

Görüntü işleme teknikleri kullanılarak ekmek doku analizi ve arayüz programının geliştirilmesi

Research Article

Abstract

- Ekmek, içerisine konulan maddelerin miktarı ve cinsine bağılı olarak farklı kalitede üretilebilmektedir. Ekmek dokusundaki gözeneklerin, sayısı, yoğunluğu, alanı gibi yapısal özellikler ekmeğın kalitesi açısından önemli bilgiler içermektedir. Bu çalışmada DATEM (Diacetil tartaric esters of monogliserid) katkı maddesinin, fosfolipaz (FL) enziminin ve glikolipaz (GL) enziminin doğrudan ekmek yapım yöntemiyle üretilmiş ekmeklerdeki kaliteye olan etkisi belirlenmiştir. Bu amaçla, Matlab'te görüntü işleme teknikleri kullanılmış ve ekmek gözeneklerinin bölütlenmesi temelli bir yazılım oluşturulmuştur. Çalışmada, 104 farklı ekmek imgesi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar DATEM'in ekmeğın gözenek yapısını iyileştirerek, konsantrasyonuyla doğru orantılı olarak ekmek hacmini arttırdığını göstermiştir. FL'nin 20 mg.kg-1 ve GL'nin 60 mg.kg-1 konsantrasyonlarında ise gözenek sayısı ve gözenek alanında artış olduğu da gözlemlenmiştir. Çalışmanın başarımının belirlenmesinde ZSI (Zijdenbos Similarity Index) indeksi kullanılmıştır. Elde edilen başarım indeks değerleri 0,87 ile 0,93 arasında değişmekte olup literatürde 0,7'den büyük değerler başarılı olarak kabul edilmektedir. Elde edilen sonuçlar, önerilen metodolojinin ekmek gözeneklerinin bölütlenmesine dayanan ekmek kalitesi analizinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Veri Kümesi

- Çalışmada kullanılan ekmek kesit alan görüntüleri doğrudan ekmek yapım yöntemiyle (AACC 10-10B, AACC, 2000) elde edilmiştir [10]. Ekmek hazırlama içeriğine 1 kg un (%14 rutubetli)   zerinden, %3 maya, %1,5 tuz, 10 mg/kg alfa-amilaz ve 75 mg/kg askorbik asit eklenerek başlanmıştır. Karışıma ilave edilecek su miktarı farinogafta belirlenmiş ve %62,6 oranında formülasyona su eklenmiştir.
- 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 (100 g un üzerinden), 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. Analiz edilecek ekmekler önce, dilimleme makinesinde 25 mm kalınlıkta kesilmiş ve her bir ekmeğin ortasındaki/merkezindeki iki dilim analizlerde kullanılmak üzere ayrılmıştır. Görüntü işleme için belirlenen bu iki dilimin bir tarayıcı (CanoScan 4400F, Canon, Japan) aracılığı ile görüntüsü bilgisayaraya aktarılmıştır.
- Tarayıcının parlaklık ve kontrast parametreleri, tüm görüntüler için sıfıra ayarlanmıştır. Görüntüler, 300 DPI'da ve RGB renkli olarak BMP formatında 3508*2552 piksel olarak bilgisayaraya kaydedilmiştir.



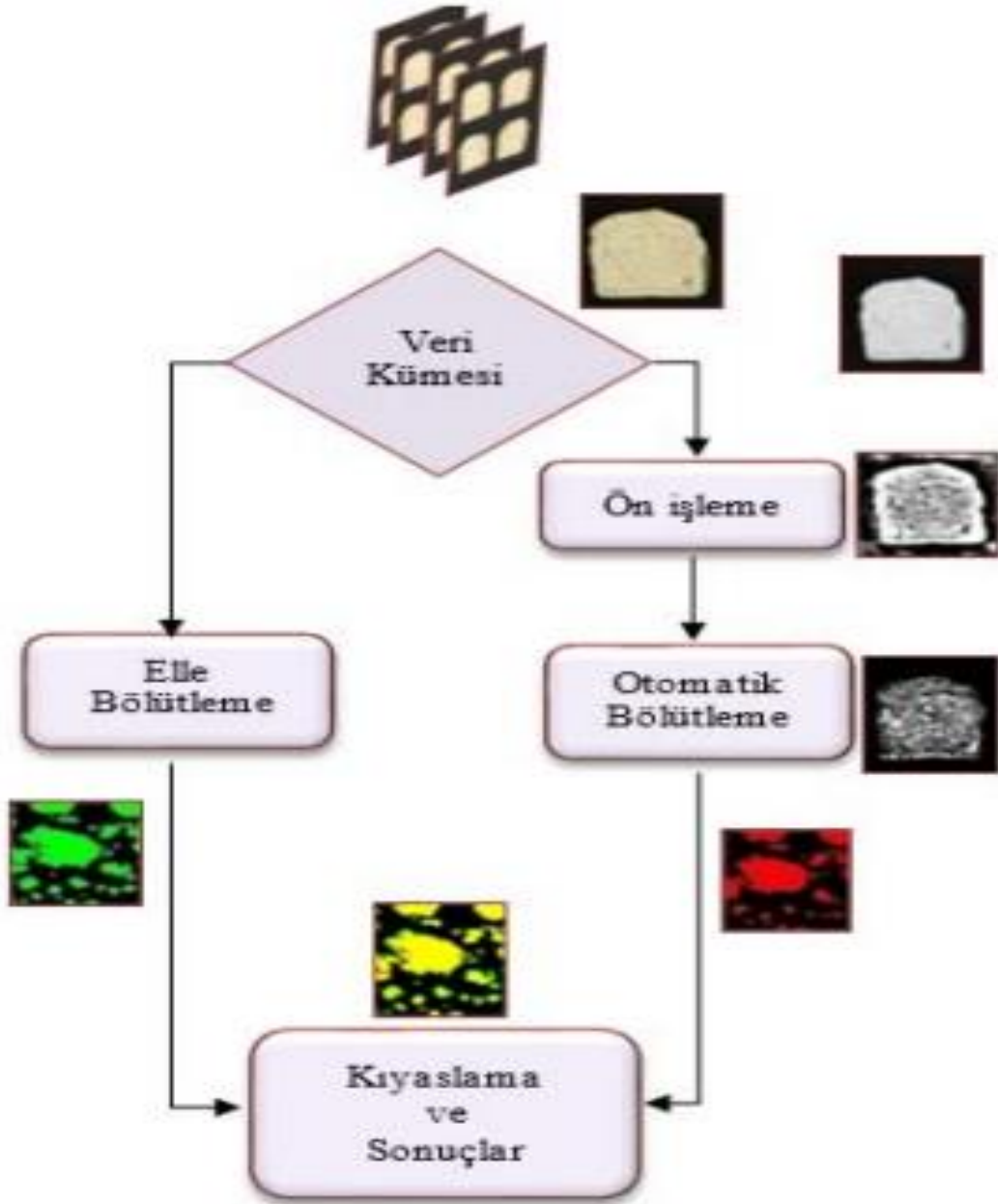
Şekil 1. Orjinal ekmek görüntüleri (Original bread images)

- Şekil 1’de orijinal ekmek görüntüleri gösterilmiş olup her bir görüntüde aynı konsantrasyona sahip 4 farklı ekmek dilimi görüntüsü bulunmaktadır.
- Çalışmada 104 farklı ekmek görüntüsü kullanılmış ve bunların 8 tanesi kontrol grubunu oluşturmaktadır. Bu kontrol grubunu oluşturan ekmeklerin yapımında hiçbir katkı maddesi kullanılmamıştır.
- 32 tanesi ise DATEM katkı maddesinin (%0,25, %0,50, %0,75, %1,00) farklı konsantrasyonundan, 32 tanesi lipopan FBG fosfolipaz (FL) enziminin (10, 20, 30, 40 mg/kg) konsantrasyonlarından ve 32 tanesi ise grindamyl glikolipaz (GL) enziminin (30, 60, 90, 120 mg/kg) konsantrasyonlarından oluşmaktadır.



. Yöntemler

- Ham ekmek görüntüleri renkli olup bir resimde 4 farklı ekmek görüntüsü yer almaktadır. Öncelikle her bir ekmek görüntüsü ayrı bir görüntü olacak şekilde 104 farklı renkli ekmek görüntüsü elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen renkli 104 adet ekmek görüntüsü gri seviye görüntüsüne dönüştürülmüştür. Şekil 2’de örnek bir gri seviye ekmek görüntüsü gösterilmiştir.

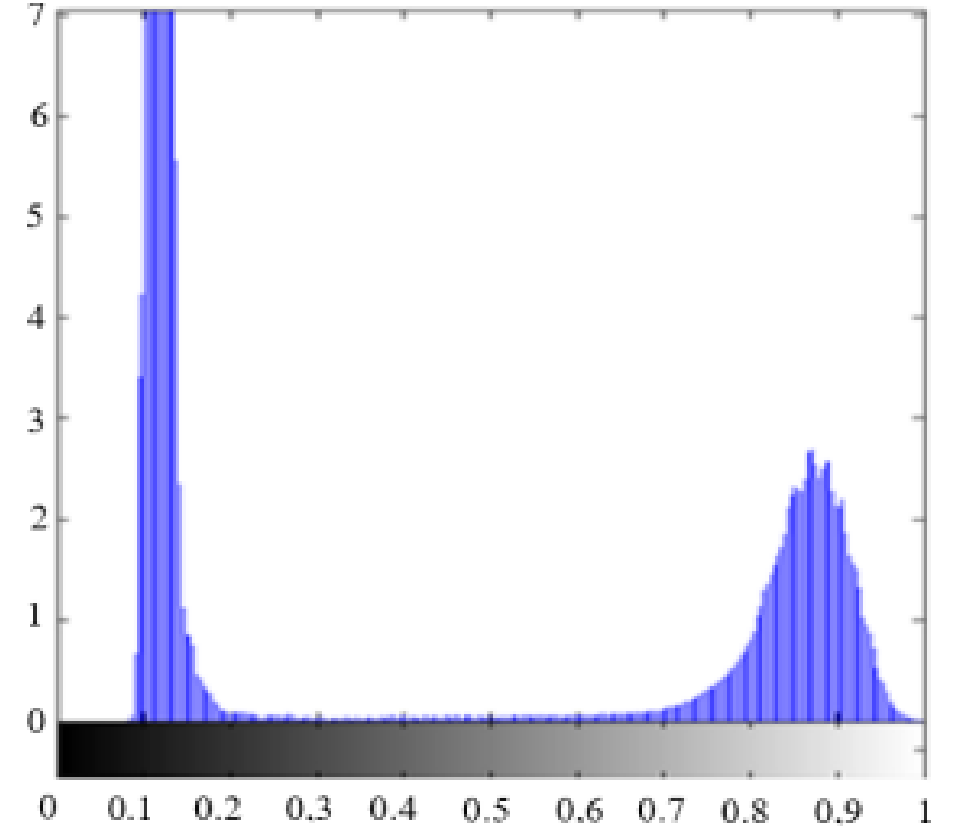


Şekil 3. Çalışmanın akış diyagramı (Flow diagram of this study)

- Şekil 3'te çalışmada kullanılan işlemlerin b t n n  özetleyen genel akış diyagramı verilmiştir. Diyagram incelendiğinde ekmek gözeneklerinin otomatik bölütlenmesi temelli bir ekmek doku analizi için yapılan işlemler görülmektedir.
- Gerçekleştirilen bölütlemenin başarımı da elle belirlenen gözenek görüntüleri kullanılarak ZSI başarım belirleme indeksine göre test edilmiştir.

Histogram Germe

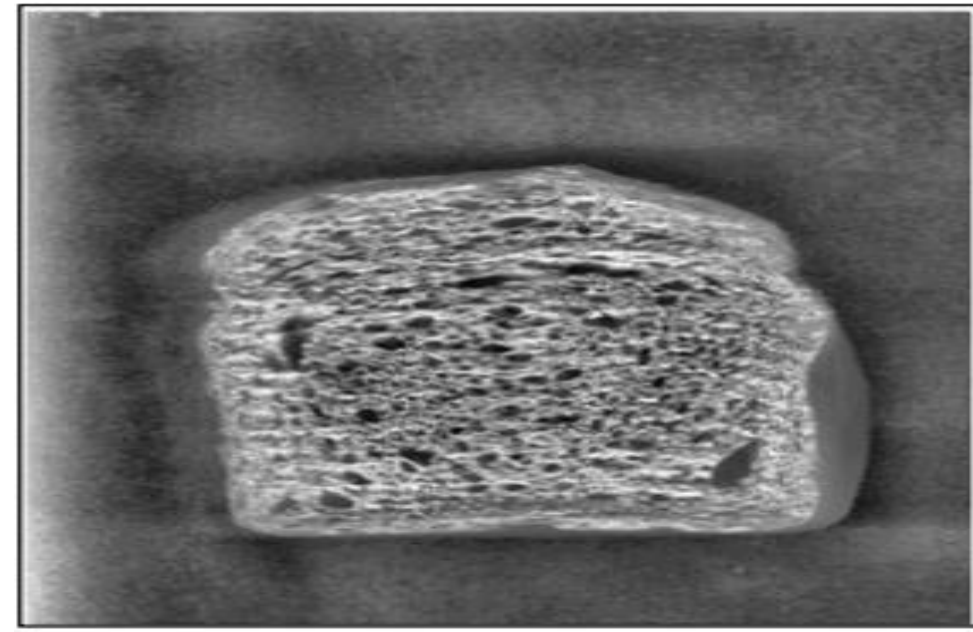
- Adaptif histogram eşitleme olarak da bilinen histogram germe işlemi düşük kontrastlı resimlere uygulanan bir yöntem olup histogramı geniş bir bölgeye yayma mantığına dayanmaktadır [11]. Ön işlemenin ilk basamağını oluşturan bu yöntem sayesinde gri seviye görüntülerinin kontrastı iyileştirilmiştir. Şekil 4'teki gri seviye görüntüsünün histogramına bakıldığında grilik değerleri 0,1-0,2 ile 0,8-0,9 aralığında yoğunlaşmıştır.



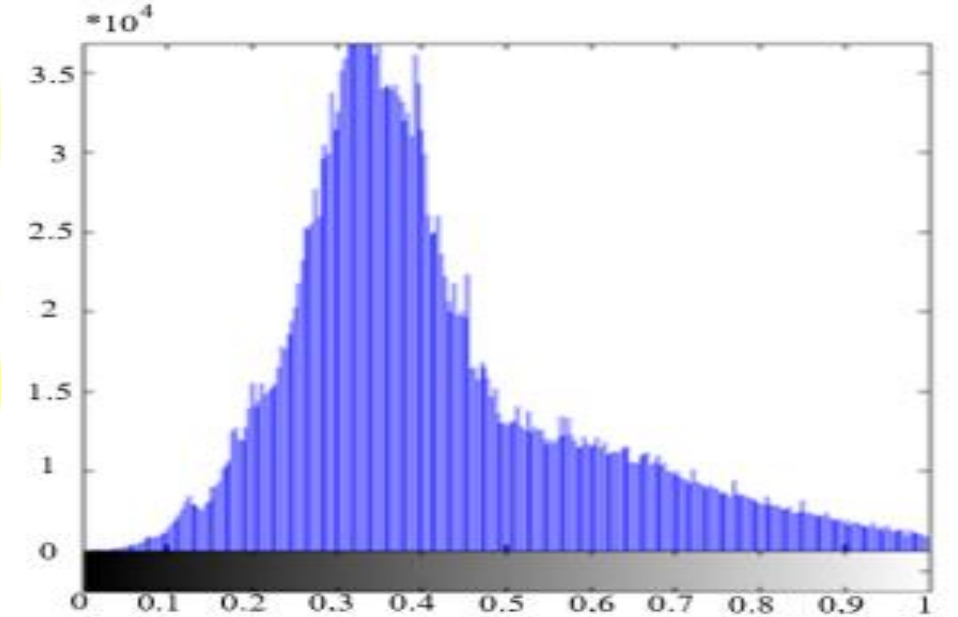
Şekil 4. Gri seviye görüntü histogramı
(Gray level image histogram)

- Histogram germe işlemi sonucunda Şekil 5'te görüldüğü üzere karışıklığı 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 ayırık iki histogram tepesi kaybolmuştur. Piksel aralığı ise histogram boyunca yayılmıştır.



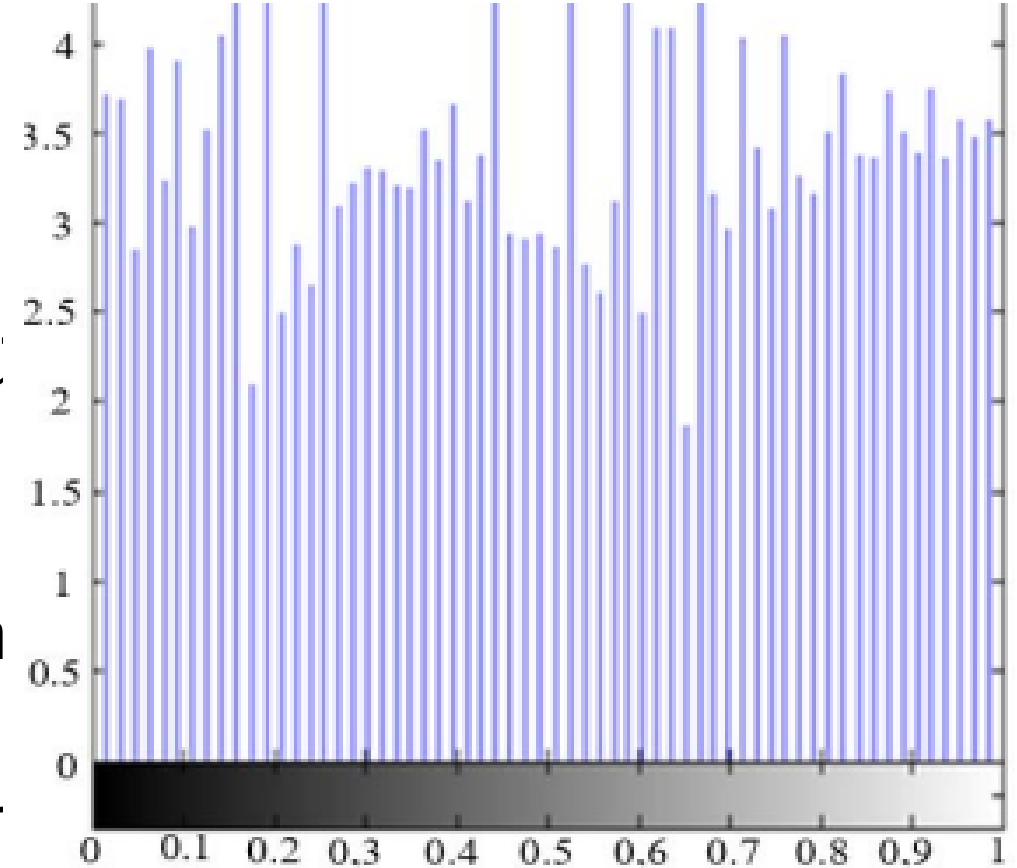
Şekil 5. Histogram germe uygulanmış örnek görüntü
(Histogram stretching applied sample bread image)



Şekil 6. Gerilmiş histogram (Stretched histogram)

Histogram Eşitleme

- Histogram eşitleme işleminden sonra daha düzgün yayımlı bir histogram elde edildiği Şekil 7’de gösterilmiştir.
- Bu işlemin uygulanması sonucunda elde edilen görüntü Şekil 8’de gösterilmiştir. Ekmek dokularının açık renkte, gözeneklerin ise koyu renkte olduğu görülmektedir. Histogram eşitleme işleminden sonra ön işleme aşaması bitmiş olup, gözeneklerin bölütlenmesiyle görüntü işleme aşamasına geçilecektir



Şekil 7. Eşitlenmiş histogram (Equalized histogram)

Gözeneklerin Otomatik Olarak Bölütlenmesi

- 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. Bu yöntem kullanılırken m*n boyutlarında görüntünün arka plan ve ön plan olmak üzere iki sınıftan oluştuğu varsayımı yapılır. Eş. 1'de sınıflar arası varyans; olarak tanımlanmaktadır.

$$J(t) = \sigma_0 + \sigma_1 \quad (1)$$

Her bir sınıfın varyansı ise;

$$\sigma_0 = \omega_0(\mu_0 - \mu_T)^2 \quad \sigma_1 = \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 \quad (2)$$

Eş. 2 ile ifade edilmektedir [12].

- Burada ω değişkenleri sınıf yoğunluklarını μ ve σ değişkenleri her bir sınıfın ağırlıklı ortalamalarını, σ ise resmin ortalamasını ifade etmektedir. Bu durumda her bir sınıfın varyansı; olarak hesaplanabilmektedir (Eş. 3, Eş. 4).
- 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.

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

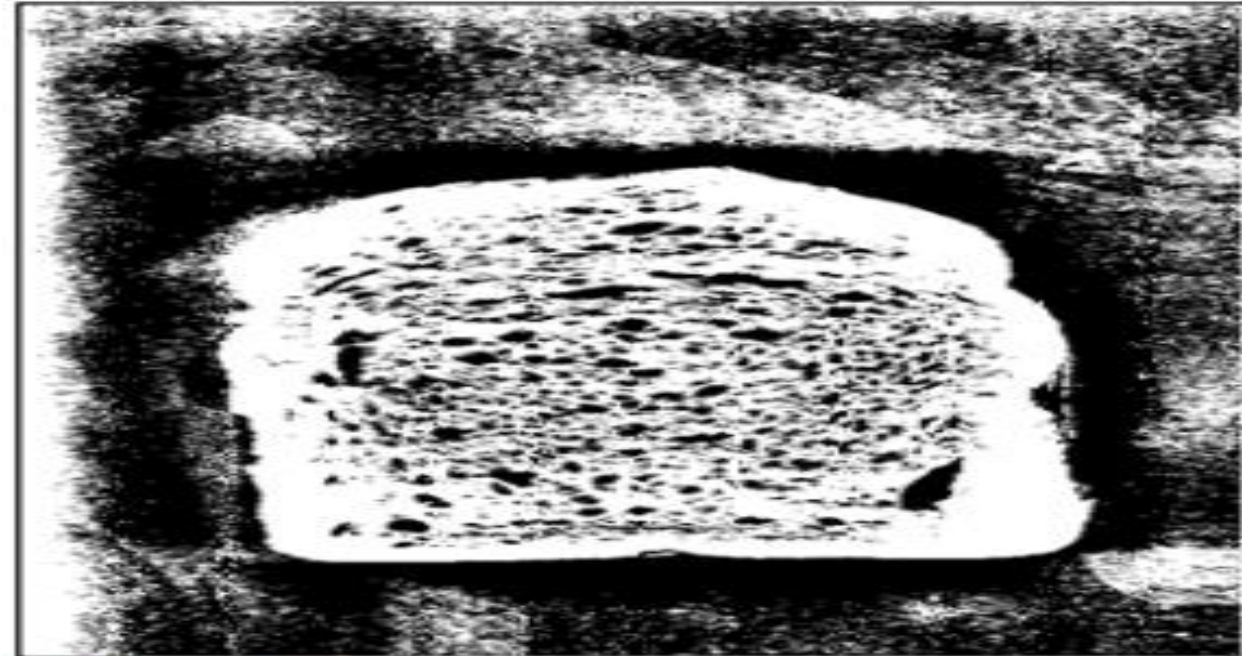
$$\omega_1 = \sum_{i=t}^{mn-1} p_i \quad \mu_1 = \sum_{i=t}^{mn-1} p_i * X(i) \quad (4)$$

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

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

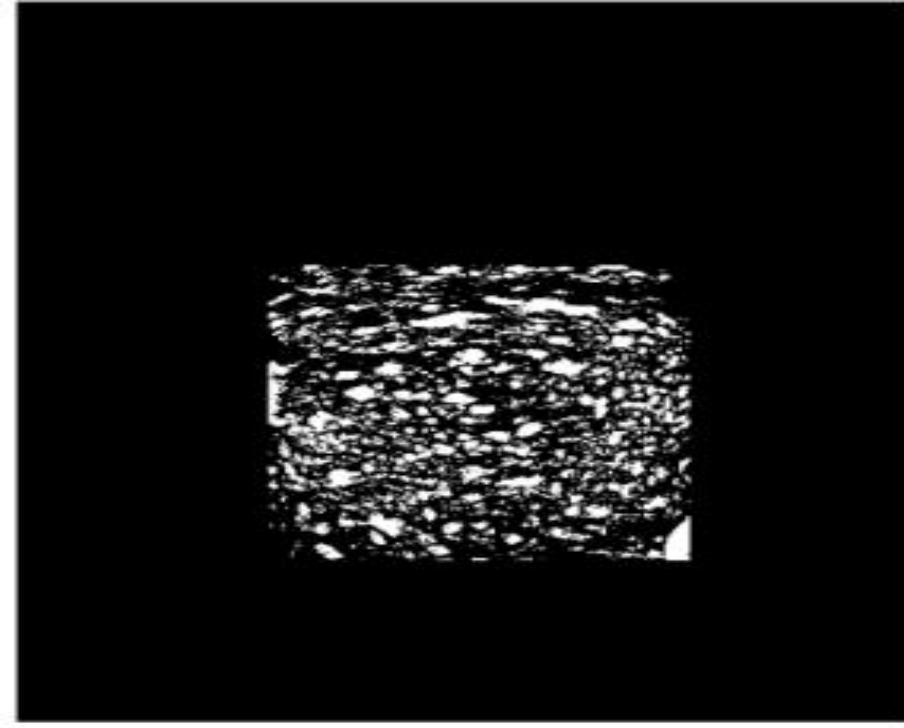
olarak hesaplandığından;

$$\begin{aligned} \omega_0 \mu_0 + \omega_1 \mu_1 &= \mu_T \\ \omega_0 + \omega_1 &= 1 \end{aligned} \quad (6)$$



Şekil 10. Eşiklenmiş görüntü (Thresholded image)

- Şekil 11’de ise gözenek içleri doldurulmuş ve en büyük bağlı bileşen yöntemi kullanılarak bölütlenmiş ekmek yüzey görüntüsü gösterilmektedir.
- Böylelikle ekmek dokusu arka plandan ayırt edilmiştir. Bu da üzerinde doku analizi yapacağımız ekmek yüzeyinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Analizin yapılacağı bölge, uzman gıda mühendisinin görüşü doğrultusunda sınırları belirlenmiş ekmeğin orta bölümünden 600*840 piksel2 ’lik bir dikdörtgensel bölge olarak belirlenmiştir.
- Bu bölgenin büyüklüğü tüm ekmek görüntüleri için aynı olup doku analizinin yapılacağı bölge olarak belirlenmiştir. Daha sonra, her ekmek görüntüsü için bu bölgede bulunan gözenekler bölütlenmiştir. Şekil 12’de bölütlenmiş bu dikdörtgensel bölgenin gözenek görüntüsü gösterilmiştir.



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



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

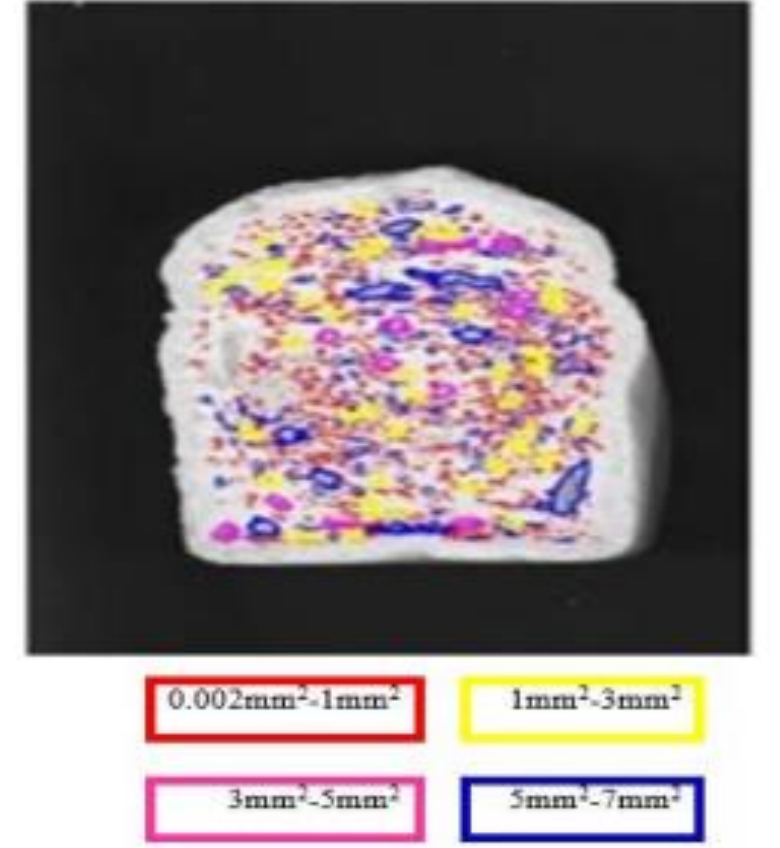
. Bağlantılı Bileşen Etiketleme İle Gözenek Etiketleme



- İkili görüntü haline gelen bölütlenmiş gözenek görüntülerine Bağlantılı Bileşen Etiketleme (BBE) yöntemi uygulanmıştır. BBE siyah-beyaz görüntüler üzerine uygulanmakta olup birbiri ile 4'lü ya da 8'li komşuluğa sahip piksellerin bir grup içerisinde toplanmasını sağlayan bir işlemdir. Bu gruplama sonucunda, resim üzerindeki her bir grup bir nesneyi temsil edecek şekilde numaralandırılmaktadır. Yöntem ile görüntü üzerindeki tüm pikseller taranarak her piksele, aşığıdaki algoritma uygulanmaktadır:
- { Piksel 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. Bu sayede her bir gözenek ayrı bir nesne olarak algılanmakta ve bu gözeneklere ait sayı, alan, yoğunluk yuvarlaklık, şekil faktörü gibi sayısal verilere ulaşmak kolay olmaktadır.

Gözeneklerin Büyüklüklerine Göre Sınıflandırılması

- Yapılan çalışmada farklı büyüklükteki gözeneklerin sayılarındaki değişimlerin gözlenmesi amacıyla gözenekler $0,002\text{mm}^2$ - 1mm^2 , 1mm^2 - 3mm^2 , 3mm^2 - 5mm^2 ve 5mm^2 - 7mm^2 olmak üzere 4 sınıfa ayrılmıştır. Her bir sınıf, bir etiket grubuna dâhil edilmiştir.
- Böylelikle her bir gruptaki gözeneklerin önce sınırları belirlenmiş sonra da bu sınırlara etiket grubuna göre, Şekil 14'te görüldüğü gibi, bir renk değeri atanarak otomatik olarak renklendirilmesi yapılmıştır. Bu hem bize gözeneklerin sınıflandırılması imkânı vermekte hem de görsel analiz imkânı sunmaktadır. Ayrıca farklı katkı maddeli ekmeklerde doku karşılaştırması yapmayı da kolay hale getirmektedir.



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

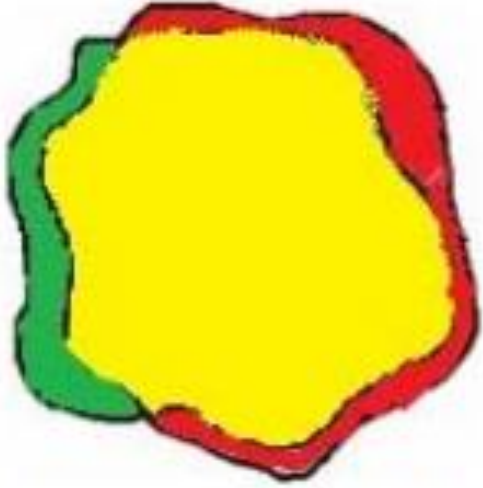
ZSI Başarım İndeksinin Belirlenmesi

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

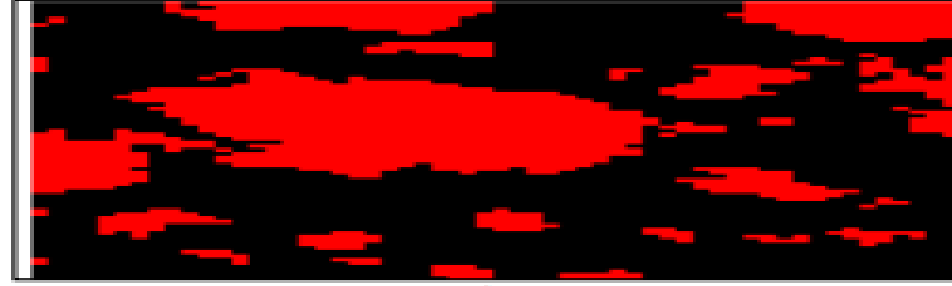
(7)

- Çalışmada farklı katkı maddeli tüm ekmek görüntüleri kullanılarak otomatik bölütlenen gözeneklerin, ImageJ programında bir uzman gıda mühendisi yardımıyla elle bölütlenmesi de yapılmıştır. Üzerinde çalışılan ekmek görüntülerinden, otomatik bölütleme sonucu elde edilen gözenekler ile elle bölütleme sonucu elde edilen gözenekler üst üste çakıştırılarak ZSI başarım indeksi belirlenmiştir [13]. Bu indeksin belirlenmesinde kullanılan formülasyon Eş. 7'de gösterilmiştir.
- urada yer alan O harfi otomatik bölütlemeye elde edilen alanı, M harfi ise elle bölütleme sonucu elde edilen alanı ifade etmektedir. Her iki bölütleme 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 iki bölütlemeye ortak bölütlenen bölgeyi göstermektedir. Şekil 17'de otomatik bölütlemenin başarımını görmek için 12 adet gözeneğe ait hesaplanan ZSI değerleri gösterilmektedir.

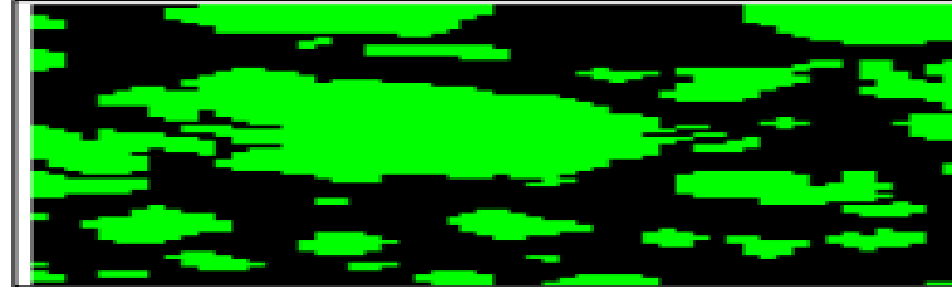
- Literatürde, ZSI indeksinin 0,7'den büyük olması durumunda çalışmanın yeterli başarıma sahip olduğu ifade edilmektedir [14].
- Çalışmada elde edilen başarımların 0,87 ile 0,93 arasında olması, önerilen yöntemlerle gerçekleştirilen bölütlemenin oldukça başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.



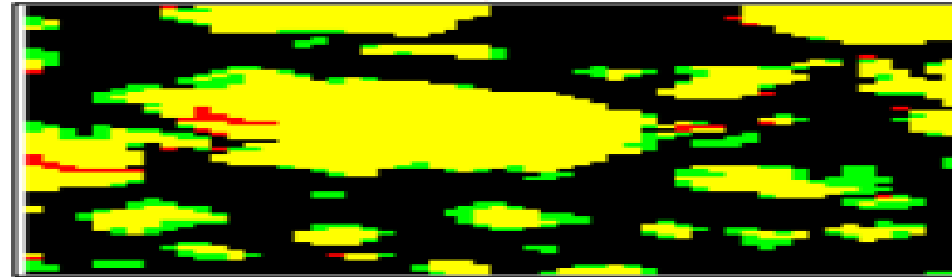
Şekil 15. Otomatik ve elle bölütleme ile elde edilen bölgeler
(The obtained regions with automatic and manuel segmentation)



a)

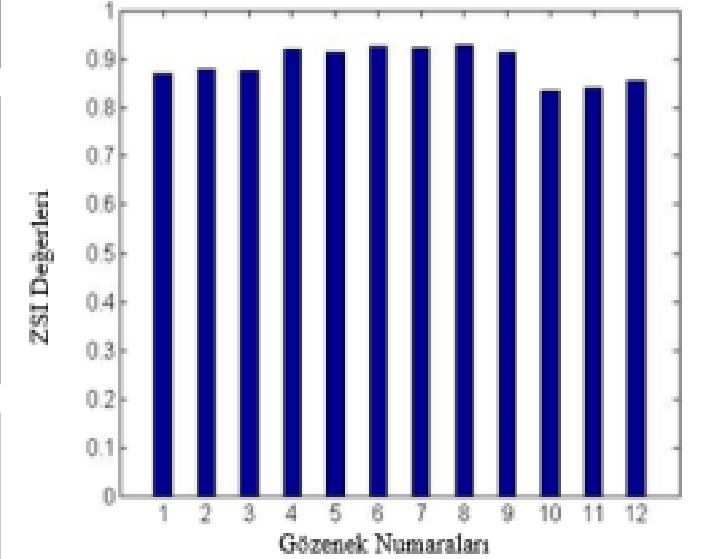


b)



c)

Şekil 16. a) Otomatik bölütleme b) Elle bölütleme c) Otomatik ve elle bölütlemenin çakıştırılması
(Intersection of manuel and automatic segmentation)



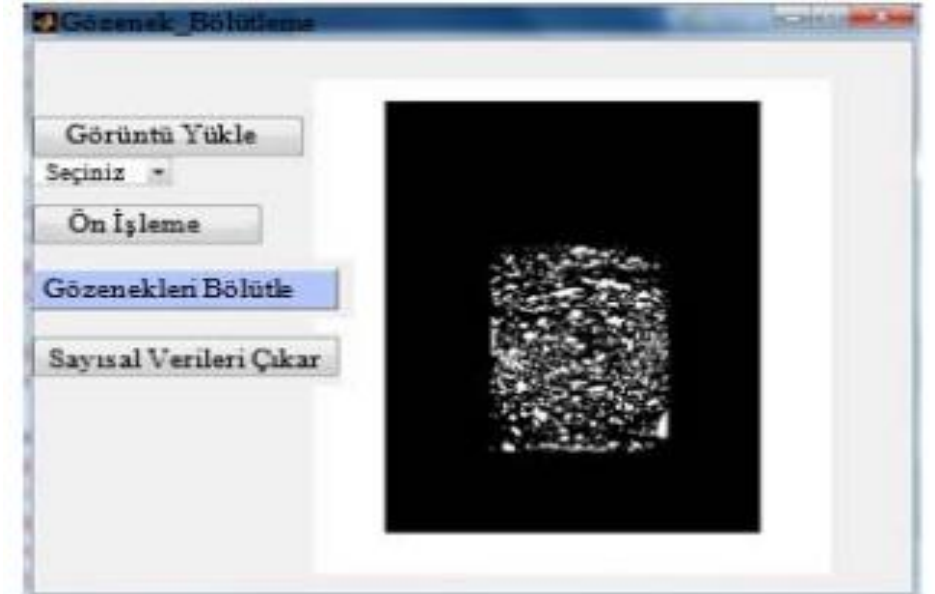
Şekil 17. 12 adet gözenek üzerinde ZSI başarımlarının ZSI Değerleri
(ZSI index values for 12 samples)

Geliştirilen Arayüz Programı

- Çalışmada ayrıca Matlab GUI arayüz programı kullanılarak, ekmek doku/gözenek bölütleme ve gözeneklere ait sayısal verilerin elde edilmesine yönelik bir ara yüz programı oluşturulmuştur. Programın giriş penceresinde yer alan görüntü yükle ikonundan ham ekmek görüntüleri yüklenmektedir. Daha sonra 4 farklı ekmekten biri seçilerek gri seviye görüntüsüne dönüşümü yapılmaktadır. Şekil 18’de bu işlemin yapılmış hali gösterilmektedir.
- Sırasıyla ön işleme, gözenekleri bölütle ve sayısal verileri çıkar ikonları tıklanarak gözeneklere ait ölçümler ilgili dizine Excel dosyası olarak çıkartılabilmektedir. Şekil 19’da ara yüz programıyla bölütlenmiş gözenek görüntüsü gösterilmiştir.



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



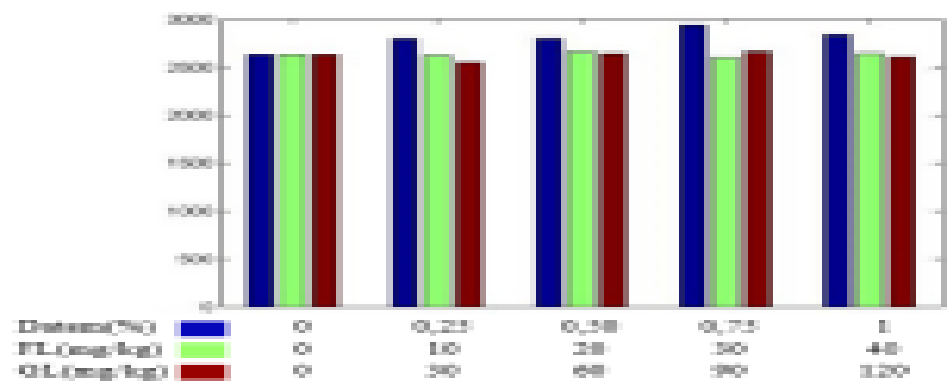
Şekil 19. Bölütlenmiş gözenek görüntüsü
(Segmented cell image)

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

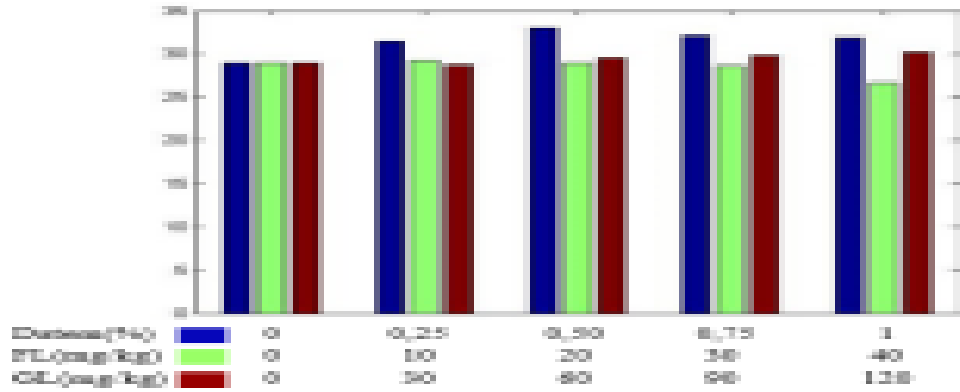
- Yapılan çalışmada bölütlenen ekmek dokusuna ait toplam gözenek sayısı, toplam gözenek alanı, yoğunluk (toplam gözenek sayısı/toplam ekmek alanı), ortalama gözenek alanı (toplam gözenek alanı/toplam gözenek sayısı), boşluk oranı (toplam gözenek alanı/toplam ekmek alanı) gibi morfometrik parametreler elde edilmiştir. Kullanılan katkının cinsine ve miktarına bağlı olarak gözeneklerde meydana gelen sayısal değişimler Tablo 1’de verilmiştir. Görüntü çözünürlüğü 300 dpi olduğundan 1mm² yaklaşık olarak 140piksel²’ye karşılık gelmektedir. 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.

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

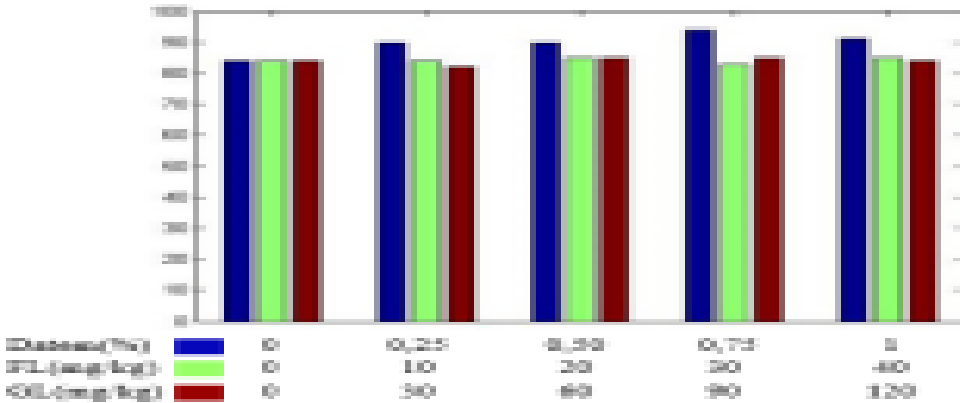
Katkı Maddesi (%, mg/kg ⁻¹)	Toplam gözenek sayısı	Yoğunluk (cm ⁻²)	Boşluk oranı (%)	Ortalama Gözenek Alanı (mm ²)	Toplam gözenek Alanı (mm ²)
Kontrol % 0	2635	84	28,87	0,340	895,586
DATEM % 0,25	2805	90	31,50	0,348	977,236
DATEM % 0,50	2807	90	32,99	0,365	1023,558
DATEM %0,75	2945	94	32,08	0,338	995,101
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 Emülsörlerin ekmekteki gözenek sayısı üzerindeki etkileri
(The effects of DATEM and emulsifiers on the cell number)



Şekil 21. DATEM ve emülsörlerin boşluk oranı üzerindeki etkileri
(The effects of DATEM and emulsifiers on the void fraction)



Şekil 22. DATEM ve Emülsörlerin yoğunluk üzerindeki etkileri
(The effects of DATEM and emulsifiers on the cell density)

- 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.
- Şekil 21'de boşluk oranında meydana gelen değişim gösterilmiştir. 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. FL için ise 30mg.kg-1 konsantrasyonu ve yukarısında azalma olduğu görülmüştür. GL'nin ise boşluk oranı üzerinde ciddi bir etkisi olmadığı görülmüştür.
- Şekil 22'de ise DATEM ve lipazların yoğunluk üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

DATEM'li ekmeklerde yoğunluk 90-95/cm² seviyelerinde iken kontrol ve lipazlarda bu değer 84-85/cm² civarında olmaktadır.Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, fosfolipaz ve glikolipazın hamurun reolojik özelliklerini konsantrasyon miktarına bağlı olarak DATEM'e benzer şekilde olumlu yönde geliştirdiği görölmüştür. Fakat yüksek konsantrasyonlarda olumsuz etkisinin olabileceği de saptanmıştır.

Bu durumunda, büyük olasılıkla lipazların oluşturduğu serbest yağ asitlerinin kimyasal yapısından kaynaklandığı düşünölmektedir. O nedenle ekmek yapımında katkı maddelerinin en uygun konsantrasyonlarda olması büyük önem taşımaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, görüntü işleme teknikleri kullanılarak ekmek gözeneklerinin morfolojik yapısının incelenmesine dayalı bir ekmek kalitesi analizinin yapılabileceğini ortaya koymaktadır.

Fakat yapılan analize ilave olarak ekmeğin rengine meydana gelen değişimin gözlenmesi veya kabuk yapısının incelenmesine yönelik yapılacak bir analizin de faydalı olacağı düşünölmektedir.

Çalışmada iki adet enzimin ekmek kalitesine etkileri değerlendirilmiş ve şuan da kullanılan DATEM katkı maddesine alternatif olarak kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır. Ayrıca oluşturulan yazılım ile bu alanda çalışan kimselerin farklı katkı maddelerinin ekmek kalitesi üzerindeki etkilerinin kolaylıkla incelenmesinin önü açılmış olmaktadır.

Sonuçlar

- 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 kapsamda 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