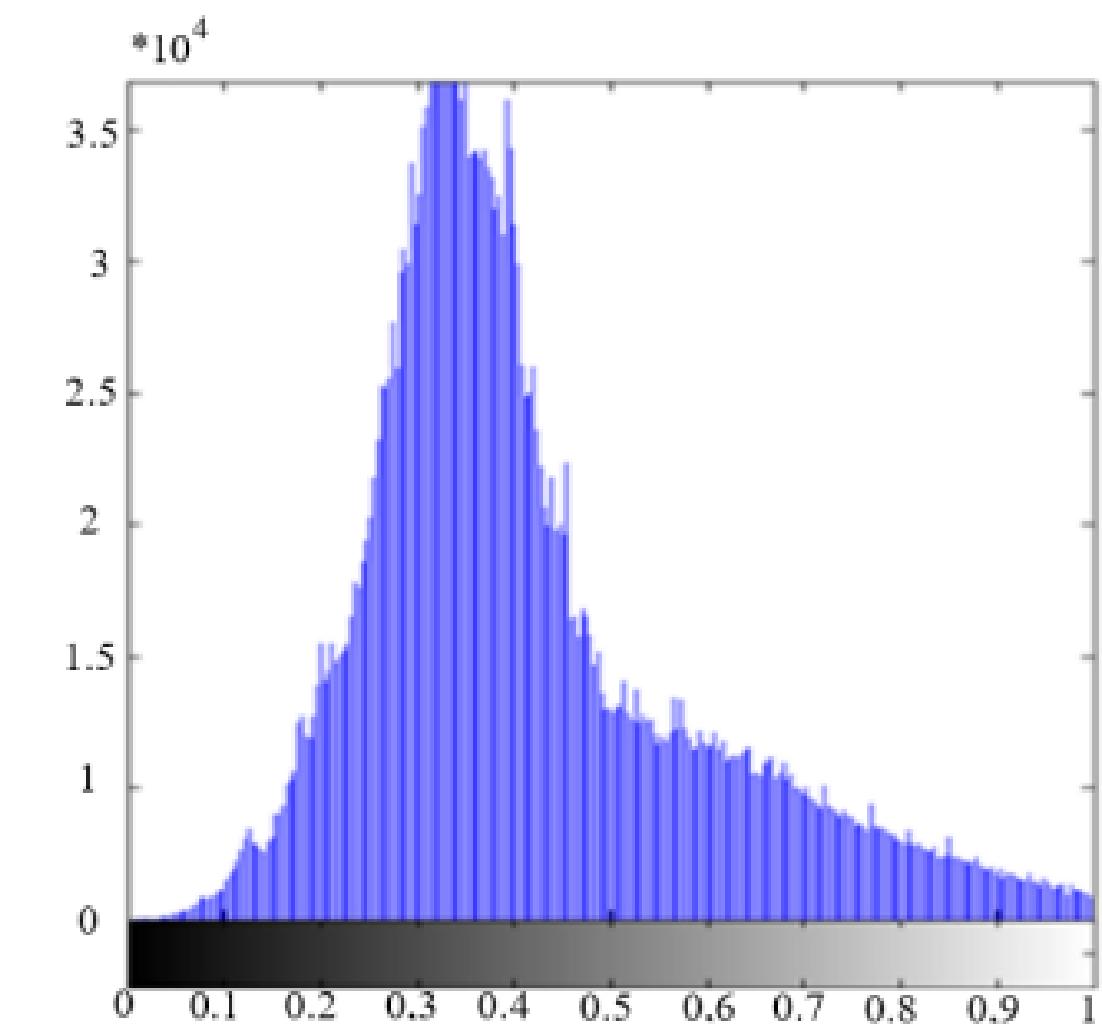
Şekil 4'teki gri seviye görüntüsünün histogramına bakıldığında grilik değerleri 0,1-0,2 ile 0,8-0,9 aralığında yoğunlaşmıştır. Histogram germe işlemi sonucunda Şekil 5'te görüldüğü üzere karşılığı iyileştirilmiş görüntüde gözeneklerin belirginliği Şekil 2'de yer alan gri seviye görüntüsüne göre artmaktadır. Şekil 6'da ise histogram germe işlemi sonucunda oluşan görüntü histogramı gösterilmiştir. Histogram incelendiğinde Şekil 4'te yer alan ayrık iki histogram tepesi kaybolmuştur.



Şekil 4. Gri seviye görüntü histogramı  
(Gray level image histogram)



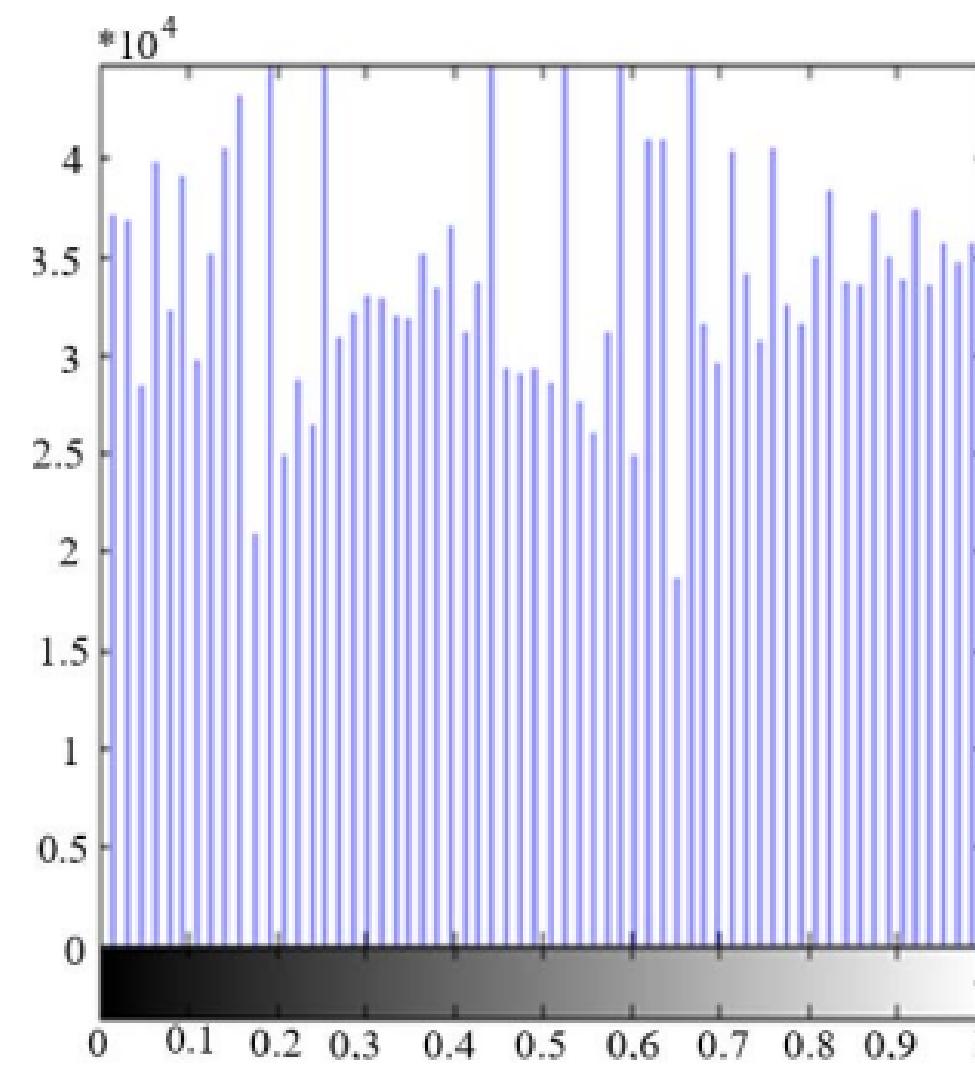
Şekil 5. Histogram germe uygulanmış örnek görüntü  
(Histogram stretching applied sample bread image)



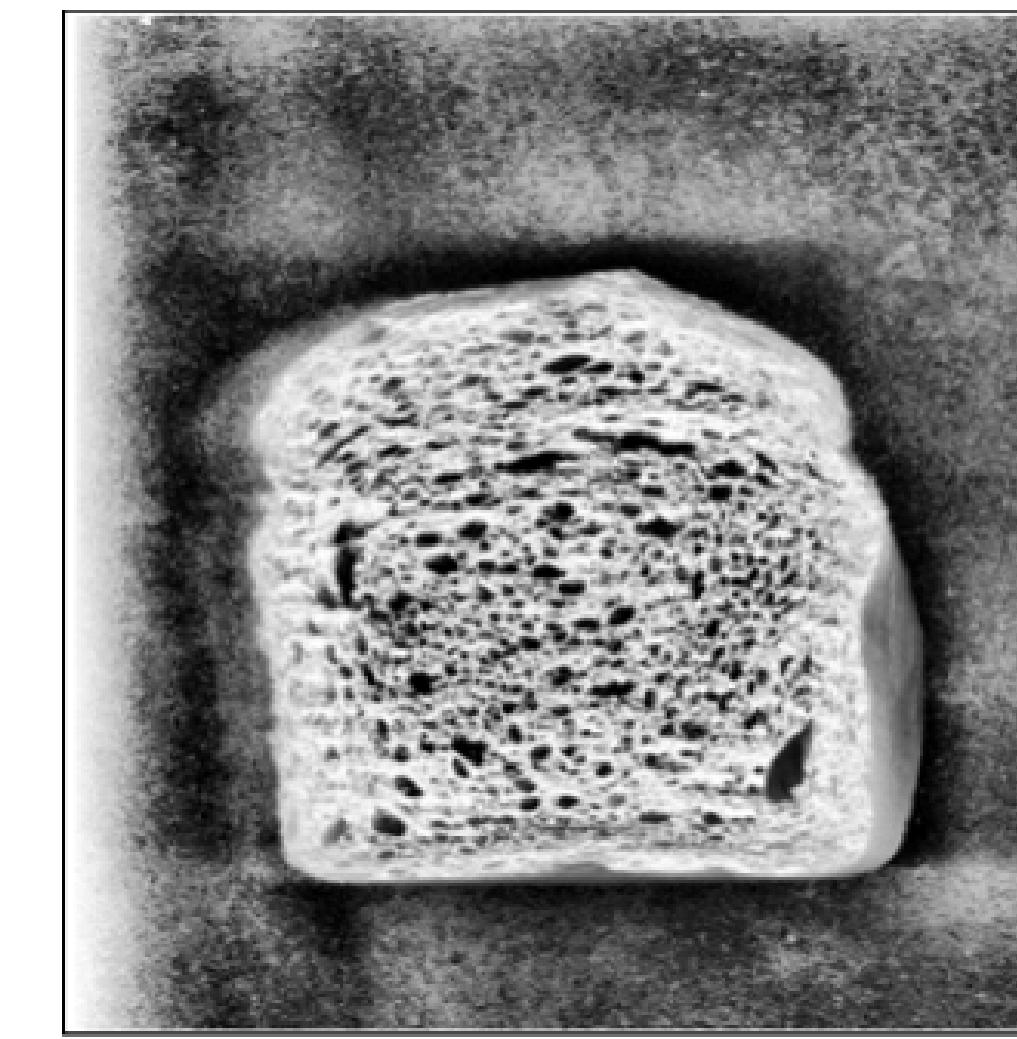
Şekil 6. Gerilmiş histogram (Stretched histogram)

## 2.4. Histogram Eşitleme (Histogram Equalization)

Şekil 6'daki karşılığı iyileştirilmiş görüntü histogramına bakıldığında tepenin olduğu görülmektedir. Ancak histogram eşitleme işleminden sonra daha düzgün yayılımlı bir histogram elde edildiği Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu işlemin uygulanması sonucunda elde edilen görüntü Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Eşitlenmiş histogram (Equalized histogram)



Şekil 8. Histogram eşitlenmiş örnek ekmek görüntüsü  
(Histogram equalized sample bread image)

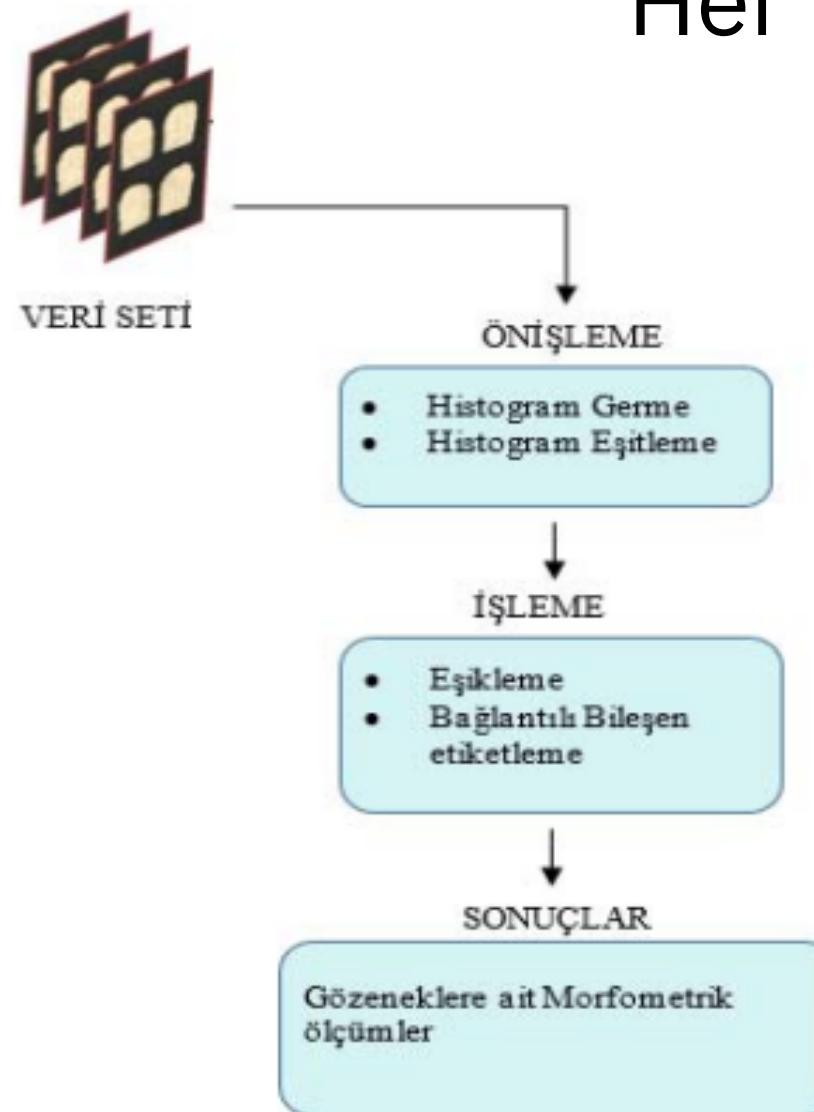
## 2.5. Gözeneklerin Otomatik Olarak Bölütlenmesi (Automatic Segmentation of the Cells )

Bu kısımda ön işlemeden geçip, işlemeye hazır hale gelen görüntüler öncelikle otsu yöntemiyle eşiklenerek ikili görüntü haline dönüştürülmüştür. Otsu yöntemi, gri seviye görüntüler üzerinde uygulanabilen bir eşik belirleme yöntemidir. Eş. 1'de sınıflar arası varyans; olarak tanımlanmaktadır.

$$\text{Eş.1} \quad J(t) = \sigma_0 + \sigma_1$$

$$\text{Eş.2} \quad \sigma_0 = \omega_0(\mu_0 - \mu_T)^2 \quad \sigma_1 = \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2$$

Her bir sınıfın varyansı ise; Eş. 2 ile ifade edilmektedir



Burada  $\omega$  değişkenleri sınıf yoğunluklarını  $\mu_0$  ve  $\mu_1$  değişkeleri her bir sınıfın ağırlıklı ortalamalarını,  $\cdot$  ise resmin ortalamasını ifade etmektedir. Bu durumda her bir sınıfın varyansı; olarak hesaplanabilmektedir (Eş. 3, Eş. 4).

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^{t-1} p_i \quad \mu_0 = \sum_{i=0}^{t-1} p_i * X(i)$$

$$\omega_1 = \sum_{i=t}^{mn-1} p_i \quad \mu_0 = \sum_{i=t}^{mn-1} p_i * X(i)$$

**Şekil 9.** Otomatik bölütmeye ait akış diyagramı  
(Flow diagram of automatic segmentation)

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^{t-1} p_i \quad \mu_0 = \sum_{i=0}^{t-1} p_i * X(i) \quad 3)$$

$$\omega_1 = \sum_{i=t}^{mn-1} p_i \quad \mu_0 = \sum_{i=t}^{mn-1} p_i * X(i) \quad 4)$$

Burada  $p_i$  i tonunun gelme olasılığı  $X(i)$  ise i. renk seviyesiyedir. Resmin ortalaması (Eş. 5);

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{mn-1} p_i * X(i) \quad 5)$$

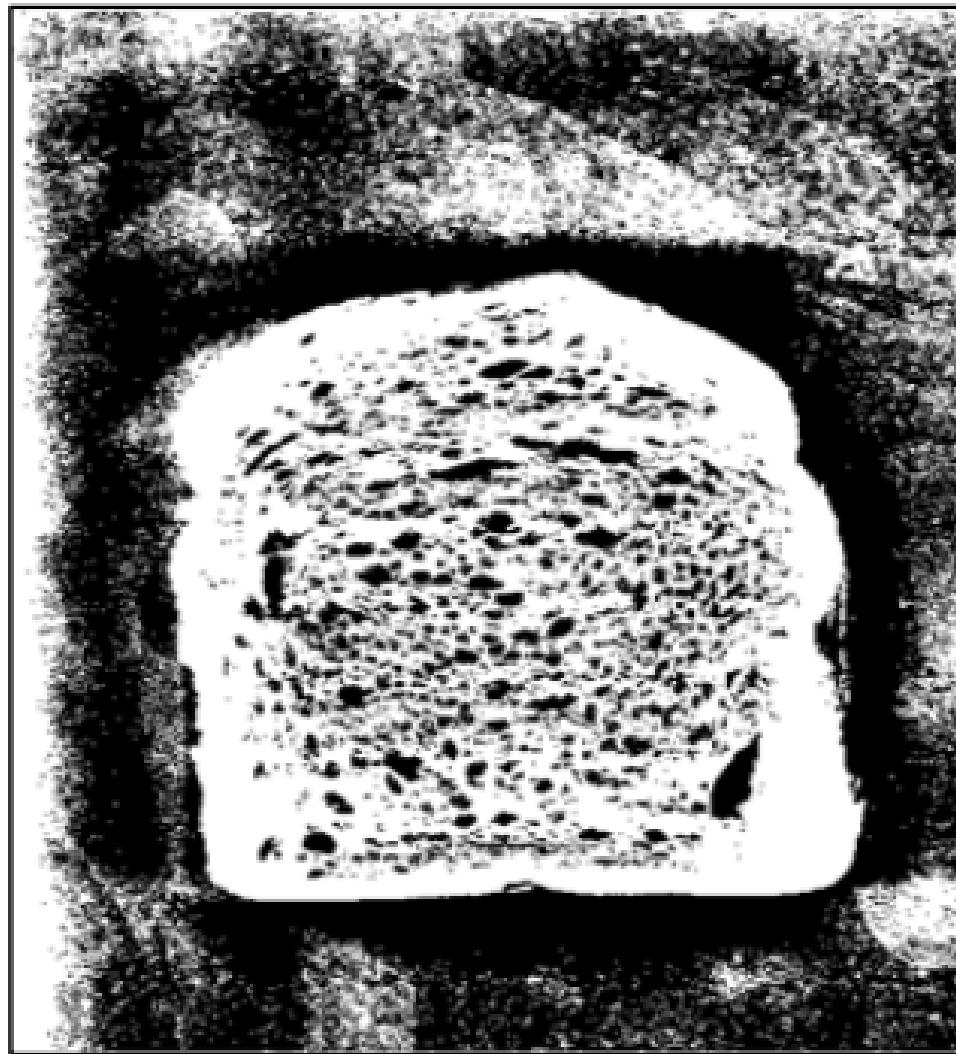
olarak hesaplandığından;

$$\omega_0 \mu_0 + \omega_1 \mu_1 = \mu_T \quad 6)$$

$$\omega_0 + \omega_1 = 1$$

Eş. 6 her zaman sağlandığından Eş. 1'i maksimum yapan t değeri resim için eşik değeri olarak belirlenmektedir. Şekil 10'da bu şekilde elde edilmiş t=0,47 değeri için eşiklenmiş görüntüde gözeneklerin siyah, ekmek dokusunun ise beyaz olduğu görülmektedir.

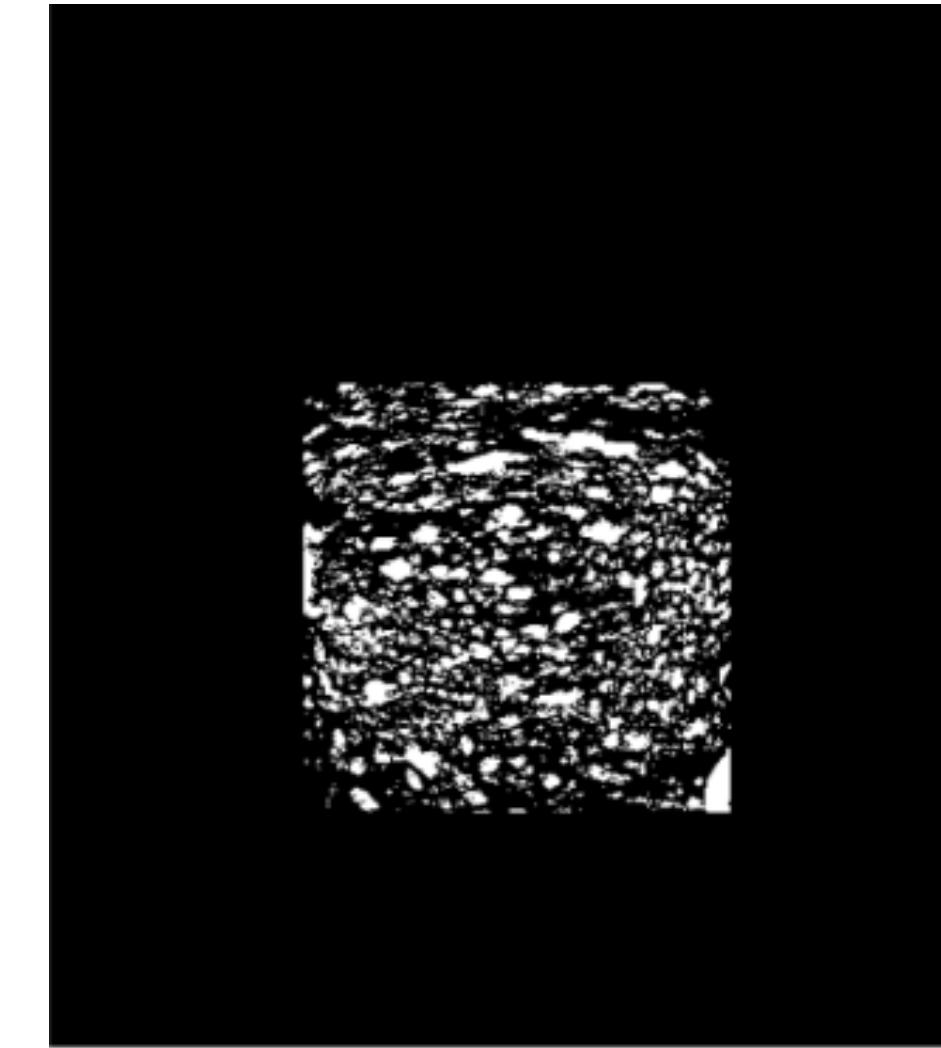
Şekil 11'de ise gözenek içleri doldurulmuş ve en büyük bağlı bileşen yöntemi kullanılarak bölütlenmiş ekmek yüzey görüntüüsü gösterilmektedir. Analizin yapılacakları bölge, uzman gıda mühendisinin görüşü doğrultusunda sınırları belirlenmiş ekmeğin orta bölümünden  $600 \times 840$  piksel<sup>2</sup> lik bir dikdörtgensel bölge olarak belirlenmiştir. Daha sonra, her ekmek görüntüüsü için bu bölgede bulunan gözenekler bölütlenmiştir.



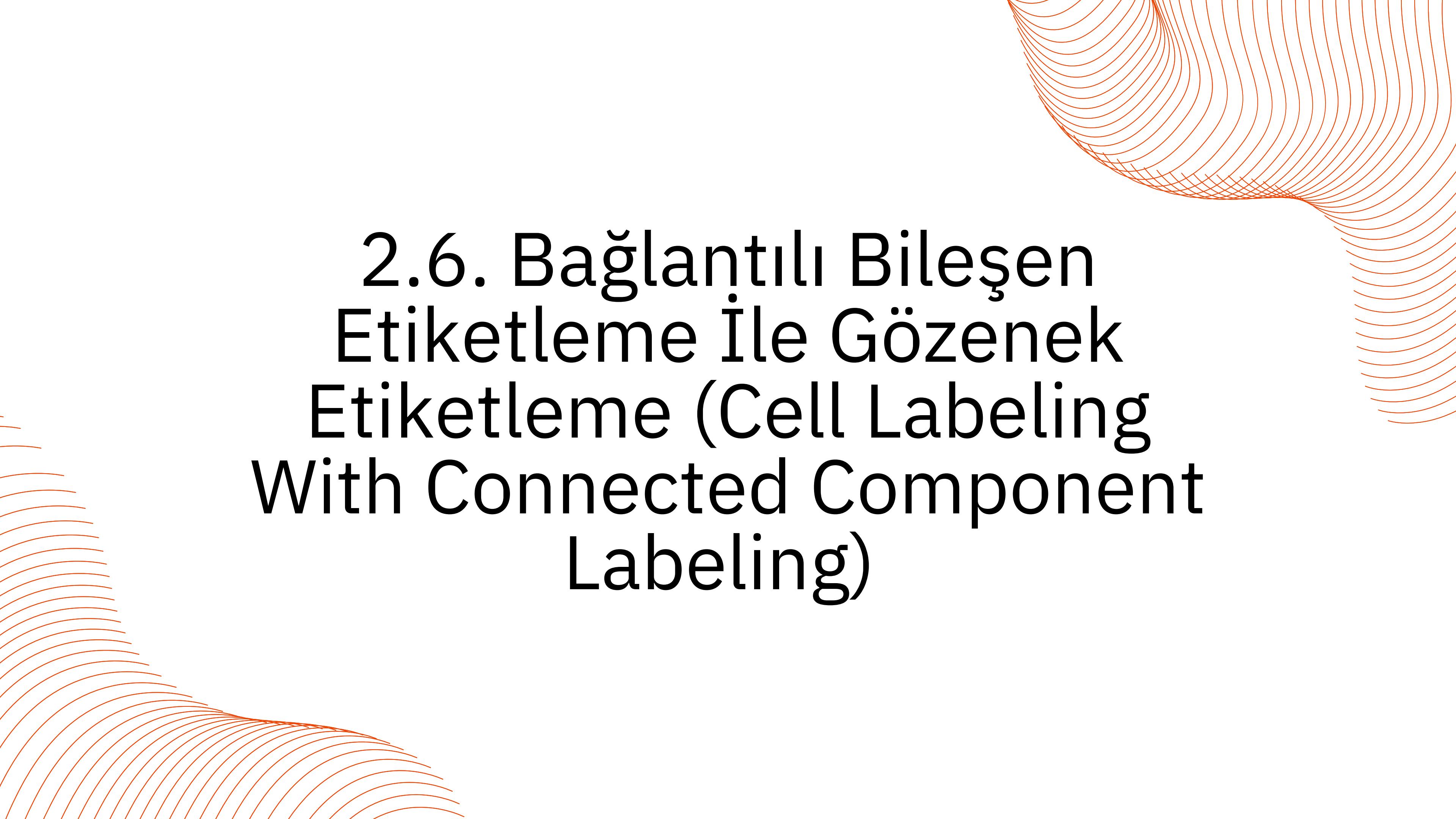
Şekil 10. Eşiklenmiş görüntü (Thresholded image)



Şekil 11. Bölütlenmiş toplam ekmek yüzeyi  
(Segmented total bread mask)



Şekil 12. Otomatik bölütlenmiş gözenek görüntüsü  
(Segmented bread cell image)



## 2.6. Bağlantılı Bileşen Etiketleme İle Gözenek Etiketleme (Cell Labeling With Connected Component Labeling)

Bağlantılı Bileşen Etiketleme yöntemi uygulanmıştır.  
Bu graplama sonucunda, resim üzerindeki her bir grup bir nesneyi temsil edecek  
şekilde numaralandırılmaktadır.

{

Pikselt Siyaha eşit değilse

- Pikselin Tüm komşularına bak (8'li komşuluk için)
- Tüm komşular siyah veya beyaz ise bu yeni bir pikseldir bu piksele yeni bir değer ata, diğer piksele geç
- Komşu piksellerden herhangi biri siyah ya da beyaz piksel ise bir önceki etiket numarasına bu pikseli kaydet

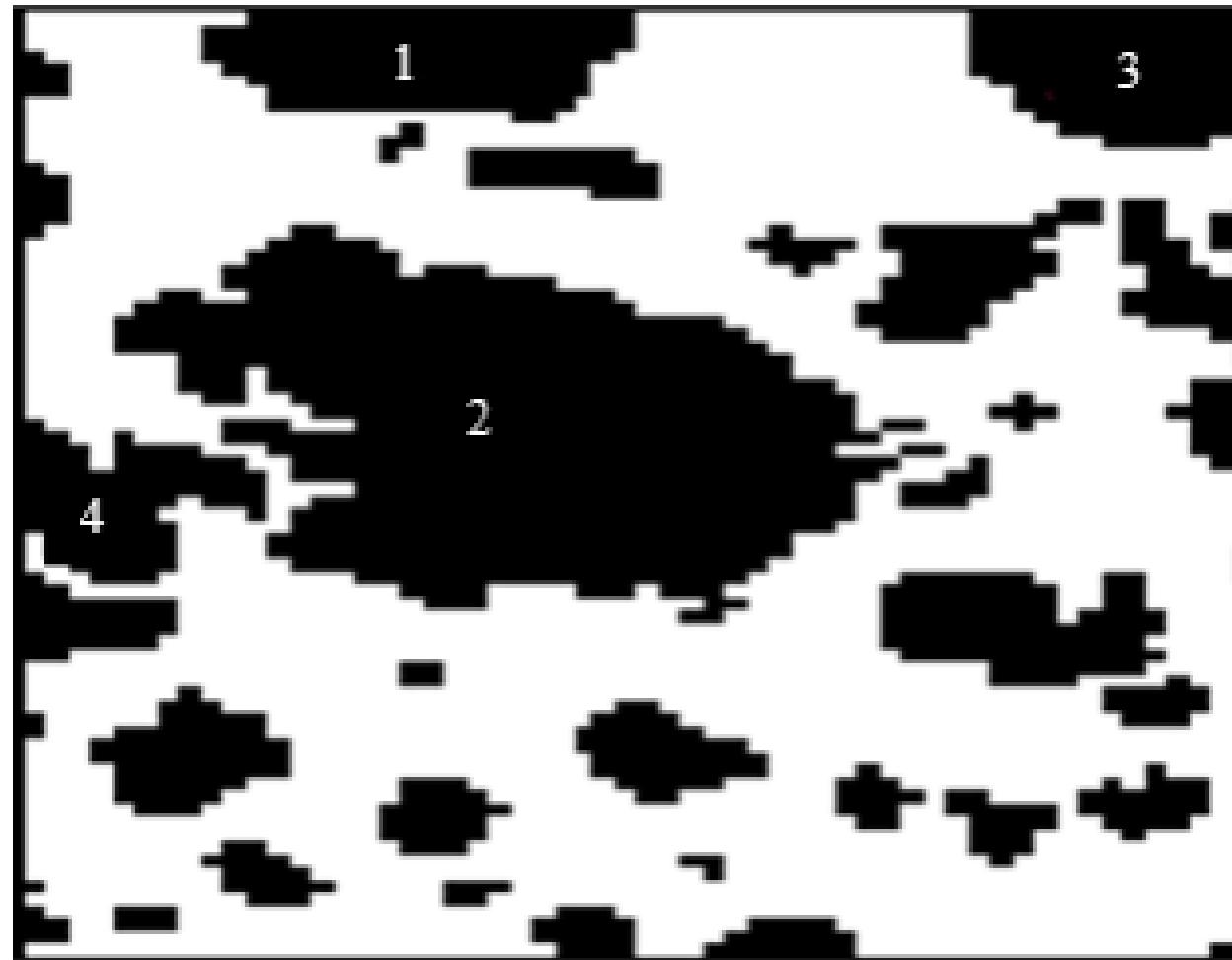
}

BBE sayesinde şekilce, büyüklükçe birbirinden ayrı olan gözeneklerin ortak özelliği olan birbirine bağlı aynı renk piksellerden oluşmasıdır. Böylelikle bağlı olan her bir piksel grubu bir değeri ile etiketlenmiş ve bu grubu oluşturan piksellerin koordinatları kaydedilmiştir.

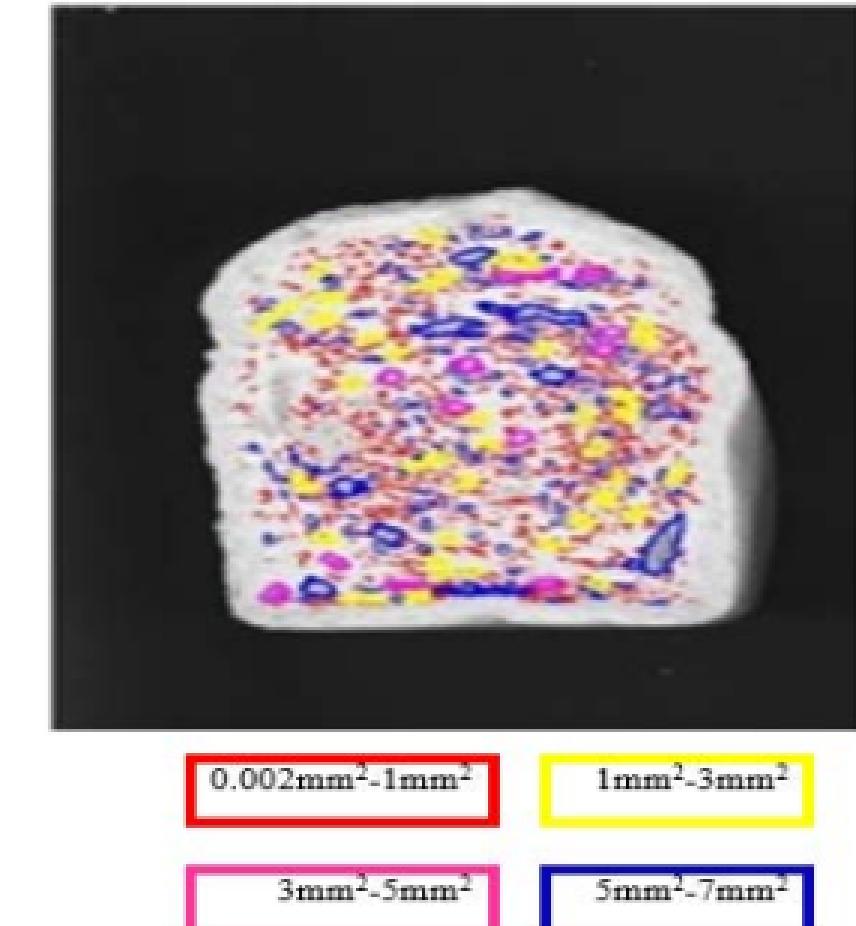
## 2.7. Gözeneklerin Büyüklüklerine Göre Sınıflandırılması (Classification of Cells According to Their Size)

Yapılan çalışmada farklı büyüklükteki gözeneklerin sayılarındaki değişimlerin gözlenmesi amacıyla gözenekler  $0,002\text{mm}^2$ - $1\text{mm}^2$ ,  $1\text{mm}^2$ - $3\text{mm}^2$ ,  $3\text{mm}^2$ - $5\text{mm}^2$  ve  $5\text{mm}^2$ - $7\text{mm}^2$  olmak üzere 4 sınıfa ayrılmıştır.

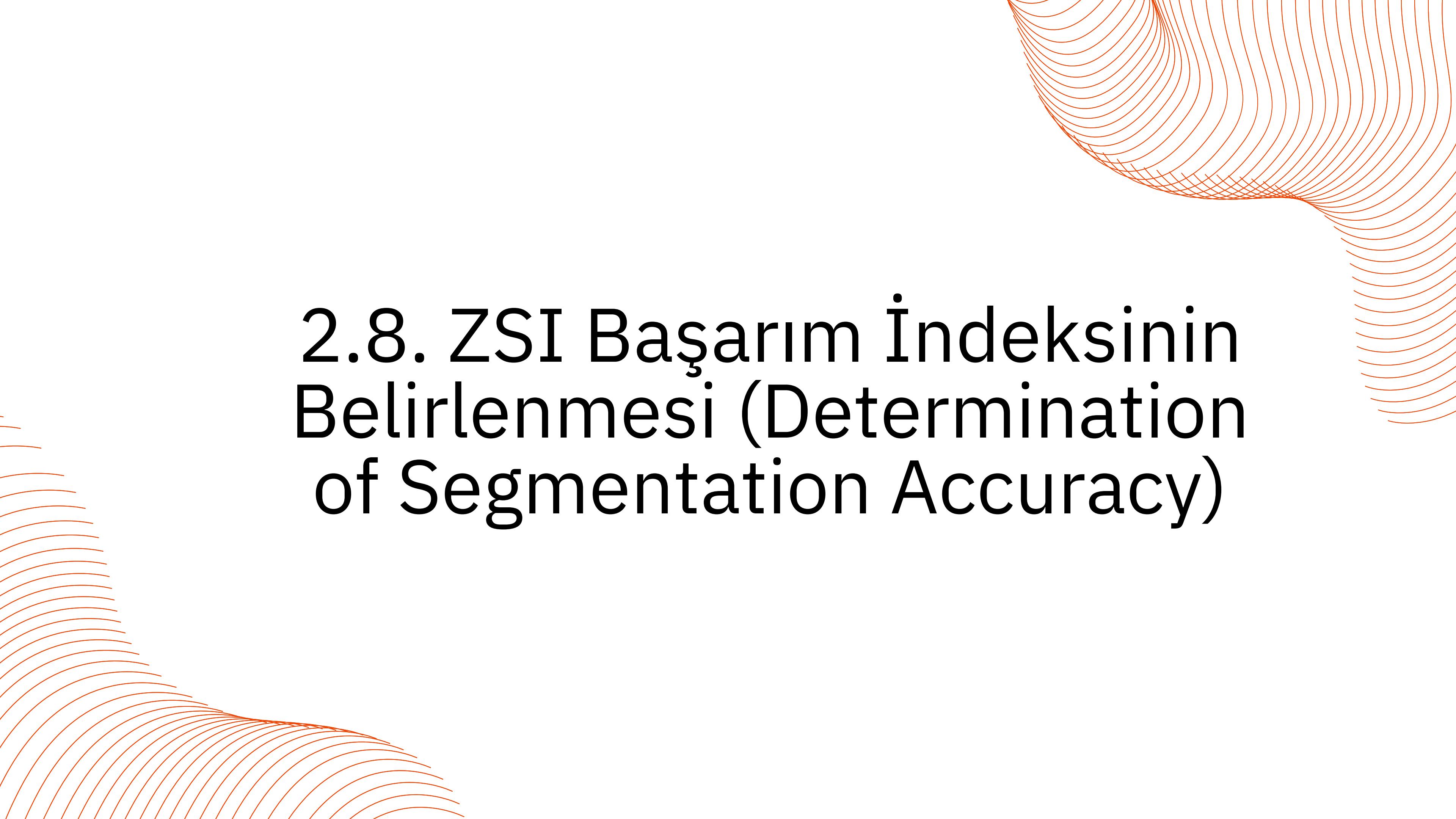
Bu hem bize gözeneklerin sınıflandırılması imkânı vermektede hem de görsel analiz imkânını sunmaktadır.



Şekil 13. Etiketlenmiş gözenek (Labelled bread cell)



Şekil 14. Gözeneklerin büyüklüklerine göre renklendirilmesi  
(Colored bread cells according to their sizes)



## 2.8. ZSI Başarım İndeksinin Belirlenmesi (Determination of Segmentation Accuracy)

Çalışmada farklı katkı maddeli tüm ekmek görüntüleri kullanılarak otomatik bölütlenen gözeneklerin, ImageJ programında bir uzman gıda mühendisi yardımıyla elle bölütlenmesi de yapılmıştır. Bu indeksin belirlenmesinde kullanılan formülasyon Eş.7'de gösterilmiştir.

$$ZSI = \frac{2*(O \cap M)}{|O| + |M|}$$

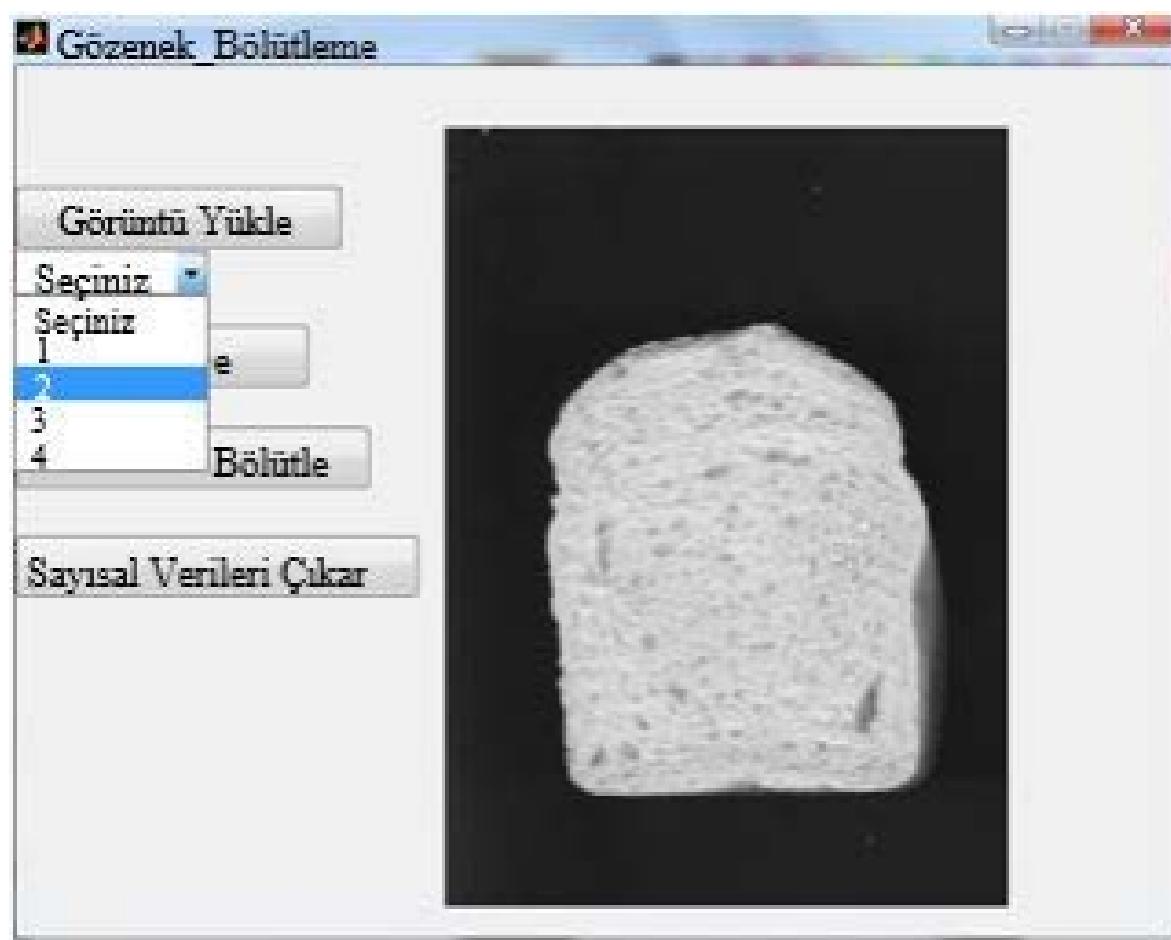
Burada yer alan O harfi otomatik bölütlemeyle elde edilen alanı, M harfi ise elle bölütme sonucu elde edilen alanı ifade etmektedir. Her iki bölütme sonucu elde edilen alanlar ise  $M \cap O$  olarak gösterilmektedir. Şekil 15'te elle ve otomatik bölütlenen alanların çakıştırılmasına ait temsili görüntü gösterilmektedir. Şekil 16'da kırmızı renk otomatik bölütlemeyi, yeşil renk elle bölütlemeyi, sarı renk ise her ikibölütlemeye ortak bölütlenen bölgeyi göstermektedir. Şekil 17'de otomatik bölütlemenin başarısını görmek için 12 adet gözeneğe ait hesaplanan ZSI değerleri gösterilmektedir.

Literatürde, ZSI indeksinin 0,7'den büyük olması durumunda çalışmanın yeterli başarına sahip olduğu ifade edilmektedir.

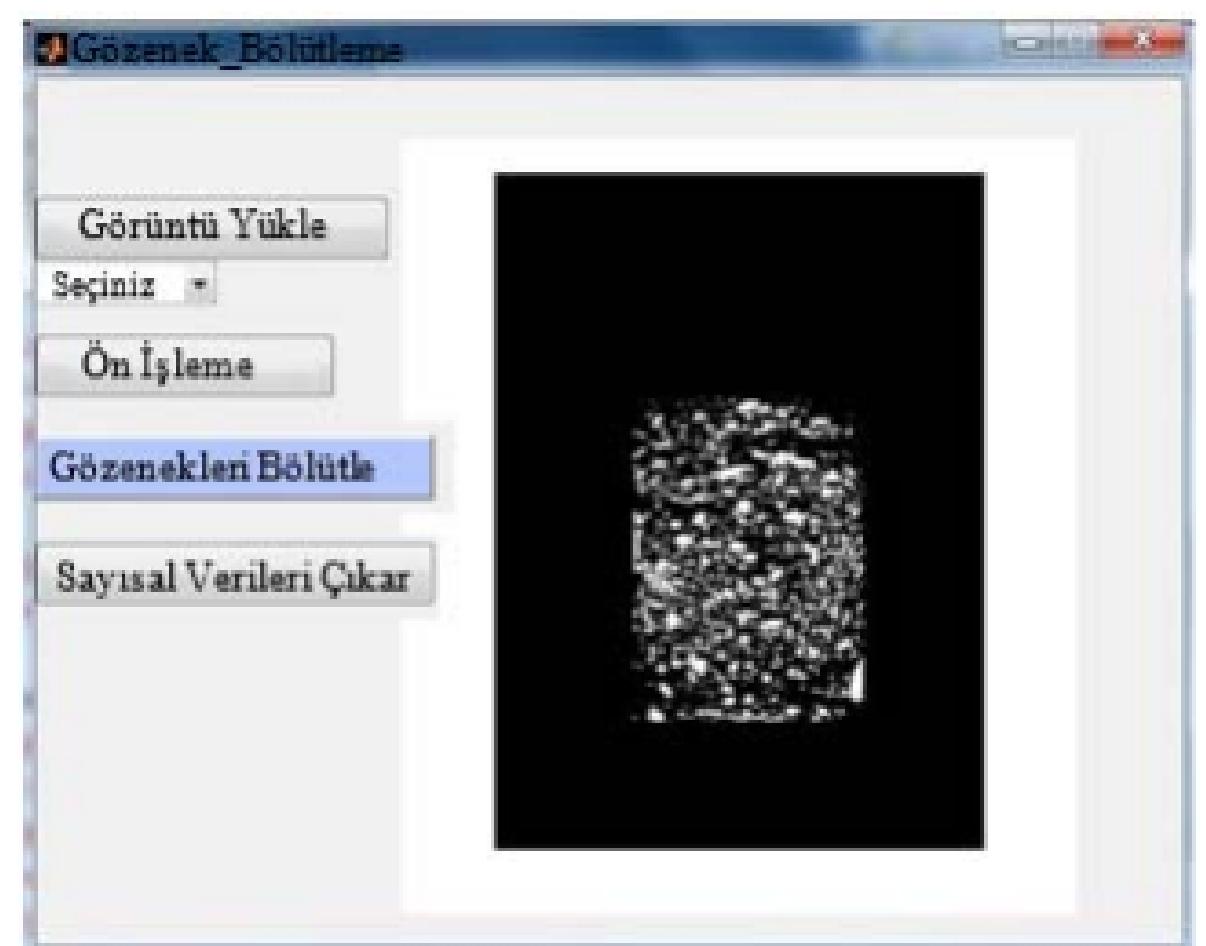
Çalışmada elde edilen başarım değerlerinin 0,87 ile 0,93 arasında olması, önerilen yöntemlerle gerçekleştirilen bölütlemenin oldukça başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

## **2.9. Geliştirilen Arayüz Programı (Developed Software)**

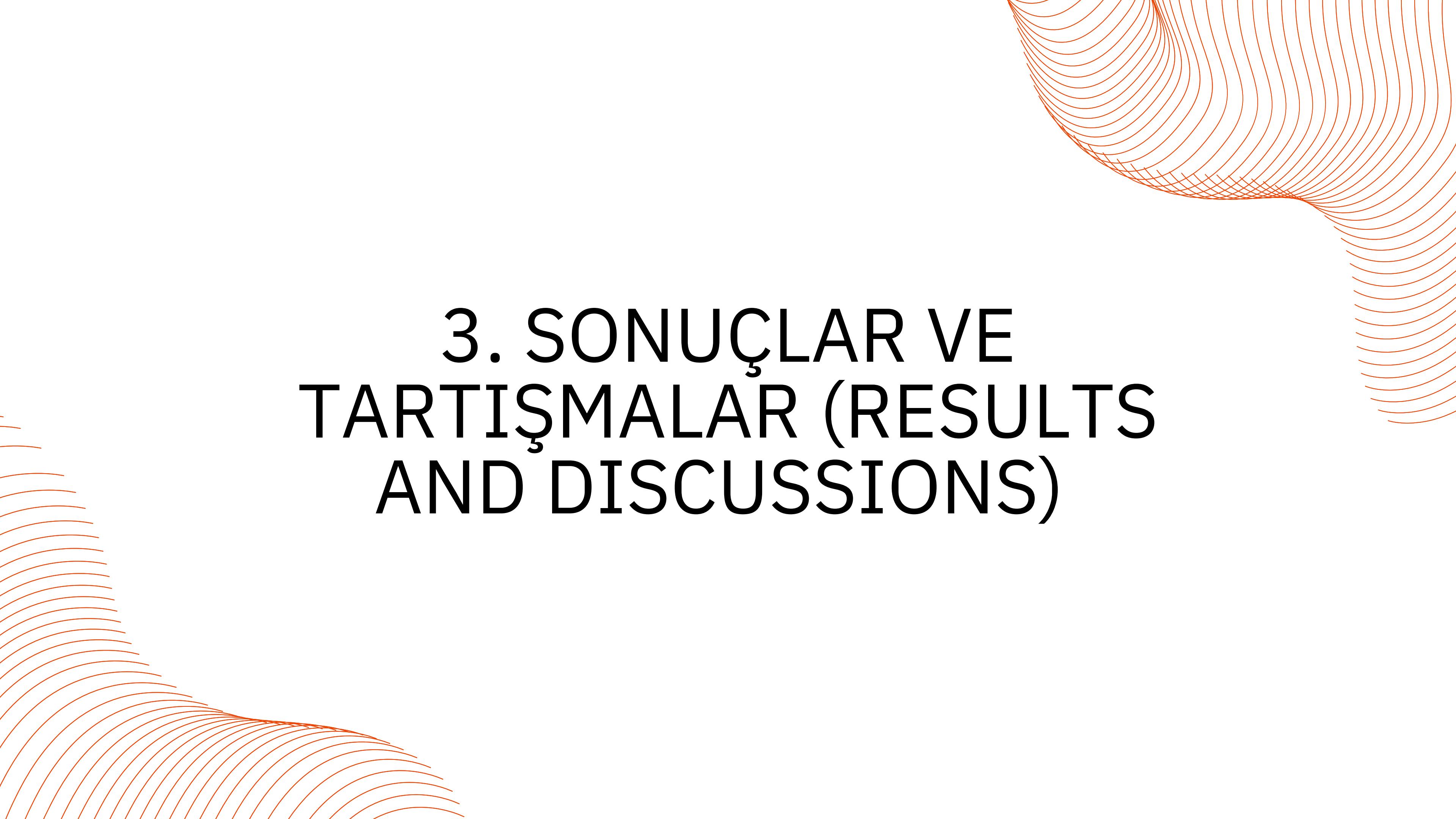
Çalışmada ayrıca Matlab GUI arayüz programı kullanılarak, ekmek doku/gözenek bölütleme ve gözeneklere ait sayısal verilerin elde edilmesine yönelik bir ara yüz programı oluşturulmuştur. Daha sonra 4 farklı ekmekten biri seçilerek gri seviye görüntüsüne dönüşümü yapılmaktadır. Sırasıyla ön işleme, özenekleri bölütle ve sayısal verileri çıkar ikonları tıklanarak gözeneklere ait ölçümler ilgili dizine Excel dosyası olarak çıkartılabilmektedir.



**Şekil 18.** Gözenek bölütleme GUI programı  
(Cell segmentation GUI software)



**Şekil 19.** Bölütlenmiş gözenek görüntüsü  
(Segmented cell image)



### **3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)**

Yapılan çalışmada bölütlenen ekmek dokusuna ait toplam gözenek sayısı, toplam gözenek alanı, yoğunluk , ortalama gözenek alanı , boşluk oranı gibi morfometrik parametreler elde edilmiştir. Tablo incelendiğinde DATEM gözenek sayısı ve gözenek alanını konsantrasyon miktarıyla doğru orantılı olarak arttırmaktadır. Gözenek sayısının %0,75'den sonra toplam gözenek alanının ise % 0,50'den sonra azaldığı görülmektedir. Boşluk oranı ise DATEM katkılı ekmeklerde %31, %33 seviyelerinde iken FL ve GL'li ekmeklerde bu değer %28, %29 seviyelerinde olmaktadır.

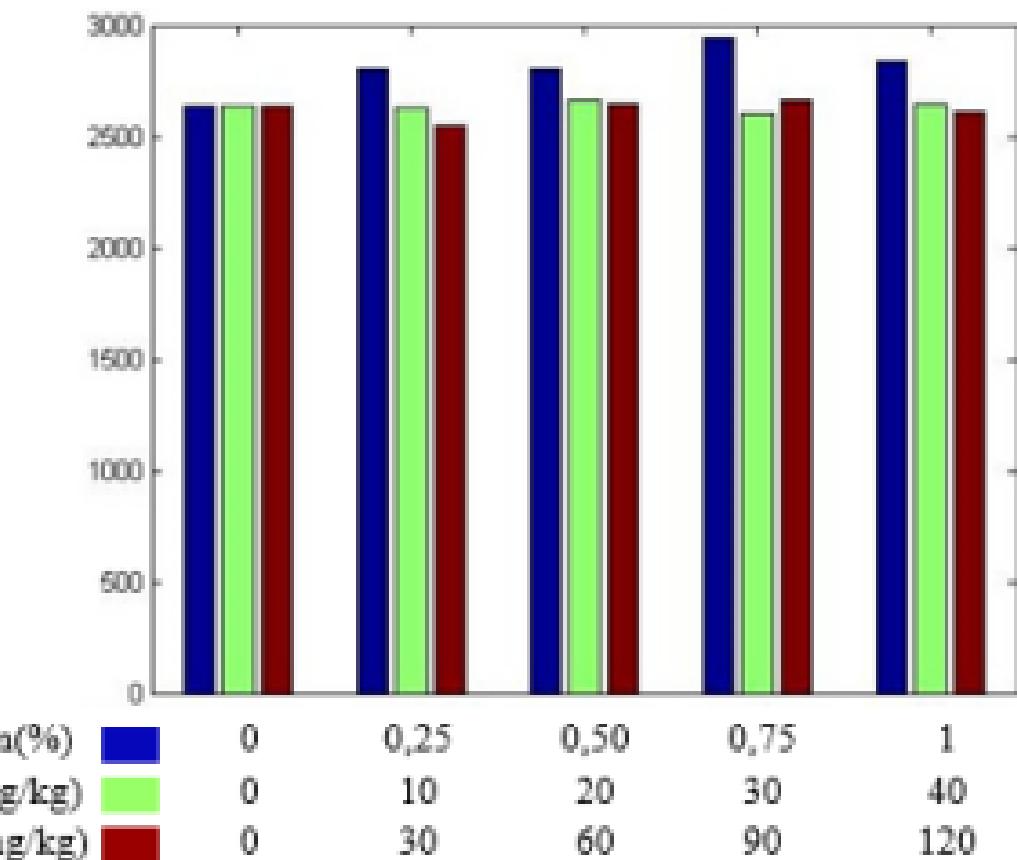
Şekil 20'de DATEM ve lipaz enzimlerinin toplam gözenek sayısı üzerindeki etkileri grafiksel olarak gösterilmiştir. DATEM'li ekmeklerdeki toplam gözenek sayısı lipazlarla kıyaslandığında daha fazla olmaktadır. Fakat bu artış DATEM'in %0,75 konsantrasyona kadar devam etmektedir. DATEM'li ekmeklerde bu değer %31,5 ile 33 arasındayken FL'de bu değer %28-29 seviyelerinde olmaktadır.

DATEM'in %0,50 ve %0,75'li konsantrasyonlarında en fazla boşluk oranı elde edilmiştir. Şekil 22'de ise DATEM ve lipazların yoğunluk üzerindeki etkileri gösterilmiştir. DATEM'li ekmeklerde yoğunluk  $90-95/cm^2$  seviyelerinde iken kontrol ve lipazlarda bu değer  $84-85/cm^2$  civarında olmaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, fosfolipaz ve glikolipazın hamurun reolojik özelliklerini konsantrasyon miktarına bağlı olarak DATEM'e benzer şekilde olumlu yönde geliştirdiği görülmüştür.

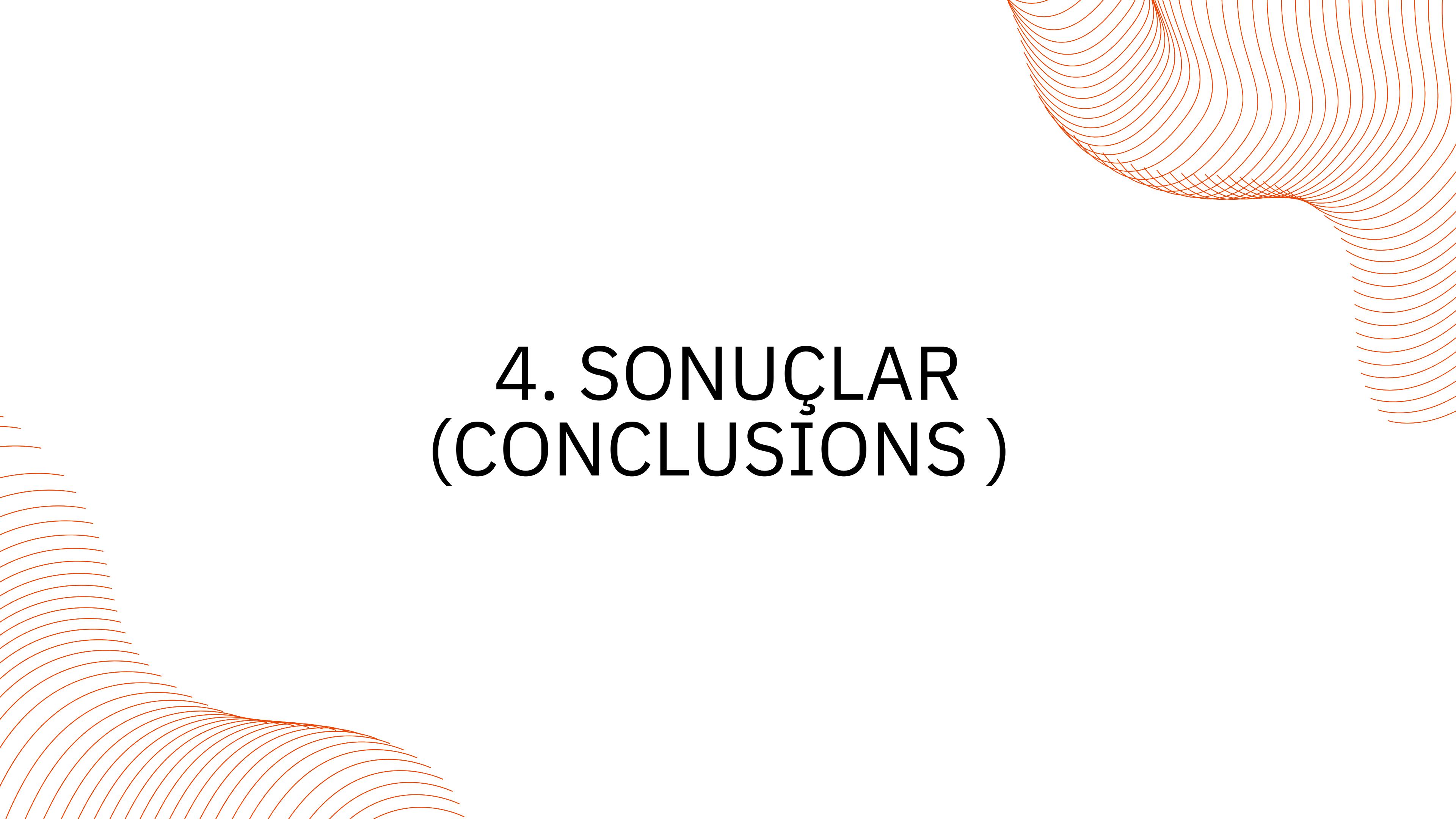
Çalışmada iki adet enzimin ekmek kalitesine etkileri değerlendirilmiş ve şuan da kullanılan DATEM katkı maddesine alternatif olarak kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır.

**Tablo 1.** Katkı maddelerinin cinsi ve miktarına bağlı olarak elde edilen parametreler  
(Parameters obtained depending on the type and amount of additives)

Katkı Maddesi (%, mg/kg <sup>-1</sup> )	Toplam gözenek sayısı	Yoğunluk (cm <sup>-2</sup> )	Boşluk oranı (%)	Ortalama Gözenek Alanı (mm <sup>2</sup> )	Toplam gözenek Alanı (mm <sup>2</sup> )
Kontrol % 0	2635	84	28,87	0,340	895,586
DATEM % 0,25	2805	90	31,50	0,348	977,236
DATEM % 0,50	2807	90	32,99	0,365	1023,558
DATEM % 0,75	2945	94	32,08	0,338	995,101
DATEM % 1,00	2839	91	31,88	0,348	989,311
FL 10	2623	84	29,17	0,3457	905,019
FL 20	2659	85	28,95	0,3387	898,329
FL 30	2605	83	28,63	0,3419	888,276
FL 40	2646	85	26,64	0,3124	826,403
GL 30	2550	82	28,69	0,3507	890,225
GL 60	2649	85	29,54	0,3467	916,424
GL 90	2660	85	29,82	0,3482	925,142
GL 120	2614	84	30,28	0,3613	939,480



**Şekil 20.** DATEM ve Enzimlerin ekmek gözenek sayısı üzerindeki etkileri  
(The effects of DATEM and enzymes on the cell number)



## **4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS )**

Yapılan çalışmada görüntü işleme teknikleri kullanılarak ekmek gözenekleri bölütlenmiştir. Bu sayede ekmek doku özellikleri belirlenerek katkı maddesinin cinsine, miktarına bağlı olarak ekmek yapısında meydana gelen değişimler ve gözeneklere ait sayısal veriler elde edilerek belirlenmiştir. Tablo 1'den DATEM katkı maddeli ekmeklerin kontrol grubu ekmeklere göre daha fazla gözenek sayısı ve gözenek alanına sahip olduğu görülmektedir. Buradan da DATEM katkı maddesinin ekmek hacmini arttırdığı sonucuna varılmıştır. Bu kapsamında en fazla gözenek sayısı ve en yüksek yoğunluk değerine %0,75'li yoğunlukta ulaşıldığı görülmüştür. Ayrıca %0,50 DATEM konsantrasyonunda boşluk oranının en yüksek olduğu görülmüştür. FL katkı maddeli ekmeğin ise, 20'li konsantrasyonunun gözenek sayısı, toplam gözenek alanı ve yoğunluğunun en yüksek değerde olduğu görülmektedir. Ancak DATEM'le kıyaslandığında bu değerlerin daha küçük kaldığı görülmüştür. GL enzimli ekmeklerin 60 ve 90'lı konsantrasyonunda gözenek sayısı ve gözenek alanını arttırdığı, 120'li konsantrasyonunda ise gözenek sayısını azalttığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar FL ve GL lipaz enzimlerinin DATEM kadar olmasa da ekmek hacmine olumlu etki yaptığını göstermiştir



Taha Kubilay ÖZDOĞAN  
02205076007 - İÖ