

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI



**YÜZEYSEL MİNERAL DEPOZİT OLUŞUMU VE FRAKTAL
YAKLAŞIMLAR**

MEHMET KIRAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mehmet BAYIRLI (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Tayfun UZUNOĞLU
Doç. Dr. Fatma SARF

BALIKESİR, OCAK- 2023

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Yüzeysel Mineral Depozit Oluşumu ve Fraktal Yaklaşımlar**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mehmet KIRAY

ÖZET

**YÜZEYSEL MİNERAL DEPOZİT OLUŞUMU VE FRAKTAL YAKLAŞIMLAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEHMET KIRAY
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. MEHMET BAYIRLI)
BALIKESİR, OCAK - 2023**

Metaller doğal difüzyon ve çökelme koşullarının yada fabrikasyon üretim sürecinde kimyasal ve termal şartların oluşmasıyla kendi türlerine özgü katılaşarak desen oluşturabilir. Herhangi bir yüzeyde metalin desen oluşturması yüzeyin örgü yapısı ve temel özelliklerine göre değişim gösterir. Bu desenler yoğun leke, doğrusal, ağaç dallı ve dendrit yapıda olabilir ve bunların bazıları fraktal kavramı ile tanımlanır. Bu tez çalışmasında kalsedon yüzeyi mangan ve demir metallerinin difüzyon ve çökelme sonucu oluşan desenleri mangan dendritleri olarak isimlendirilir. İstatistik fizikte kullanılan ölçekleme teorisi ile incelenmektedir. Bu amaçla fotometrik yöntemler kullanılarak kalsedon yüzeyi görüntüleri dijital ortama taşınmıştır. Seçilen desenli bölgesel yüzeylerin yüzeysel parçacık yoğunluğu, fraktal boyut değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca yüzeysel parçacık yoğunluğu ile fraktal boyut arasındaki ilişki 4. dereceden polinom fonksiyon ile tanımlan bir nümerik model ile belirlenebileceği gösterilmiştir. Ayrıca ölçekleme teorisine göre desenlerin çevre-alan ilişkisine ait kritik üs değerleri ve bu değerlerle ilişkili fraktal boyut değerleri karşılaştırılmış ve oluşumları yüzeysel yapıya göre değişim göstermektedir. Desen altı yüzeysel gözenek yoğunluğu oluşumları etkilediği tahmin edilmektedir. Bu tez çalışması yöntem açısından farklı sistemlerdeki desenleri ve gözenek yapısını ölçekleme ve foto metrik yöntemleri kullanma açısından yararlı olabilir.

ANAHTAR KELİMELER: Fraktal boyut, dendrit, kritik üs, regresyon katsayısı, katılaşma, kalsedon, ölçekleme teorisi.

Bilim Kod / Kodları : 20208-20211-20227

Sayfa Sayısı : 51

ABSTRACT

**FORMATION OF SUPERIOR MINERAL DEPOSIT AND FRACTAL
APPROACHES
MSC THESIS
MEHMET KIRAY
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
PHYSICS
(SUPERVISOR: PROF.DR. MEHMET BAYIRLI)**

BALIKESİR, JANUARY- 2023

Metals can solidify and form patterns specific to their own species with the formation of natural diffusion and precipitation conditions or chemical and thermal conditions in the fabrication production process. The pattern formation of the metal on any surface varies according to the weave structure and basic properties of the surface. These patterns can be densely blotched, linear, branched, and dendritic, some of which are described by the concept of fractal. In this thesis, the patterns formed by the diffusion and precipitation of manganese and iron metals on the chalcedony surface are called manganese dendrites. Statistics is studied with the scaling theory used in physics. For this purpose, chalcedony surface images were transferred to digital media by using photometric methods. Superficial surface particle density and fractal dimension values of selected patterned regional surfaces were calculated. In addition, it has been shown that the relationship between superficial surface particle density and fractal dimension can be determined by a numerical model defined by a 4th-order polynomial function. In addition, according to the scaling theory, the critical exponent values of the perimeter-area relationship of the patterns and the fractal dimension values associated with these values were compared and their formations vary according to the surface structure. Sub-pattern superficial pore density is predicted to affect formations. This thesis study can be useful in terms of scaling patterns and pore structure in different systems and using photometric methods in terms of method

KEYWORDS: Fractal dimension, dendrite, critical base, regression coefficient, solidification, chalcedony, scaling theory

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
2. TEORİK BİLGİLER	3
2.1 Ölçeklendirme Teorisi	3
2.2 Fraktal Boyut	3
2.3 Büyüme Modelleri	6
2.3.1 Eden Modeli	7
2.3.2 Difüzyonla Sınırlı Büyüme	7
2.4 Metallerde Katılaşma	8
2.5 Çekirdeklenme Türleri	14
2.5.1 Homojen Çekirdek	14
2.5.2 Heterojen Çekirdek	16
2.6 Nümerik Yöntemler	18
3. MATERYAL / METOT	19
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	21
5. SONUÇ	45
6. KAYNAKLAR (İEEE)	47
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1:	Boyut tanımlamak için geleneksel ölçekleme yaklaşımı.....	4
Şekil 2.2:	Yaklaşık Hausdorff boyutu 1,2619 olan Koch kar tanesinin ilk dört yinelemesi.	5
Şekil 2.3:	Düşük karbonlu beynitik çeliğin dakikada 1, 5, 10 ve 30 santigrat derece hızla soğuma diyagramı.	9
Şekil 2.4:	Katılaşma sırasında bir dökümün ingot yapısının gelişimi.....	10
Şekil 2.5:	Soğuk bölgedeki tanelerin rekabetçi büyümesi. Yalnızca uygun yönelimlere sahip tanelerin sütunlu tanelere dönüşmesine neden olur.....	11
Şekil 2.6:	Bir sıvı içinde küresel bir katı parçacığın çekirdeklenmesi.....	12
Şekil 2.7:	Sıvı içinde, küresel katı bir embriyo oluşması, serbest enerji değişimi ve kritik çekirdek yarıçapı.	13
Şekil 2.8:	Homojen çekirdeklenmenin oluşumu.	15
Şekil 2.9:	Bir safsızlık üzerinde oluşan bir katı, yüzey enerjisinde daha küçük bir artışla kritik yarıçapı alabilir. Bu nedenle, nispeten düşük aşırı soğumalarda heterojen çekirdeklenme meydana gelebilir.	17
Şekil 2.10:	Heterojen Çekirdeklenme.	17
Şekil 2.11:	Bazı metallerin katılaşma örnekleri.	18
Şekil 3.1:	Kalsedon ve yüzeyindeki siyah ve kahverengi mangan depozitleri.	20
Şekil 4.1:	Kalsedon ve yüzeyindeki mangan depozitlerin görüntüsü. Görüntü işleme yöntemi ile üretilmiştir.	25
Şekil 4.2:	Şekil 4.1 deki gösterilen numune yüzeyinin BMP formatlı görüntüsüdür. Görüntü üzerindeki depozitler siyah renkli bölgelerdir.....	25
Şekil 4.3:	K bölgesi.....	26
Şekil 4.4:	L bölgesi.	26
Şekil 4.5:	M bölgesi.	27
Şekil 4.6:	N Bölgesi.	27
Şekil 4.7:	O bölgesi.....	27
Şekil 4.8:	a) Örnek depozitlerin çevre-alan değişimini gösteren diyagram. b) Örnek depozitlere ait $\log P(\delta) - \log A(\delta)$ veri grafiği.....	28
Şekil 4.9:	a) Örnek depozitlere ait parçacık büyüklüğünün parçacık sayı dağılımına ait grafik b) örnek depozitlere ait $\log N(\delta) - \log (\delta)$ verilerine grafik.	30
Şekil 4.10:	Örnek depozitlerin YPY ile fraktal boyut değerleri D_1 ve D_2 arasındaki ilişkiyi gösteren 4. dereceden polinom eğrisi.	32
Şekil 4.11:	Şekil.4.3’de K yüzeylerine ait YPY ile fraktal boyut değeri ilişkisini gösteren 4. dereceden polinom eğrisi	33
Şekil 4.12:	Şekil.4.4,’de L bölgelerine ait YPY ile fraktal boyut değeri ilişkisini gösteren 4. dereceden polinom eğrisi.	34
Şekil 4.13:	Şekil.4.5,’de M bölgelerine ait PY ile fraktal boyut değeri ilişkisini gösteren 4. dereceden polinom eğrisi.....	34
Şekil 4.14:	Şekil.4.6,’de N bölgelerine ait YPY ile fraktal boyut değeri ilişkisini gösteren 4. dereceden polinom eğrisi.	35
Şekil 4.15:	Şekil.4. 7’de O bölgelerine ait YPY ile fraktal boyut değeri ilişkisini gösteren 4. dereceden polinom eğrisi.	35
Şekil 4.16:	Kalsedon yüzeyi mangan dendritlerinden farklı on üç yüzey ve BMP formatındaki görüntüleri.....	37

Şekil 4.17: a) Şekil.4.15'deki, kalsedon yüzeylerinin çevre-alan değerleri dağılımı gösteren grafik b) $\log P(\delta)$ - $\log A(\delta)$ veri dağılım grafiği.	38
Şekil 4.18: a) Şekil.4.15'deki, kalsedon yüzeylerinin kutu boyutunun dağılımı b) Kalsedon yüzeylerinden ait ait $\log N(\delta)$ - $\log (\delta)$ verilerinin diyagramı.	40

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Seçilen malzemeler için donma sıcaklığı, erime ısı, katı-sıvı arayüzey enerjisi ve aşırı homojen çekirdeklenme için maximum soğuma değerleri. 14	
Tablo 4.1: Kalsedon yüzeyi depozitlerine ait istatistiksel parametre değerleri.....31	
Tablo 4.2: Kalsedon yüzeyi depozitlerine ait istatistiksel parametre değerleri.....41	

SEMBOL LİSTESİ

T	: Periyot
A	: Ölçekleme yasasına göre kritik üs değeri
A	: Boşluk
A₀	: En geniş boşluk
N	: Dolu piksel sayısı
r	: Yarı çap
d	: Euclidean boyut
D	: Fraktal boyut
L₀	: Fraktalın açık doğrusal genişlemesini karakterize eden en küçük birim
M_D	: Genelleştirilmiş ölçüm değeri
N(δ)	: Tüm fraktal objeleri kaplamak için olası mümkün karelerin sayısı
E	: Bir pikselin kenar uzunluğu
P	: İraksama oranı
R	: Regresyon katsayısı
Φ	: Kaplama oranı
C(r)	: Yoğunluk korelasyon fonksiyonu
ρ(r)	: r (x,y) konumundaki parçacık yoğunluğu
δ	: Oluşumun en küçük parça kenar boyutu
BMP	: (Bitmap) Herhangi bir sıkıştırma yapmadan resmin özelliklerini tutan bir resim dosya biçimidir
ΔH	: Toplam serbest enerji değişimi
Σ	: Serbest yüzey enerjisi,
r*	: Homojen çekirdeklenmede kritik yarıçap
ΔT	: Sıcaklık Değişimi (°C)
Var(s)	: Varyans

ÖNSÖZ

“Yüzeysel Mineral Depozit Oluşumu ve Fraktal Yaklaşımlar” başlıklı yüksek lisans tez çalışmasının gerçekleşmesini sağlayan ve çalışmanın her aşamasındaki katkılarından dolayı danışman hocam Prof. Dr. Mehmet BAYIRLI’ ya çok teşekkür ederim.

Balıkesir, 2023

Mehmet KIRAY

1. GİRİŞ

Kümeleşme ve desen oluşumu istatistik fiziğin temel konularından biridir. Doğal ve deneysel koşullarda katılma sonucu bir depozit oluşur. Aynı durum ikincil ve üçüncül vs. farklı maddenin yüzeye yapışması ile gerçekleşir. Bu yapıların oluşumu depozisyon veya difüzyon ile gerçekleşir [1-8]. Her bir türü farklı desen oluşturabilir [3,6]. Bunlar yoğun, seyrek ve dendrit yapıdadır [9]. Oluşumları alt yüzeyin yapısal özelliklerine ve çevredeki kimyasal ve fiziksel koşulları ile ilişkilidir [10]. Desenli oluşumlar genel olarak “depozit” olarak tanımlanır. Bazıları için fraktal benzeri oluşum olarak tanımlamak mümkündür [11-14].

Doğal koşullarda oluşumunu tamamlamış amorf yapılı kalsedon yüzeyi üzerinde ikincil yapılanma olarak mangan oksit ve demir oksitin katı fazı olan siyah veya kahverengi lekeler bulunabilir. Bunlar “mangan dendriti” olarak isimlendirilir [14-17]. Yapısal desen geometrisi birbirinden farklı ve dağılımları rastgeledir [16]. Grup halinde bulunabildikleri gibi dağınıkta bulunabilir [17]. Bunların oluşum mekanizmasının tanımlaması ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [15-24]. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenerek sunulmaktadır.

Roster ve arkadaşları hidrotermal sıvı için doğal jeolojik koşulların sıcaklığının değişimi sonucu difüzyon tetiklendiğini vurgulamışlardır. Dolayısı ile sıvı içindeki iyonların mobilitesinin artması sonucu kohezyon kuvvetlerinin etkisi ile yüzeye yapışmış olabileceği hipotezini önermişlerdir. Bu çalışmada, kristalite özelliğini belirlemede anlamlı bir pik belirleyememişlerdir [23].

Chopord ve arkadaşları ağaç benzeri dendrit yapıların iyonlarının indirgenerek termal etki ve hidrotermal sıvının buharlaşması sonucunda kimyasal reaksiyon sonucu oluşabileceği hipotezi geliştirdiler. Çalışmaları sonucunda reaksiyon- difüzyonlu kümelenme (Reaction-difusion aggregation (RDA)) modeline göre oluşabileceğini belirlediler ve RDA isimli kimyasal zincirleme reaksiyonlarını tanımlanan algoritma simülasyon modeli önermişlerdir [25].

Garzia ve arkadaşları deneysel çalışmalarında ağaç benzeri mangan dendritlerini üretmeyi başarmışlardır. Bu oluşumda alt katman gözenekleri ile kullanılan sıvı içi konsantrasyonu ve içerisindeki iyonlara mobilitesinin etkin rol oynadığı belirlenmiştir [24].

Xu ve arkadaşları farklı numune yüzeyleri üzerindeki mangan dendritlerini incelemişlerdir. Ancak yaklaşık aynı makroskobik morfolojik görünüme sahip olmasına rağmen nano seviyede farklı kristatik yapıda olduklarını gözlediler [15]. Nümerik temelli ve fotometrik yöntemler kullanılarak makroskobik yapısının tanımlanması ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır [11,16-24].

Ng ve arkadaşları görüntü işleme yöntemi kullanarak quartz yüzeyine ait mangan dendritlerinin fraktal boyut, paris faktörü ve lakunariteyi (lacunarity) incelemişler. İçyapı ile ilgili herhangi bir sonuca sunmamışlardır [16].

Bayırlı ve Özbey manyezit yüzeyi mangan dendritlerini difüzyonla sınırlı kümelenme modeli diffusion limited aggregation (DLA) modeli ile dendrit yapı arasındaki ilişkiyi ve makromorfoloji inceleyip literatürdeki sonuçlarla karşılaştırmaktadır [17,26]. Doğan çalışmasında kalsedon yüzeyi maromorfolojili mangan dendritlerine ait fraktal boyut ve büyüme modelleri ile karşılaştırarak incelemiştir. Ancak yüzeysel kapalı kare örgü büyüklüğüne bağlı olarak mangan dendrit dağılımı ve yanal kare örgü kenarına göre fraktal boyut değerinin belirlenmesi ve nümerik yaklaşımları tam olarak belirlenememiştir [11].

Bu amaçla, bu tez çalışmasında Kalsedon yüzeyi mangan dendritlerinin sistematik kapalı kare örgü üzerindeki makromorfolojisi için fraktal boyut değişimi incelenmektedir. Dağılıma göre fraktal boyut, Kaplama oranı (Yüzeysel küme dağılımı) ve ölçekleme referansı ile belirlenmektedir. Ölçekleme referansı ile fotometrik yöntemler kullanılmaktadır.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1 Ölçeklendirme Teorisi

Ölçekleme teorisi modern fizik, ekonomi, biyoloji, ekoloji ve mühendislikte yaygın olarak uygulanan güçlü bir araçtır. Ölçekleme, ölçekteki değişikliklere rağmen bir olguyu tanımlamak ve işlevsel bir ilişki biçimini değiştirmeyen matematiksel bir dönüşümü gösterir. Doğal olarak bu durum, bir olgunun ölçek değişmez olduğu ve her ölçekte aynı özelliklere sahip olduğu anlamına gelir [3,7,27-30].

Birçok fizik, ekonomi, biyoloji, ekoloji ilgili olgunun süreç içerisinde değişimi aşağıda tanımlanan ilişkilerle belirlenebilir. Bu yaklaşım bir güç yasası biçimidir. (Power-law) güç-yasası, aşağıdaki genelleştirilmiş bir forma sahiptir;

$$f(x) = ax^b \quad (2.1)$$

Burada: x – bağımsız değişken, a : sabit, b :ölçekleme kritik üs değeri olup evrensellik özelliği gösterir [7]. Ölçek değişikliğinden sonra bağımsız değişken $x = \delta x$, Denklem (2.1) aşağıdaki formda tanımlanır. Buna göre:

$$f(\delta x) = a(\delta x)^b \quad (2.2)$$

bağıntısı olarak belirlenebilir. Böylece:

$$f(\delta x) = \delta^b (ax)^b \rightarrow f(\delta x) = \delta^b f(x) \quad (2.3)$$

denklemini elde edilir.

(2.1) ve (2.2) denklemleri karşılaştırıldığında, bir ölçek parametresi δ 'nın tanıtılmasının fonksiyonel bir ilişki biçimini değiştirmez. Bundan dolayı bir güç yasaları herhangi ölçekte değişmezdir. Bu özellik dikkate alınarak tanımlanan tüm fenomenlerin analizinde ölçekleme prosedürünün uygulanabileceğini ima eder [3-4,27,31-33].

2.2 Fraktal Boyut

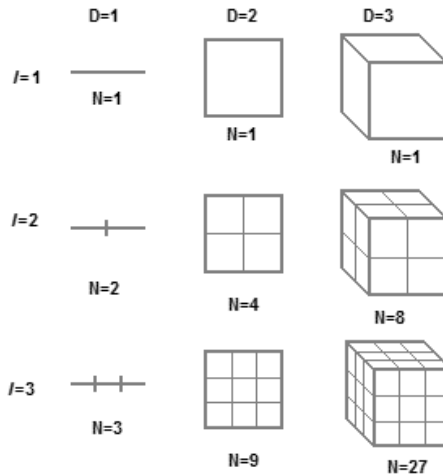
Matematikte, daha özel olarak fraktal geometride, bir fraktal boyut, bir modeldeki ayrıntıların ölçüldüğü ölçekle nasıl değiştiğini karşılaştıran istatistiksel bir karmaşıklık indeksi sağlayan bir oran değeridir [3,7]. Ayrıca, bir fraktalın gömülü olduğu uzaydan nasıl

farklı ölçeklendiğini belirleyen bir desenin boşluk doldurma kapasitesinin bir ölçüsü olarak da karakterize edilmiştir. Dolayısı ile fraktal boyut değeri tam sayı (integer) olması beklenmez. 2-boyutlu sistemler için $1 \leq D_f \leq 2$ arasında değerler alabilir.

Fraktal boyut kavramı, ölçekleme ve boyutla ilgili alışılmamış bir yaklaşımdır. Şekil 2.1'de gösterdiği gibi, geleneksel geometri kavramları, şekillerin içerdikleri alanla ilgili sezgisel ve tanıdık yaklaşımlara göre tahmin edilebilir ve bir şekilde ölçeklenmesini önerir. Örneğin, bir çizgiyi önce bir ölçüm çubuğu, ardından bir başka 1/3'ünü kullanarak ölçmek gibi tanımlanır. İkinci çubuğa, birimsel toplam uzunluğunun 3 katı uzunluğunda bir uzunluk verecektir. Bu 2 boyutta da geçerlidir. Bir karenin alanı ölçülürse, kenar uzunluğu orijinalin boyutunun 1/3'ü olan bir kutuyla yeniden ölçülürse, ilk ölçüden 9 kat daha fazla kare bulunur. Bu tür tanıdık ölçeklendirme ilişkileri, N değişkeninin çubuk sayısını, ϵ epsilon'un ölçekleme faktörünü ve D_f 'nin fraktal boyutu temsil ettiği Denklem 2.4'deki genel ölçeklendirme kuralıyla matematiksel olarak tanımlanabilir:

$$N \propto \epsilon^{-D} \quad (2.4)$$

Bu ölçeklendirme kuralı ile geleneksel boyutlandırma ve geometrik ölçeklendirme ile yaklaşım aşağıda gösterilmiştir.



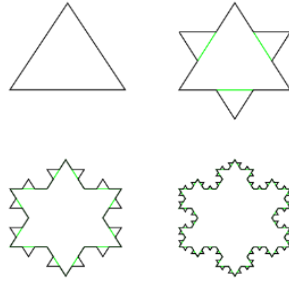
Şekil 2.1: Boyut tanımlamak için geleneksel ölçekleme yaklaşımı.

Bir Koch kar tanesinin fraktal örüntüsü aynı kural fraktal geometrisi için de geçerlidir, ancak daha az sezgiseldir. Detaylandırmak gerekirse, ilk başta bir çubuk uzunluk olarak ölçülen bir fraktal çizgi, öncekinin 1/3'ü ile ölçeklenen yeni bir çubuk kullanılarak yeniden ölçüldüğünde beklenen değer 3 olmayabilir, bunun yerine 4 kat daha uzun ölçeklenmiş

çubuklar olabilir. Bu durumda, $\varepsilon = 1 / 3$ olduğunda $N = 4$ ve D_f 'nin değerinin aşağıda verildiği gibi olduğu görülür:

$$D_f = \frac{\log N(\varepsilon)}{\log (1/\varepsilon)} \quad (2.5)$$

Yani, $\varepsilon = 1/3$, $D = 1,2619$ olduğunda $N = 4$ ile tanımlanan bir fraktal için, fraktalın içinde bulunduğu uzaya eşit olmayan bir boyuta sahip olduğunu gösteren tamsayı olmayan bir sayısal değerdir. Bu örnekte kullanılan ölçekleme, Koch eğrisi ve kar tanesinin aynı ölçeklendirmesidir [1]. Dikkat edilmelidir ki, gösterilen görüntüler gerçek fraktallar değildir, çünkü D_f değeriyle tanımlanan ölçekleme, görüntülerin yalnızca en küçük bileşenlerine, bir piksele kadar var olması gibi basit bir nedenden dolayı sonsuza kadar devam edemez. Bununla birlikte, dijital görüntülerin temsil ettiği teorik model, ayrı piksel benzeri parçalara sahip değildir, bunun yerine farklı açılarda birleştirilen sonsuz sayıda sonsuz ölçeklenmiş parçadan oluşur ve aslında 1,2619 fraktal boyut değerine eşittir [7].



Şekil 2.2: Yaklaşık Hausdorff boyutu 1,2619 olan Koch kar tanesinin ilk dört yinelemesi.

Fraktal ve fraktallaşma kavramı, yüzey özellikleri ile fonksiyonel özellikler arasında bir ilişki sağlayarak, yüzey bilimi alanında giderek daha fazla çalışmalar yapılmaktadır [8]. Çoğu zaman birden çok uzunluk ölçeğinde kendine yakın özellikler sergileyen, nominal olarak düz yüzeylerin yapısını yorumlamak için çok sayıda yüzey tanımlayıcısı kullanılır. Genellikle RA ile gösterilen ortalama yüzey pürüzlülüğü, en yaygın olarak uygulanan yüzey tanımlayıcısıdır, ancak ortalama eğim, ortalama kare pürüzlülüğü (RMS) ve diğerleri dahil olmak üzere çok sayıda başka tanımlayıcı düzenli olarak uygulanır. Bununla birlikte, birçok fiziksel yüzey olgusunun bu tür tanımlayıcılara atıfta bulunularak kolayca yorumlanamadığı bulunmuştur [8-10].

Burada tartışılan örnekler netlik için seçilmiş ve ölçeklendirme birimi ve oranları önceden belirlenmiştir. Bununla birlikte, pratikte, fraktal boyutlar, ölçeklendirmeye yaklaşan teknikler kullanılarak belirlenebilir. Boyut ve ölçeğin logaritmik grafikleri üzerinden regresyon çizgilerinden tahmin edilen eğim değeri ile detaylandırılabilir. Farklı fraktal boyut türlerinin birkaç resmi matematiksel tanımı aşağıda listelenmiştir. Öz-benzerliğe (self-affine) sahip kompakt kümeler için tüm bu boyutlar çakışsa da genel olarak eşdeğer değildirlir:

Kutu sayma boyutu: D_f , bir kuvvet yasasının üssü olarak tahmin edilir.

$$D_0 = \frac{\log N(\varepsilon)}{\log \log (1/\varepsilon)} \quad (2.6)$$

Bilgi boyutu: D_f , dolu bir kutuyu tanımlamak için gereken ortalama bilginin kutu boyutuyla nasıl ölçeklendiğini değerlendirir; p bir olasılıktır.

$$D_1 = \frac{-\langle \log \log p_c \rangle}{\log \log \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)} \quad (2.7)$$

Korelasyon boyutu: D , bir fraktal ve g_ε temsilini oluşturmak için kullanılan nokta sayısı olarak M 'ye dayanır, birbirine ε 'dan daha yakın nokta çiftlerinin sayısı,

$$D_2 = \frac{\log g_c / M^2}{\log \log (1/\varepsilon)} \quad (2.8)$$

Rényi boyutları: Kutu sayımı, bilgi ve korelasyon boyutları, aşağıdakilerle tanımlanan, α dereceli genelleştirilmiş boyutların sürekli bir spektrumunun özel durumları olarak görülebilir:

$$D_\alpha = \frac{1}{n-1} \frac{\log \sum_i^n p_i^\alpha}{\log \log (\varepsilon)} \quad (2.9)$$

Higuchi boyutu: Burada tanımlanan fraktalboyut değerleri hesaplama genelde sistemin temel oluşum özelliklerine göre tercih edilir [3,4,7,8,12].

2.3 Büyüme Modelleri

Metallerin katılaşması sonucu oluşan yapılanmaya depozit olarak tanımlanır. Bu durum parçacıkların kümeleşmesidir. Dolayısı ile bir fiziksel ve kimyasal bir süreçtir. Bu sürecin

davranışları büyüme modelleri ile tanımlanmaktadır. Bunlar aşağıda özetlenerek sunulmaktadır.

2.3.1 Eden Modeli

Eden büyüme modeli, bakteri kolonileri ve malzemelerin birikmesi gibi belirli türdeki kümelerin büyümesini tanımlar. Bu kümeler, sınırlarında rastgele malzeme birikimi ile büyür. Bunlar aynı zamanda bir yüzey fraktal örüntünün bir örneğidir. Adını Murray Eden'den alan model, ilk olarak 1961'de biyolojik hücre büyümesi olarak kanser hücreleri incelemenin bir yolu olarak tanımladı ve yaklaşık pikseller temsilleri ile 32.000 hücreye kadar olan kümeler için bir bilgisayarda temsillerini üretmeyi başardı. 1980'lerin ortalarında, bilgisayar kullanılarak yaklaşık 10^9 parçacıkları içeren kümeler oluşturuldu. Küme yapılarında an izotropi gözlenmiştir [3,34].

Eden modelinin büyüme süreci basittir. Bir tohum bir örgünün üzerine konur ve tohumun yavru hücresi, büyüme hücrelerinin en yakın komşu bölgelerinden biri olan boş bir bölgede doğar. Bu işlem tekrarlanır. Simülasyonda, örgünün her iki kenarında iki düz çizgi tohum olduğunu ve hücrelerin büyüme yönünün düz çizgi tohumlardan örgünün merkezine doğru olduğu varsayılarak gerçekleştirilmiştir. Genellikle simülasyonlarda, periyodik sınır koşullarına sahiptir. Ayrıca, en yakın komşu sitelerden biri için büyüme noktası seçildiğinde, seçilen en yakın komşu site işgal edilmişse, büyüme noktası seçilen siteye bir yavru hücre taşıyamaz. Bu durumda, bir sonraki büyüme noktası, dolu hücrelerden hemen seçilir [34]. Simülasyon tanımlanan süreç gerçekleştiğinde sonlandırılır. Bütün bu algoritmik uygulama küme temsillerini üretmek için olup fiziksel ve kimyasal içerik bilinmemektedir.

2.3.2 Difüzyonla Sınırlı Büyüme

Difüzyon-sınırlı kümelenme (DLA), Brownian hareket kümesi nedeniyle rastgele bir yürüyüşe giren parçacıkların, bu tür parçacıkların kümelerini oluşturmak üzere bir araya geldiği süreçtir. Bu teori, T.A. 1981'de Witten Jr. ve L.M. Sander, difüzyonun sistemdeki birincil taşıma etkin olduğu farklı sistemlerdeki kümeleşmeye uygulanabilir. DLA, elektriksel birikme, Hele-Shaw sıvı akışı, maden yatakları ve dielektrik bozulma gibi farklı sistemde gözlemlenebilir [31,35].

DLA süreçlerinde oluşan kümelere “Brownian ağaçları” denir. Bu kümeler yaklaşık bir fraktal yapı örneğidir. 2- boyutta bu fraktallar, örgü yüzeyinde tarafından kısıtlanmayan rast

gele davranan parçacıklar için yaklaşık 1.71'lik bir boyut değerli yapılar oluşturur. Ancak bir örgü yüzeyindeki DLA'nın bilgisayar küme temsilleri, aynı gömme boyutundaki bir DLA kümesi için fraktal boyutu biraz değiştirecektir [35].

Küme büyümesinin morfolojik yapısına, (örneğin radyal dışa doğru tek bir noktadan tohum veya örneğin bir düzlemden veya çizgiden olsun) bazı varyasyonlar da gözlenir. Rastgele yürüyenlerin bir kümeye (başlangıçta (i) 1300 parçacıktan oluşan düz bir çizgi ve (ii) merkezde bir parçacık) yapışmasına izin vererek bir mikrobilgisayar kullanılarak oluşturulan küme örnekleri vardır [4].

Adı, Brown hareketi yoluyla Robert Brown'dan türetilen bir Brown ağacı, ev bilgisayarlarının Brownian hareketini simüle etmek için yeterli güce sahip olmaya başladığı 1990'larda kısaca popüler olan bir bilgisayar sanatı biçimidir. Brown ağaçları, difüzyonla sınırlı kümelenme olarak bilinen fiziksel süreçle ilişkili dendrit yapıların matematiksel modelleridir [3].

Bir Brownian ağacı temsili bilgisayar algoritmasıyla şu adımlarla oluşturulur; ilk olarak, ekranda bir yere bir "tohum" yerleştirilir. Ardından, ekranın rastgele bir konumuna bir parçacık yerleştirilir ve tohuma çarpma kadar rastgele hareket ettirilir. Parçacık tohuma komşu pozisyonuna gelirse orada sabitlenir ve başka bir parçacık rastgele bir konuma yerleştirilir ve tohuma veya önceki herhangi bir parçacığa çarpma kadar hareket ettirilir ve bu böyle devam eder [7].

Ortaya çıkan ağaç, temel olarak üç faktöre bağlı olarak birçok farklı şekle sahip olabilir: tohum pozisyonu, ilk parçacık konumu (ekranın herhangi bir yerinden, tohumu çevreleyen bir daireden, ekranın üstünden vb.), hareketli algoritma (genellikle rastgele, ancak örneğin bir parçacık tohumdan çok uzağa giderse silinebilir, vb.) ve parçacık rengi yinelemeler arasında değişerek ilginç görüntü efektleri verebilir [17,31].

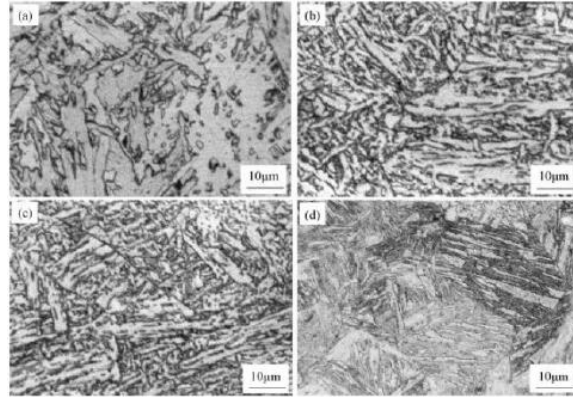
2.4 Metallerde Katılma

Metallerin ve alaşımların belirli erime ve donma sıcaklıkları vardır ve bunlar “erime noktası” ve “donma noktası” olarak tanımlanır. Erime noktasına ulaştıklarında katı fazdan sıvı faza geçerler. Aynı durumun tam tersi donma noktası için geçerlidir. Erime ve donma

termodinamik açısından tersinir bir süreçtir. Sıvı formda bulunan metal ve alaşımlar donma noktasında sıvı formdan katı forma geçerler.

Sıvı halden katı hale geçme aşamasında olan madde, metal veya alaşımın işleysel niteliğini etkiler. Herhangi bir amaç için istenilen ve beklenen niteliklere ulaşabilmek için hangi metotların gerçekleştirileceğine karar verilmesinde yardımcı olur.

Katılaşma süreciyle, tane şeklinin ve boyutunun kontrol edilmesi mümkün olabilmektedir. Şekil 2.3’ de farklı türde metallerin düşük karbonlu *Mo-Nb-Cu-B* beynitik çelik, (a) dakikada $1^{\circ} C$ hızla, (b) dakikada $5^{\circ} C$ hızla, (c) dakikada $10^{\circ} C$ hızla, (d) dakikada $30^{\circ} C$ hızla soğutma. Sonucundaki yüzey görüntüleri gösterilmektedir [36].

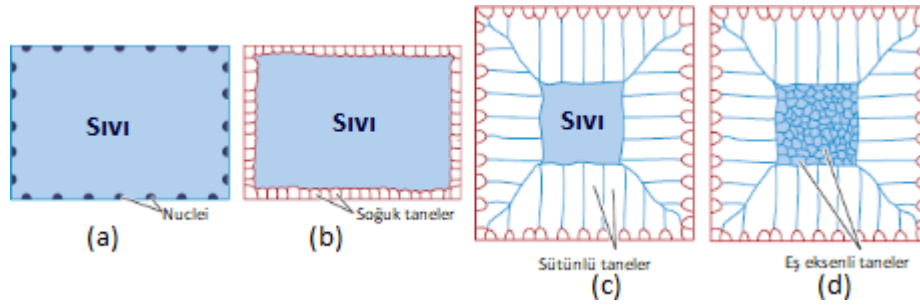


Şekil 2.3: Düşük karbonlu beynitik çeliğin dakikada 1, 5, 10 ve 30 santigrat derece hızla soğuma diyagramı.

Metallerin katılaşma mekanizması, çekirdeklenme olarak adlandırılan ergiyikten öncelikli olarak kararlı çekirdekler oluşmaktadır. Oluşan bu kararlı çekirdek yapıları kristalik şekilde büyümekte olup, son olarak tane yapısına dönüşmesinden ibarettir. Kararlı çekirdeklerin oluşması, oluşan çekirdeklerin kristaller halinde büyümesi ve son olarak tane yapısının oluşmasından ibarettir. Yani yeni depozit oluşur.

Döküm metodu ile bileşenlerin imalatında, erimiş metaller genellikle kontrollü bir şekilde kalıplara dökülür ve katılaşma sürecine bırakılır. Kalıp, döküm olarak bilinen bitmiş bir depozit üretir. Diğer durumlarda kalıp, külçe adı verilen basit bir şekil üretir. Bir külçe, bitmiş bir ürün oluşturulmadan önce genellikle kapsamlı bir deformasyon gerektirir. Katılaşma sırasında bir dökümün ingot yapısının gelişimi (Şekil 2.4)’de gösterilmektedir

[36]. Bir malzemenin yapısını makroskopik ölçekte tanımlamak için "makro yapı" terimini kullanılır. Bu nedenle, "külçe yapı" terimi daha uygun olabilir.

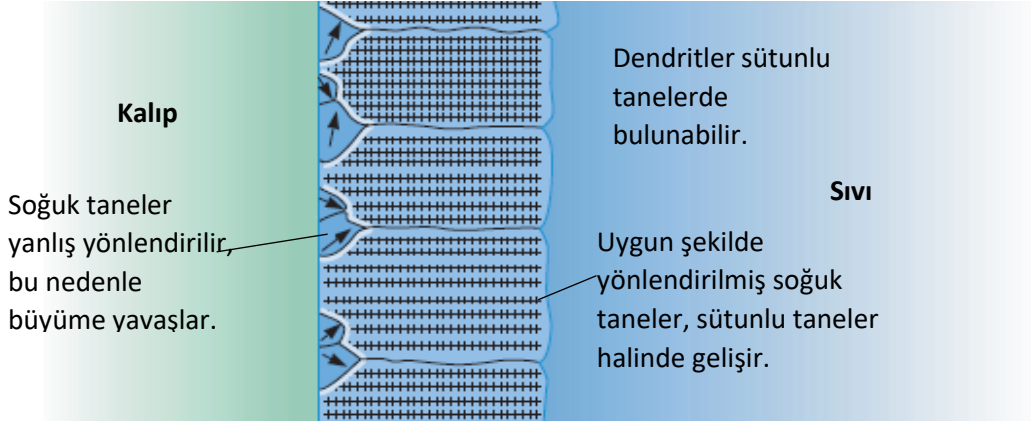


Şekil 2.4: Katılaşma sırasında bir dökümün ingot yapısının gelişimi.

Kalıba dökülen sıvı metal katılaşma sürecinde farklı bölgelerden oluşur. Bunlar soğuk bölge, sütunlu bölge ve eş eksenli bölge olarak tanımlanır.

Soğuk Bölge: Soğuk bölge, kalıpta katılaşan döküm yüzeyinde rastgele yönlendirilmiş taneciklerden oluşan dar bir banttır. Kalıp duvarı ile etkileşen metal, donma sıcaklığı da ilk soğuyarak katılaşmıştır. Ayrıca heterojen çekirdeklenmenin gerçekleştiği birçok yüzey oluşmasını meydana getirir.

Sütunlu Bölge: Sütunlu bölge, belirli bir kristalleşme ile yönlendirilerek uzunlaşmasına birbirinden farklı büyüklükte tanelerden oluşur. Isı yayılımı, kalıp malzemesi tarafından dökümden uzaklaştırdıkça, soğuk bölgedeki taneler, ısı akışının tersi yönde yani dökümün en soğuk bölgelerinden en sıcak bölgelerine doğru artar. Bu eğilim genellikle tanelerin kalıp duvarına dik olarak büyüdüğünü gösterir. Taneler belirli kristalografik yönlerde oldukça büyük olacak şekilde gelişir. Kübik kristal yapıya sahip metallerde, kalıp duvarına dik bir $\langle 100 \rangle$ yönüne sahip soğuk bölgedeki taneler, daha az elverişli diğer tanelere göre daha hızlı büyüdükleri Şekil 2.5' de gösterilmektedir [36]. Sonunda, sütunlu bölgedeki taneler, sütunlu bölgeye anizotropik özellikler veren, birbirine paralel $\langle 100 \rangle$ yönelime sahiptir. Sütunlu bölgenin bu oluşumu, çekirdeklenmeden ziyade büyüme olaylarından etkilenir. Sıvı başlangıçta aşırı soğutulmuşsa, taneler birçok dendritten oluşabilir. Katılaşma, herhangi bir aşırı soğuma meydana gelmezse sütunlu tanelerin düzlemsel büyümesi ile devam edebilir.



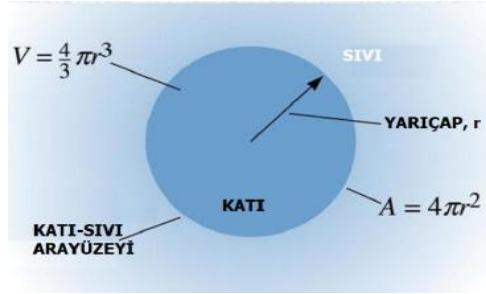
Şekil 2.5: Soğuk bölgedeki tanelerin rekabetçi büyümesi. Yalnızca uygun yönelimlere sahip tanelerin sütunlu tanelere dönüşmesine neden olur.

Eş eksenli Bölge: Katı, sıvının tamamı katılaşıncaya kadar sütunlu bir şekilde büyümeye devam etse de genellikle dökümün veya ingotun merkezinde bir eş eksenli bölge oluşur. Eş eksenli bölge, genellikle düşük döküm sıcaklığı, alaşım elementleri veya tane inceltici veya aşılama maddelerinin neden olduğu yeni, rastgele yönlendirilmiş taneler içerir. Soğutma bölgesindeki küçük taneler veya dendritler, döküm donmaya başladığında oluşturulan güçlü konveksiyon akımları tarafından da parçalanabilir. Bunlar aynı zamanda, nihayetinde eş eksenli taneler haline gelenler için heterojen çekirdeklenme bölgeleri sağlar. Bu taneler, nispeten yuvarlak veya eş eksenli taneler olarak rastgele bir yönelimle büyürler ve sütunlu tanelerin büyümesini durdururlar. Eş eksenli bölgenin oluşumu, çekirdeklenme kontrollü bir süreçtir ve dökümün o kısmının izotropik davranış göstermesine neden olur.

Farklı bölgelerde katılaşmayı etkileyen faktörleri anlayarak, önce bir soğuk bölgenin "kabuğu"nu oluşturan ve ardından dendritleri oluşturan dökümler üretmek mümkündür. Bu makro yapıyı gösteren metaller ve alaşımlar, kabuk oluşturan alaşımlar olarak bilinir. Katılaşmayı, kabuk veya ilerleyen dendritik tane dizileri görülmeyecek şekilde de kontrol edebiliriz; sütunludan eş eksenli geçiş neredeyse kalıp duvarlarındadır. Sonuç, ağırlıklı olarak eş eksenli tanelerden oluşan bir makro yapıya sahip bir dökümdür. Bu şekilde katılaştıran metaller ve alaşımlar, pelte oluşturan alaşımlar olarak bilinir, çünkü döküm malzeme, sıvı bir eriyik içinde yüzen katı taneciklerden oluşan bir lapa gibi görünür. Birçok alüminyum ve magnezyum alaşımı bu tip katılaşma gösterir. Genellikle, tamamen eş eksenli bir yapıyı teşvik ederiz ve böylece etkili tane inceltme veya aşılama yoluyla izotropik özelliklere sahip bir döküm oluştururuz.

Dökme külçe yapısı ve mikro yapısı, özellikle doğrudan nihai bir şekle dökülen bileşenler için önemlidir. Yine de birçok durumda, metaller ve alaşımlar önce külçe haline getirilir ve külçeler daha sonra termomekanik işleme tabi tutulur (ör. haddeleme, dövme vb.). Bu adımlar sırasında, döküm makro yapısı bozulur ve kullanılan termomekanik sürece bağlı olarak yeni bir mikro yapı ortaya çıkar.

Çekirdek (nucleus), bir atomun merkezinde bulunan, proton ve nötronlardan oluşup kristalleşmeyi başlatan en küçük birimdir. Metallerin sıvı formlarından katı formlarına geçebilmeleri için çekirdek oluşumu vazgeçilmez bir yapıtaşdır. Sıvı içerisindeki katı parçacığın çekirdeklenmesi Şekil 2.6'da sunulmaktadır [36].



Şekil 2.6: Bir sıvı içinde küresel bir katı parçacığın çekirdeklenmesi.

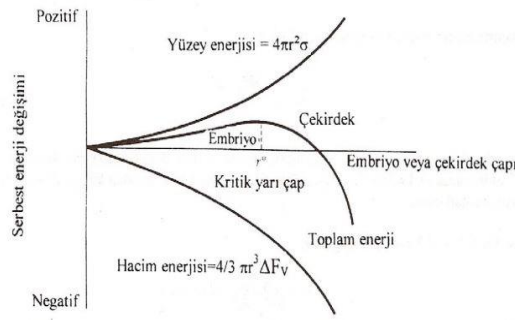
Birçok seramik, inorganik cam ve termoplastik polimerin yanı sıra tüm metalik malzemeler, işleme sırasında bir noktada sıvı veya erimiş haldedir. Suyun buza dönüşmesi gibi, erimiş maddelerde donma sıcaklıklarının altına düşüğe katılaştır. Kristalleşen malzemelerin katılaşması sırasında atomik düzen kısa menzilli düzenden uzun menzilli düzene doğru değişir.

Kristal malzemenin katılaşması iki adımda gerçekleşir. İlk adımda, sıvıdan katı fazın çekirdekleri olarak bilinen ultra ince kristalitler oluşur. İkinci adımda, ultra ince kristaller hiç sıvı kalmayana kadar büyümeye başlar. Burada oluşan küçük katı parçacıklara embriyo denir.

Embriyo, kararsızdır. Kararlı bir çekirdeğe dönüşebilir ya da yeniden çözünebilir. Katı, çekirdeklenme için kritik yarıçaptan (r) daha küçük bir yarıçapa sahip çok küçük olduğunda, daha fazla büyüme toplam serbest enerjinin artmasına neden olur. Kritik yarıçap (r), katı parçacık kararlı hale gelmeden ve büyümeye başlamadan önce sıvı içinde bir araya gelen atomlar tarafından oluşturulması gereken minimum kristal boyutudur.

Embriyo oluşumu istatistiksel bir süreçtir. Birçok embriyo oluşur ve yeniden çözülür. Şans eseri, yarıçapı r^* 'den büyük olan bir embriyo oluşur. Daha fazla büyüme toplam serbest enerjinin azalmasına neden olur. Yeni katı, çekirdeklenme meydana geldiğinden beri kararlı ve sürdürülebilirdir ve şimdi çekirdek olarak adlandırılan katı parçacığın büyümesi başlar.

Toplam serbest enerjisi; Katının boyutuna göre katı-sıvı sistemi değişir. Yarıçapı, yarıçapından küçükse katı bir embriyodur. Kritik yarıçap ve yarıçapı kritik yarıçaptan büyükse bir çekirdektir.



Şekil 2.7: Sıvı içinde, küresel katı bir embriyo oluşması, serbest enerji değişimi ve kritik çekirdek yarıçapı.

Katılaşmış olan saf bir metalin iki çeşit enerjisi oluşmaktadır. Birincisi; katılaşmış olan parçacığın katı-sıvı ara yüzeyinin oluşabilmesi için gereken yüzey enerjisidir. İkincisi ise Sıvı katı dönüşümü esnasında ortaya çıkan hacim serbest enerji.

Katı-sıvı ara yüzeyinin oluşabilmesi için gereken yüzey enerjisi ihtiyacı fazla olması, çekirdeğin dengeli hale gelmesini zorlaştırmaktadır.

Çekirdeklenme oluşumundaki toplam enerji değişimi negatif değere düşmesi durumunda, hacmin artmasından dolayı ortaya çıkan enerji miktarı yüzey enerji ihtiyacından fazladır. Çekirdeklenme oluşumundaki toplam enerji değişimi pozitif olması durumunda, ortaya çıkan enerji miktarının yüzey enerji ihtiyacını karşılayamamaktadır.

Katılaşma esnasında ortaya çıkan r yarıçapındaki çekirdek oluşumu için gereken toplam serbest enerji değişimi (Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'ye göre) aşağıdaki bağıntı ile verilir:

$$\Delta F = \frac{4}{3} \pi r^3 \Delta F_v + 4\pi r^2 \sigma \quad (2.10)$$

Burada; ΔF Toplam serbest enerji değişimi, ΔF_v Serbest hacim enerjisi, σ Serbest yzey enerjisi, $\frac{4}{3} \pi r^3$, r yarıçaplı küresel çekirdeğin hacmi, $4\pi r^2$, r yarıçaplı küresel çekirdeğin yzey alanı ile gösterilir [36,37].

2.5 Çekirdeklenme Türleri

2.5.1 Homojen Çekirdek

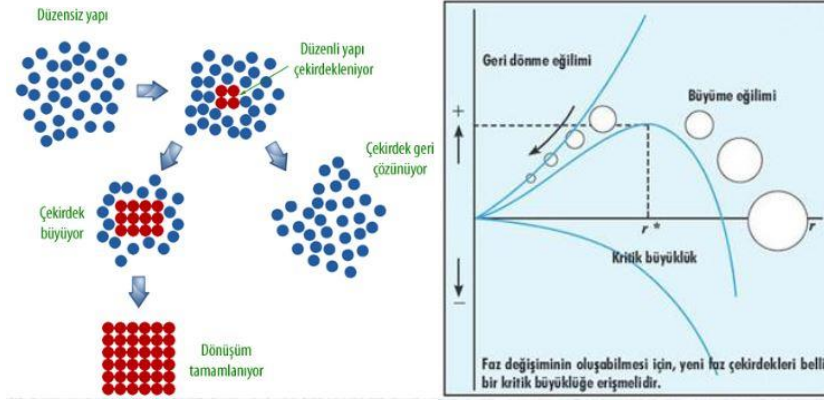
Yalnızca bir elementten yani tek tip atomdan meydana gelen metallere saf metal denir. Çekirdekler, saf metal ise homojen çekirdek ya da öz çekirdek olarak adlandırılır. Şekil 2.8’de homojen çekirdeklenmenin oluşumu gösterilmektedir.

Homojen çekirdeklenme sıvı sıcaklığın altındaki sıcaklıklara soğudukça denge donma sıcaklığı, iki faktör çekirdeklenmeyi desteklemek için birleşir. Birincisi, atomlar termal enerjilerini kaybettiğinden, daha büyük embriyolar oluşturmak için kümeler oluşturma olasılığı artmaktadır. İkincisi ise sıvı-katı arasındaki daha büyük hacimli serbest enerji farkı, çekirdeğin kritik boyutunu (r) azaltır. Homojen çekirdeklenme, aşırı soğuma, kararlı bir çekirdek oluşumuna neden olacak kadar büyüdüğünde meydana gelir. Aşırı soğumanın artması kritik yarıçapın azalmasına neden olur. Tablo 2.1, σ_{sl} , ΔH_f ve ve homojen çekirdeklenme için deneysel olarak gözlemlenen tipik aşırı soğumaları sunar [36].

Tablo 2.1: Seçilen malzemeler için donma sıcaklığı, erime ısısı, katı-sıvı ara yzey enerjisi ve aşırı homojen çekirdeklenme için maximum soğuma değerleri.

Materyal	Donma Sıcaklığı (T_m)	Erime Isısı (ΔH_f)	Katı-Sıvı Ara Yzey Enerjisi (σ)	Homojen Çekirdeklenme için Tipik Aşırı Soğutma (ΔT)
	(°C)	(J/cm ³)	(J/cm ²)	(°C)
<i>Ga</i>	30	488	56×10^{-7}	76
<i>Bi</i>	271	543	54×10^{-7}	90
<i>Pb</i>	327	237	33×10^{-7}	80
<i>Ag</i>	962	965	126×10^{-7}	250
<i>Cu</i>	1085	1628	177×10^{-7}	236
<i>Ni</i>	1453	2756	255×10^{-7}	480
<i>Fe</i>	1538	1737	204×10^{-7}	420

Homojen çekirdeklenme, aşırı soğuma ve kritik yarıçapın kararlı bir çekirdek oluşumuna neden olacak kadar büyüdüğünde meydana gelir. Sıvı, denge donma sıcaklığının altındaki sıcaklıklara ulaştığında çekirdeklenmeyi desteklemek için iki faktör birleşir. Atomlar termal enerjilerini kaybettiklerinden dolayı daha büyük embriyolar oluşturmak için kümeler oluşturur. Diğer durumda sıvı ve katı arasında daha büyük serbest enerji farkı, çekirdeğin kritik boyutunu azaltır. Homojen çekirdeklenme oluşumu Şekil 2.8’de gösterilmektedir [36].



Şekil 2.8: Homojen çekirdeklenmenin oluşumu.

Homojen çekirdeklenmenin meydana gelebilmesi için öncelikle ΔT kadarlık bir sıcaklık değişimi (soğuma) gerekmektedir. Ergiyik metal katılaşmaya ergime sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta başlamaktadır. Homojen çekirdeklenme için donma noktasının altında bir sıcaklık gerekmektedir.

Çekirdeklenme boyutunu tayin etmek için serbest enerji denkleminin diferansiyeli alınıp sıfır değerine eşitlenir. $r = r^*$ sistemdeki serbest enerji fonksiyonunun ekranın noktası yani maksimumda gerçekleşir.

$$r^* = \frac{-2\sigma}{\Delta F_v} \quad (2.11)$$

Diğer taraftan serbest enerjinin hacimsel değeri;

$$\Delta F_v = \frac{-\Delta H_f \Delta T}{T_m} \quad (2.12)$$

Tanımlanır. Burada; ΔH_f = gizli ergime ısısı, T_m = denge katılaşma sıcaklığı ve sistemdeki sıvının sıcaklığı T olduğundan, $\Delta T = T_m - T$ = minimum soğuma durumudur. Gizli ergime

ısı, sıvıdan katıya dönüşüm sürecinde sisteme aktarılan ısıyı temsil eder. (2.11) ve (2.12) eşitlikleri birleştirildiğinde kritik çekirdek yarıçapı:

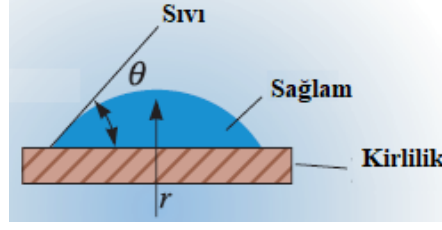
$$r^* = \frac{2\sigma T_m}{\Delta H_f \cdot \Delta T} \quad (2.15)$$

Bağıntısı ile tanımlanır. Burada; r^* kritik yarıçapı (cm), σ serbest yüzey enerjisi (J/cm²), T_m ergime derecesi (Kelvin), ΔH_f birim hacim başına gizli füzyon(ergime) ısı (J/c³) ve ΔT sıvı sıcaklığı T olduğunda aşırı soğumadır (°C)

2.5.2 Heterojen Çekirdek

Farklı cins atomlardan oluşan yani saf olmayan çekirdeklere heterojen çekirdek denir. Önceden var olan yüzeylerde çekirdeklenmez. Çekirdekler yabancıdır. Bu süreç çekirdeklenme fazı için temas açısına ve çekirdeklenmenin meydana geldiği yüzeyin yapısına bağlıdır.

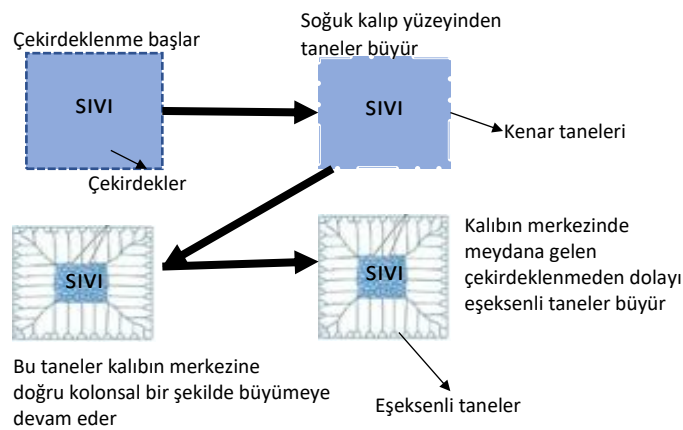
Tablo 2.1'den, -40°C sıcaklığa (40°C aşırı soğutma) ulaşana kadar suyun homojen çekirdeklenme yoluyla buza dönüşmeyeceği görülür. Kontrollü laboratuvar deneyleri dışında, sıvılarda homojen çekirdeklenme asla gerçekleşmez. Bunun yerine, sıvı ile temas halindeki safsızlıklar, ya sıvı içinde asılı kalır ya da sıvıyı tutan kabın duvarları üzerinde katının oluşabileceği bir desenli yüzey sağlar (Şekil 2.9). Şimdi, katı ve sıvı arasında çok az toplam yüzeyle kritik yarıçaptan daha büyük bir eğrilik yarıçapı elde edilir. Gerekli eğrilik yarıçapına sahip katı bir parçacık üretmek için nispeten az sayıda atomun bir araya toplanması gerekir. Kritik boyuta ulaşmak için çok daha az aşırı soğutma gereklidir, bu nedenle çekirdeklenme daha kolay gerçekleşir. Önceden var olan yüzeylerde çekirdeklenme, heterojen çekirdeklenme olarak bilinir. Bu süreç çekirdeklenme fazı için temas açısına (0) ve çekirdeklenmenin meydana geldiği yüzeye bağlıdır. Aynı tip olgu, katı hal dönüşümlerinde meydana gelebilir [36].



Şekil 2.9: Bir safsızlık üzerinde oluşan bir katı, yüzey enerjisinde daha küçük bir artışla kritik yarıçapı alabilir. Bu nedenle, nispeten düşük aşırı soğumalarda heterojen çekirdeklenme meydana gelebilir.

Çekirdeklenme hızı (birim zamanda oluşan çekirdek sayısı) sıcaklığın bir fonksiyonudur. Elbette katılaşmadan önce çekirdeklenme yoktur ve donma noktasının üzerindeki sıcaklıklarda çekirdeklenme oranı sıfırdır. Sıcaklığın düşmesi çekirdeklenme atomik difüzyonu artırır; ancak sıcaklığın azalması atomik difüzyonu yavaşlatır, dolayısıyla çekirdeklenme sürecini yavaşlatır. Böylece, tipik bir çekirdeklenme hızı, sıcaklığın altındaki bir sıcaklıkta maksimuma ulaşır.

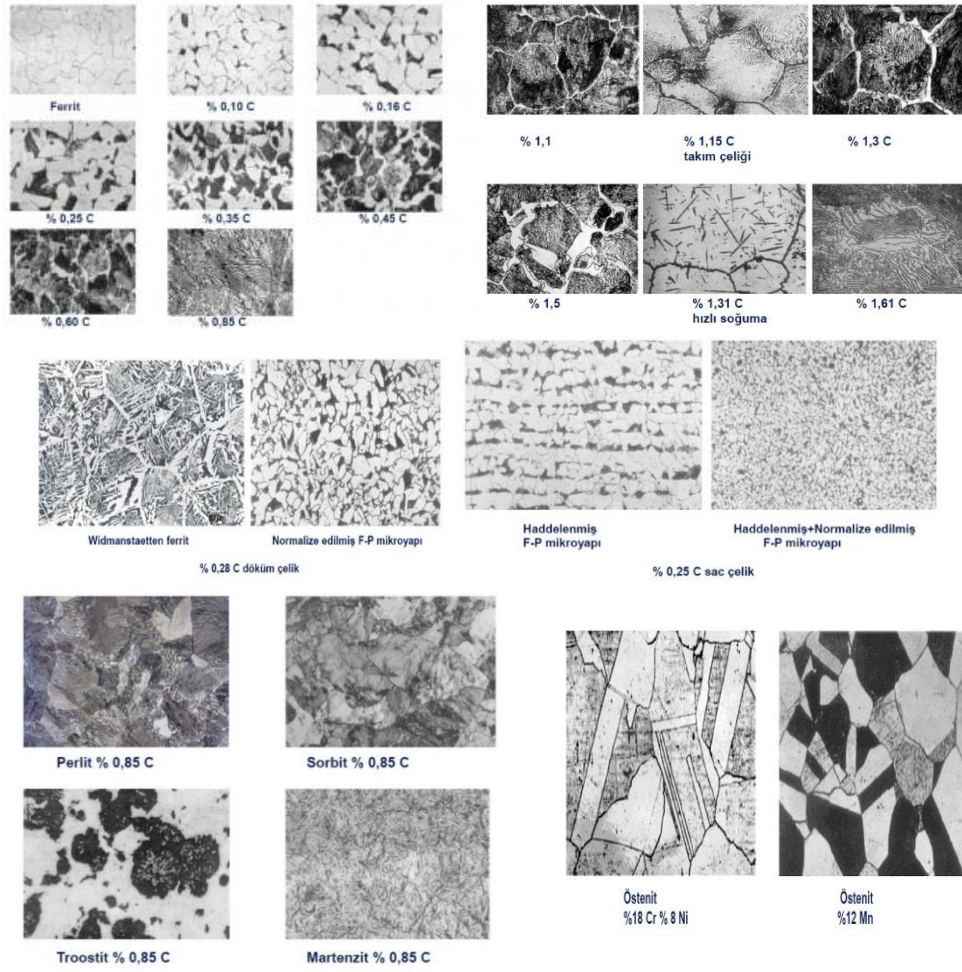
Döküm yoluyla bileşenlerin imalatında, erimiş metaller genellikle kalıplara dökülür ve katılaşmasına izin verilir. Kalıp, döküm olarak bilinen bitmiş bir şekil üretir. Diğer durumlarda, kalıp külçe adı verilen basit bir şekil üretir. Bir dökümün külçe yapısının katılaşma sırasında çekirdeklenme başlar, soğuma bölge formları oluşur, tercih edilen büyüme sütunlu bölge üretilir ve kalıbın merkezinde meydana gelen çekirdeklenmeden dolayı eşeksenli taneler büyür ve Şekil 2.10'da gösterilmektedir [36].



Şekil 2.10: Heterojen çekirdeklenme.

Bir katışkı üzerinde oluşan katı, yüzey enerjisinde daha küçük bir artışla kritik yarıçapı alabilir. Bu nedenle, nispeten düşük aşırı soğumalarla heterojen çekirdeklenme meydana

gelebilir. Kontrollü labaratuvar deneyleri dışında sıvı maddelerde homojen çekirdeklenme asla gerçekleşmez. Bazı katıların katılaşma örnekleri Şekil 2.11’de verilmiştir [36,37].



Şekil 2.11: Bazı metallerin katılaşma örnekleri.

2.6 Nümerik Yöntemler

Bu çalışmada elde edilen veriler arası ilişkileri belirlemek için en küçük kareler yöntemi ile lineer ve lineer olmayan regrasyon yöntemi kullanılmıştır. Nümerik önerilen model fonksiyonun geçerliliği regrasyon katsayısı ile belirlenmektedir [28].

3. MATERYAL / METOT

Fiziksel sistemleri oluşturan birimlerin temel özelliklerini referans almadan sistemin genel fiziksel davranışı istatistik fizik yöntemleri ile incelenebilir. Metallerin oluşturduğu katı faz yapıları depozit olarak tanımlanır. Bunlar için ölçekleme ve kendine benzerliğin (self-affine) belirlenmesi önemli bir yaklaşımdır. Ölçekleme özellikle katıların birincil ve ikincil durumuna ait faz geçişlerini belirlemek için uygulanmaktadır. Bu uygulamalar sistemlerin kendine özgü deneysel şartlardan bağımsız olarak tanımlanabilmektedir. Böylece ölçekleme işlemlerine ait bağımlı değişken değeri, sistemin tanımlanması için belirlenen bağımsız değişkenin basit üs değerini içeren (Power-Law) fonksiyonel denklem ile belirlenebilmektedir.

Depozit grubunu tanımlamak için hesaplanan üs değeri “kritik üs” olarak belirlenir ve sistem için evrensellik özelliği vardır. Kritik üs değeri katı depozitlerde morfolojik faz geçişini belirlemektedir. Katıların birincil yapıları olan yüzeysel depozitler parçacık kümesi olup görsel olarak yoğun, dallı ve dendrit yapısı gözlenir. Jeolojik kayaç yüzeyi üzerindeki lekeler mangan oksidin katı fazı olup oluşum yüzeyi yapısına göre farklılık göstermektedir. Bunlar bir çeşit kristalimsi yapılardır. Dolayısı ile morfolojik katı fazlı depozitler oluşum şartlarından bağımsız olarak ölçekleme yöntemi kullanılarak incelenebilir.

Bu amaçla bu tez çalışmasında jeolojik kalsedon kayacı yüzeyi üzerinde oluşan mangan depozitleri görüntüleri üzerinde görüntü işleme yöntemi kullanılarak ölçekleme hesaplamaları gerçekleştirilmektedir. Kayaç Çağış mahallesinin güneyindeki Betonit üretim ocağından alınmıştır. İlgili tesisin koordinatları K 39 30 07 ve D 28 00 28 olarak TOMTOMXXLCE N14644 marka navigasyon cihazı ile belirlenmiştir. Yüzeyin görüntüleri Canon EOS 1100D cihazı ile dijital ortama taşınmıştır. Kayaç yüzeyi şekil 3.1’de gösterilmiştir. Depozitlerin dağılımı yüzeyde rasgele olup yoğunlukları birbirinden farklıdır. Bazı bölgelerde birbirinden bağımsız depozitler gözlenmektedir.



Şekil 3.1: Kalsedon ve yüzeyindeki siyah ve kahverengi mangan depozitleri.

Dijital ortamdaki görüntülerin belirginliğini arttırmak için Gaussian Blur ölçütünde $\sigma = 2$ değeri kullanılarak filtre uygulanmıştır. Depozitlerin belirginliği arttırılmıştır. Yüzey üzerinden depozit yoğunluğuna göre bölgeler seçilerek her biri 8- bit değerli bit map (BMP) kare örgü formatında düzenlenmiştir. Görüntü işleme yönteminde imagej serbest yazılımı [38] ve grafik çizimlerinde Exel ve Origin Pro 7.0 [39] programı kullanılmıştır. Sonuçlar literatürdeki benzer farklı depozit yapılar ile karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Metaller çökme ve difüzyon yoluyla yapıları farklı morfoloji ve desen görüntüleri oluşturur. Bunlar amorf olabileceği gibi desenli de olabilir. Birincil yapılar ana gövdeyi oluştururken ikincil, üçüncül ve diğerleri bir katman ya da birbirinden bağımsız lekeler halinde ana gövde yüzeyindeki rasgele konumlarda gözlenmektedir. Bunlar birbiri ile eklemli ya da farklı olabilir. Yüzey üzerinde rastgele bir dağılıma sahiptir. Pratikte depozit olarak tanımlanır. Büyüklükleri ve desen yapıları değişkendir. Depozitleri oluşturan parçalar “parçacık” olarak tanımlanır. Parçacık büyüklüğü görüntüleme değerleri ile orantılıdır. Bunlar metal iyonlarının bir grubunu temsil eder. Depozitlerin oluşumu esnasındaki fiziksel ve kimyasal koşullar, depozitlerin morfolojisini belirler. Ancak oluşum sonrası depozit statik bir pozisyonda olduğundan temel istatistiksel özelliklerinin belirlenmesi ölçekle ve geometrik yöntemlerle mümkün olabilir. Ölçekleme uygulamalarını oluşum şartlarından bağımsız gerçekleştirmek mümkündür. Bu çalışmada kalsedon kayaç yüzeyi üzerinde oluşumunu tamamlamış ve yüzeyin yapısal özelliklerine göre yapılanmış birbiri ile bağımlı veya bağımsız mangan depozitlerin görüntüleri görüntü işleme yöntemi ile incelenmektedir [20-26].

Şekil 4.1’de mangan depozitlerini içeren kalsedon yüzeyi görüntüsü gösterilmektedir. Bir depoziti oluşturan toplam kütleli sınırlı kapalı kare örgünün yüzeyinin alanı oranına “kaplama oranı” ya da yüzeyel parçacık yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır [13,26]. YPY ana yapıli depozit yüzeyinde oluşmuş gözenek sayısının bir ölçüsüdür. Depozitin toplam kütleli depoziti oluşturan parçacık yoğunluklarının toplamı ile orantılıdır. Buna göre depozitlere ait YPY ϕ aşağıda tanımlanan bağıntı ile belirlenir. Buna göre YPY;

$$\phi(N, L) = (L)^{-2} \sum_1^{N(\delta)} \rho(x_i, y_j) \quad (4.1)$$

Denklemler ile hesaplanır. Burada $N(\delta)$ toplam parçacık sayısı ve depozitin en küçük belirlenebilen parçacık yoğunluğu sayısı $\rho(x_i, y_i)$, kapalı kare örgünün yanal kenar uzunluğu L değeridir. Yüzeydeki YPY’ni belirlemede, yüzdelik referans alınır. Bir depozit ya da depozit grubu için YPY $\phi \rightarrow 1$ ise, bu yüzeyin tamamen gözenekler ile ya da ikincil depozitler ile kaplandığı anlamını taşır. $0 \leq \phi \leq 1$ arasında değişim göstermektedir. Numune yüzeyinde bulunan ikincil yapılardan bağımsız YPY ise $\phi' = 1 - \phi$ eşitliği ile belirlenmektedir [1,2,3,11,16,17,26,29].

Depozitler için ölçekleme teorisine göre diğer bir parametre çevre (P)-alan (A) arasındaki fonksiyonel yaklaşım üs-yasa (power-law) ile belirlenmekte ve aşağıda belirlenmektedir. Buna göre çevre-alan ilişkisi;

$$P(\delta) = CA(\delta)^{-\gamma} \quad (4.2)$$

Bu denklemde sırası ile C , lineerleştirilen doğrunun P -ekseni üzerindeki herhangi bir noktadaki değerli sabit, δ görüntü çözünürlüğüne bir ayar parametresini (piksel) temsil eder. γ , çizilen $\log P - \log A$ değerlerinin oluşturduğu doğru grafiğinin eğim değeri hesaplanarak belirlenmekte ve ölçekleme teorisinde kritik üs olarak isimlendirilmektedir. Tanımlanan kritik üs değerinin evrensellik özelliği vardır ve depoziti oluşturan metalin türüne, oluşum şartlarına bağlıdır. Sabit ve kritik üs değerleri önce 4.2 denkleminin logaritması alınarak ve lineer sayısal regresyon yöntemi (en küçük kareler) kullanılarak hesaplanmaktadır.

Çevre-alan değerlerinden belirlenen kritik üs değerleri γ ile fraktal boyut arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntı ile belirlenir. Buna göre çevre-alan değerlerine ait Fraktal Boyut Değeri D_1 ;

$$D_1 = \gamma + 1 \quad (4.3)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Depozitlerin morfolojik yapısını ve parçacık dağılımını belirlemek için fraktal boyut hesaplaması yapılmaktadır. Topolojik fraktal boyut değeri olan D_2 , yüzeyde bulunan pürüzlülük ve parçacık dağılımının belirleyicisidir. Depozit yapısındaki parçacık yoğunluğunun dağılımına göre hesaplanır. Depozitin kütlesi depozitin yaklaşık yüzey alanı ile orantılı olup alt yüzeyin yapısal özelliklerine bağlıdır. Depozitin kütlesi görüntüdeki depoziti kapsayan birimsel (hücrese) parçacık yoğunlukları toplanarak hesaplanmaktadır. Buna göre hücrese parçacık yoğunluğu $\rho(x_i, y_j)$;

$$\rho(x_i, y_j) = \begin{cases} 1, & \text{siyah (dolu) pikseller için} \\ 0, & \text{beyaz (boş) pikseller için} \end{cases} \quad (4.4)$$

bağıntısı kullanılarak belirlenmektedir. Bu tez çalışmasında, kalsedon yüzey depozitleri fraktal boyut D_2 , değerini hesaplamada kutu-sayma (box-counting) yöntemi kullanılmıştır.

Bunun için olası en küçük piksel boyutlu parçacıkları δ değerine göre sıralı toplam parçacık sayısı $N(\delta)$ belirlenmiştir. Buna göre $N(\delta)$ ve δ arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$N(\delta) \propto \delta^{-D_1} \quad (4.5)$$

Ölçekleme teorisine göre Denklem 4.4'deki D_1 değeri depozit ve depozit grubu için oluşturduğu yüzeyin pürüzlülüğü ve düzensizliğini karakterize eder. Kritik üs olarak fraktal boyut değeridir. Ayrıca daha açıklayıcı bir şekilde D_1 değeri;

$$D_1 = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\log N(\delta)}{-\log(\delta)} \quad (4.6)$$

bağıntısı ile gösterilebilir. Görüntü işleme metriğine göre algoritma $N(\delta)$, BMP formatındaki depozit görüntüsünde δ , yanal kenar uzunluğu L boyutlu kare örgü içerisindeki depozit için siyah (*dolu*) piksellerin gözlerin sayısını temsil eder. D_2 değeri (*iterasyon*) hesaplama metodu ile belirlenir. Depoziti oluşturan siyah pikseller sayılmış ve δ büyüklüğü her bir adımda artırılmış ve artırılan her bir değere karşılık gelen parçacık sayısını $N(\delta)$ hesaplanmıştır. Belirleme işlemlerinde binary sistem kullanılmaktadır. Siyah pikseller için, 2 değerinin (*binary*) üstel değerli $\delta = 2^n$ ve $n = 1, 2, 3, \dots$ tam sayılar (*integer*) belirlenmiştir. Kutu boyut değeri $1/\delta$ apsis, $N(\delta)$ ordinat ekseninin logaritmaları belirlenmesi ve veri dağılımı sayısal en küçük kareler metodu ile eğim değeri kullanılmasıyla fraktal boyut D_1 belirlenmiştir [1,11,16-22].

Depozitteki parçacık dağılımı, depozitlerin yüzeydeki dağılımı ve morfolojik oluşum istatistiği fraktal boyut değeri ile belirlemektedir. Depoziti oluşturan belirlenmiş kare örgü yüzeyini kaplıyorsa kare olup $D_2 = 2$, eğer doğrusal bir yapıda ise $D_2 = 1$ değerli doğrusal bir yapıdadır. Böylece fraktal boyut $1 \leq D_2 \leq 2$ arasında değerler arasında değişimi beklenir.

Depozit ortalama büyüklüğü, depozit kütlelerinin toplamının depozit sayısı toplamına oranıyla bulunur.

Toplam küme alanı, ortalama parçacık büyüklüğü;

$$S_{ort} = n^{-1} \sum_{i=1}^n s_i \quad (4.7)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Denklem 4.7'deki n küme yüzeyindeki parçacık sayısı ve s_i küme yüzeylerinin alan toplamını temsil eder [3,26].

Varyans değeri ise rastgele depozit büyüklüğünün ortalamalarından farkının karesinin beklenen değeridir. Buna göre veri dağılımının varyans değeri:

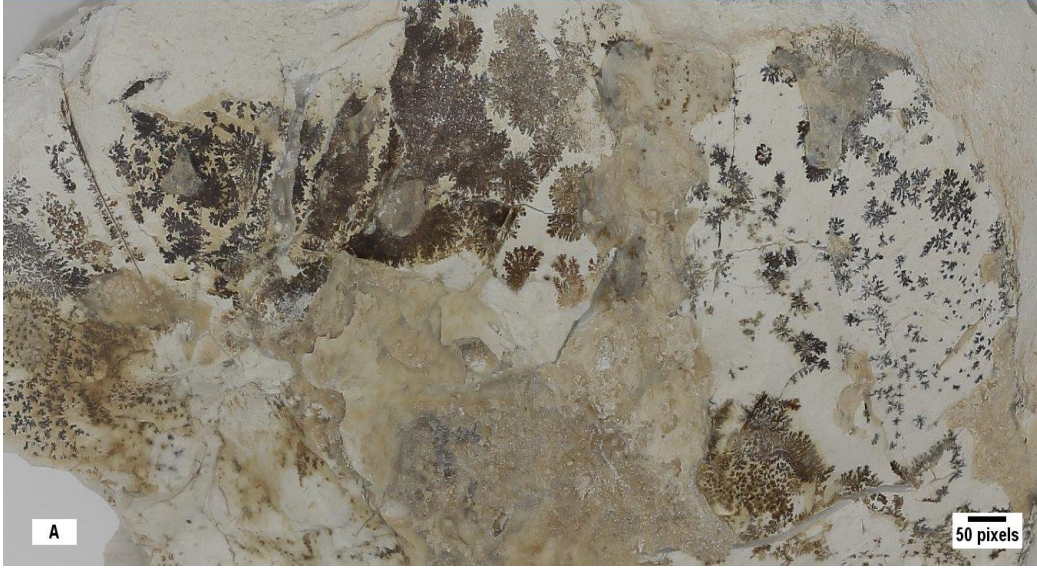
$$Var(S) = \sum_{i=1}^N \frac{(s_i - \bar{S})^2}{N} = \left(\sum_{i=1}^N \frac{s_i^2}{N} \right) - (\bar{S})^2 \quad (4.8)$$

bağıntısı ile hesaplanır [35].

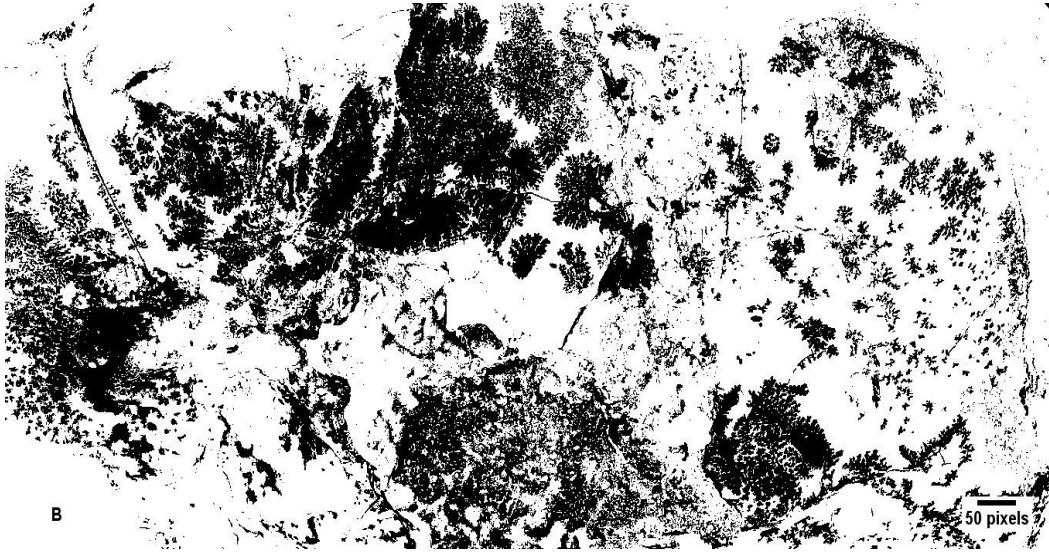
Şekil 4.1'de kalsedon numunesinin net görüntüsü, Şekil 4.2'de ise numune yüzeyinin BMP (bitmap) sitilindeki görüntüsü gösterilmektedir. Şekil 4.1'deki yüzeyden depozitlerin yüzeyde bulunma yoğunluğuna göre; birinci olarak tipik beş farklı K, L, M, N ve O bölgeleri, ikinci olarak tipik 13 farklı A bölgeleri seçilmiştir.

K-L-M-N-O Bölgelerinin sayısal hesaplamalarında seçilen her beş farklı bölgede kendi içinde belirlenen bir konumdan çevresinde doğru genişletilerek beş farklı L= 50, 100, 150, 200, 250 piksel boyutlu belirlenmiş kare örgüleri tercih edilerek gerçekleştirilmiştir. Beş farklı bölge K, L, M, N ve O olarak isimlendirilmiştir. Görüntüdeki mangan dendritleri üzerindeki siyah ve beyaz pikseller, parçacık yoğunluğunu belirlenmesinde temel alınmıştır. Mangan dendritlerinin bileşimini olan siyah pikseller, alt tabakayı ise beyaz pikseller temsil etmektedir. Şekil 4. 3 deki K bölgesine ait numune yüzeyleri görüntülerinde depozitler rastgele dağılım göstermektedir. Şekil 4. 4 deki L bölgesine ait numune yüzeyleri görüntülerinde depozitler, alt kısımlarında rastgele dağılım gösterirken üst kısımlarında ise öbekselen bir örüntü yapısında olduğu gözlenmektedir. Şekil 4. 5 deki M bölgesine ait numune yüzeyleri görüntülerinde görüntülerinde mangan dendritlerinin öbekseleniği, birbirinden ayrılıp biriktiği ve birbirlerinden uzaklaştığı örüntüde olduğu görülmektedir. Şekil 4. 6 daki N bölgesine ait numune yüzeyleri görüntülerinde; mangan dendritlerin biriktiği ve birbirlerinden uzaklaştığı örüntüde olduğu görülmektedir. Şekil 4. 7 deki O bölgesine ait numune yüzeyleri görüntülerinde depozitler; alt kısımlarında birbiri ile eklemli

depozitler gösterirken üst kısımlarında ise birikme eğilimi olan bir örüntü yapısında olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.1: Kalsedon ve yüzeyindeki mangan depozitlerin görüntüsü. Görüntü işleme yöntemi ile üretilmiştir.



Şekil 4.2: Şekil 4.1 deki gösterilen numune yüzeyinin BMP formatlı görüntüsüdür. Görüntü üzerindeki depozitler siyah renkli bölgelerdir.

Hesaplamaların birinci adımında; Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de gösterilen K, L, M, N, O yüzey alanlarının Yüzey parçacık yoğunluğu (YPY) hesaplanmıştır. Seçilen yüzeylerde bulunan toplam parçacık sayısı, toplam parçacık yoğunluklarının toplamıdır.

Şekil 4.3’de YPY ile yüzey alanı arasındaki oran; K-1 için %15,360, K-2 için %14,740, K-3 için %14,969, K-4 için %19,017 ve K-5 için ise %19,819 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.4’de YPY ile yüzey alanı arasındaki oran; L-1 için %19,520, L-2 için %19,640 L-3 için %20,600, L-4 için %22,203 ve L-5 için ise %24,470 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.5’de YPY ile yüzey alanı arasındaki oran; M-1 için %71,840, M-2 için %67,660 M-3 için %66,760, M-4 için %67,885 ve M-5 için ise %60,640 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.6’da YPY ile yüzey alanı arasındaki oran; N-1 için %39,280, N-2 için %47,500, N-3 için %62,000, N-4 için %50,458 ve N-5 için ise %42,493 olarak hesaplanmıştır.

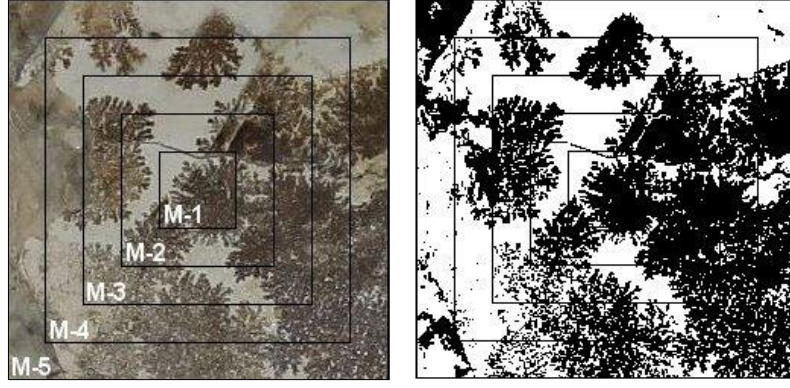
Şekil 4.7’de YPY ile yüzey alanı arasındaki oran; O-1 için %46,760, O-2 için %48,440, O-3 için %46,640, O-4 için %47,850 ve O-5 için ise %44,686 olarak hesaplanmıştır.



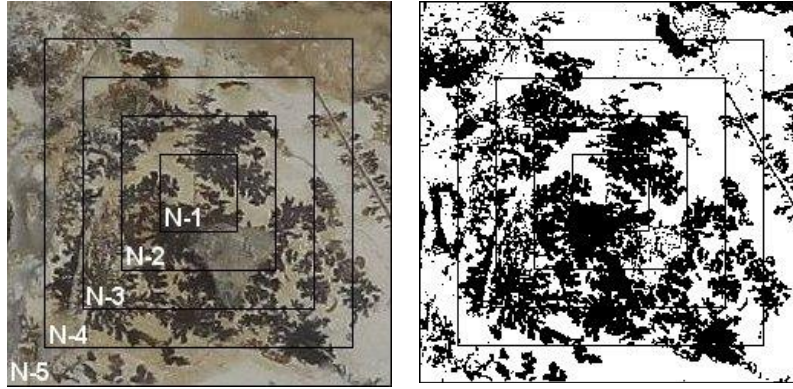
Şekil 4.3: K bölgesi.



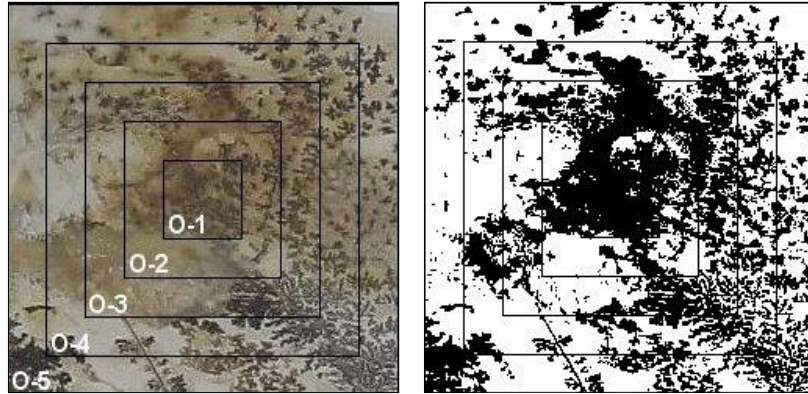
Şekil 4.4: L bölgesi.



Şekil 4.5: M bölgesi.

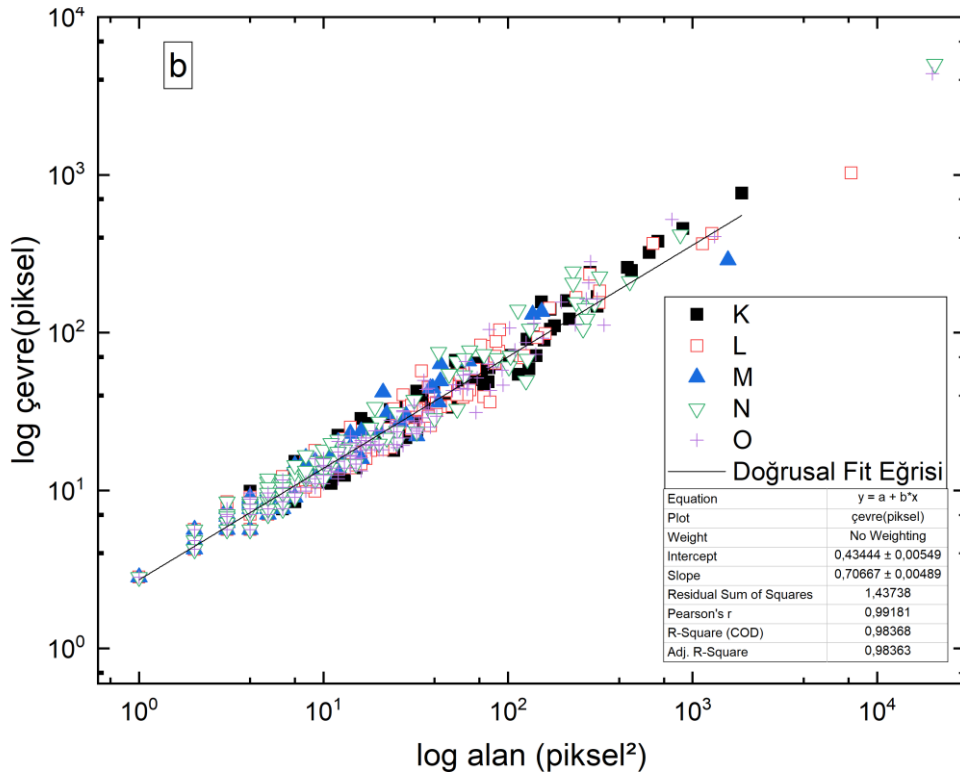
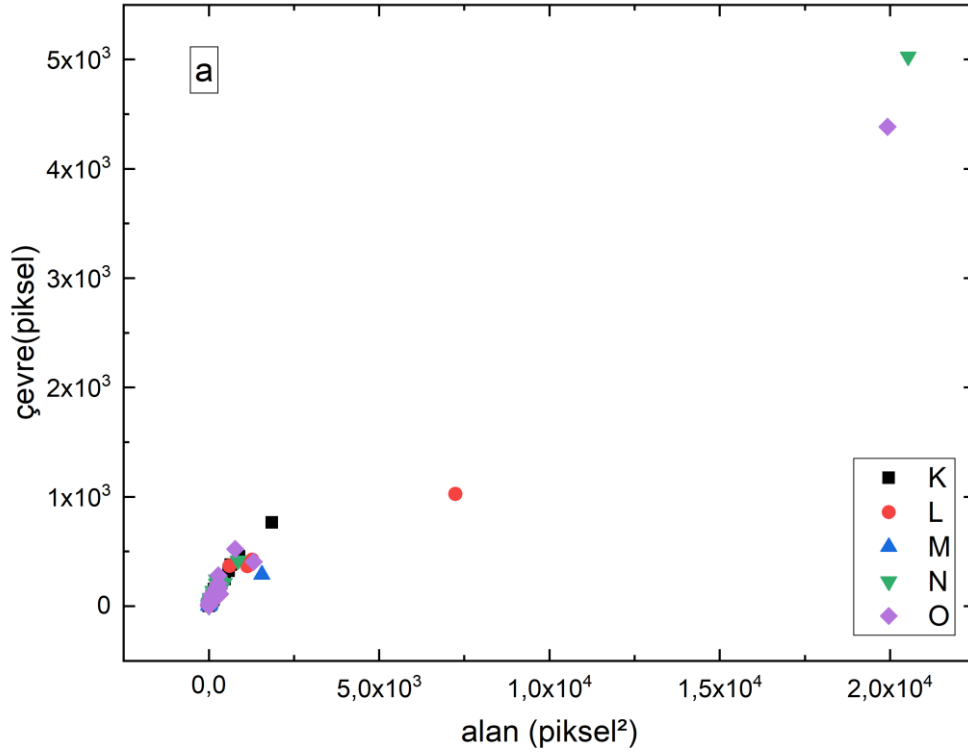


Şekil 4.6: N Bölgesi.



Şekil 4.7: O bölgesi.

K, L, M, N, O yüzey alanlarının kare örgü boyutları K-5: 250×250 (piksel)², L-5: 250×250 (piksel)², M- 5: 250×250 (piksel)², N-5: 250×250 (piksel)² ve O-5: 250×250 (piksel)² olarak örneklerinin mangane dendriti çevre-alan oranı Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8: a) Örnek depozitlerin çevre-alan değişimini gösteren diyagram. b) Örnek depozitlere ait $\log P(\delta) - \log A(\delta)$ veri grafiği.

Hesaplamaların ikinci adımında; K, L, M, N ve O yüzey alanlarındaki depozitlerin çevre ve alanları hesaplanıp x, y eksenlerinde logaritmik grafikleri çizilmiştir. En küçük kareler

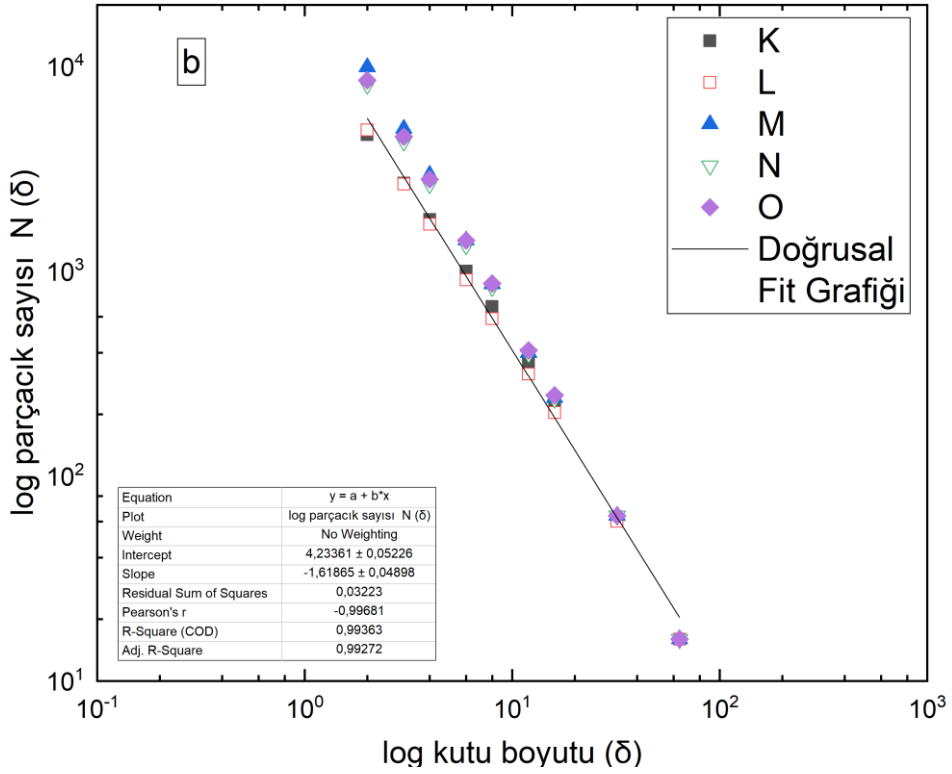
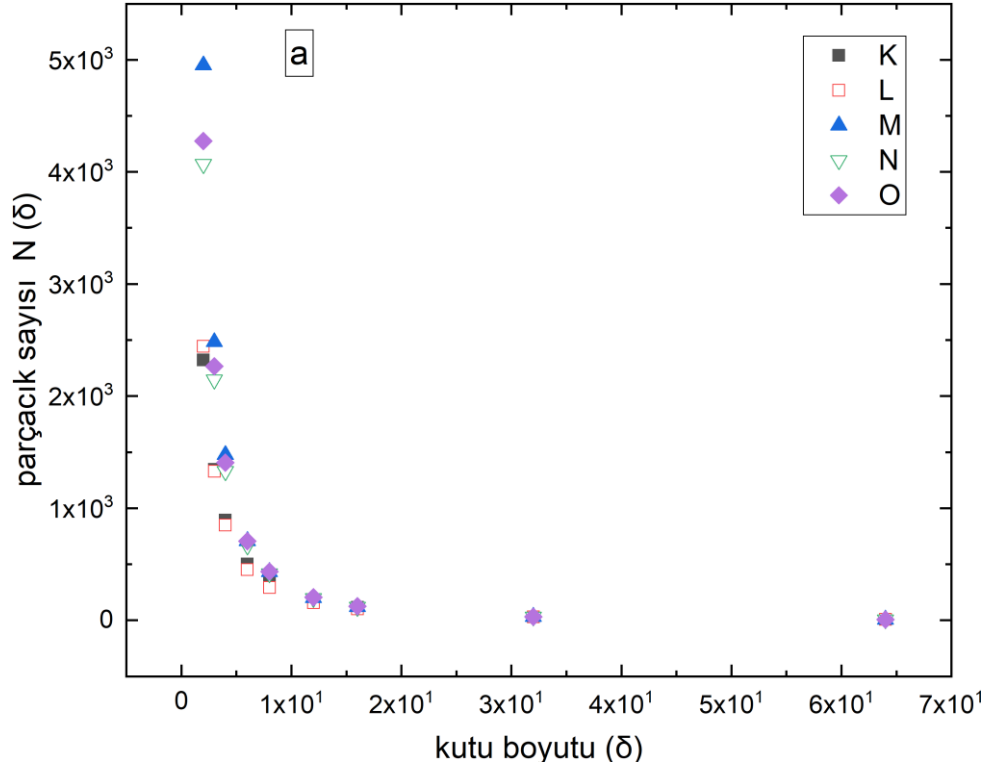
yöntemi kullanılarak lineer eğilimin eğim değeri hesaplanmıştır. Çevre-alan ilişkisini gösteren diyagram Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Bu çalışmada K-5, L-5, M-5, N-5 ve O-5 depozit yüzeylerin kritik eğim değeri $0,699 \leq \gamma \leq 0,725$ arasında hesaplanmış olup ortalama kritik üst eğim değeri yaklaşık 0,707 olarak hesaplanmıştır. Regresyon katsayı değeri kullanılarak K-5, L-5, M-5, N-5 ve O-5 depozit yüzeylerine ait hesaplama güvenilirliği kontrol edilmiştir. Regresyon katsayısı $0,98355 \leq R^2 \leq 0,98488$ aralığında değişmekte olup; güvenilir olduğu ispatlanmıştır. Ortalama Regresyon katsayı değeri yaklaşık 0,98368 olarak hesaplanmıştır.

K-5, L-5, M-5, N-5 ve O-5 kalsedon yüzey örneklerinin $\log P(\delta) - \log A(\delta)$ oranına ait grafiği Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Hesaplamaların üçüncü adımında; K-5, L-5, M-5, N-5 ve O-5 depozit yüzeylerinin fraktal boyut değerleri, $D_1 = \gamma + 1$ denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. D_1 değerleri $1,699 \leq D_1 \leq 1,725$ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ortalama fraktal boyut değeri yaklaşık 1,707 olarak hesaplanmıştır.

Hesaplamaların dördüncü adımında; K-5, L-5, M-5, N-5 ve O-5 depozit yüzeylerinde kutusayma yöntemi kullanılarak fraktal boyut değeri test edilmiştir. Parçacık yoğunluğu referans alınan siyah piksellerin sayılarının fraktal boyut değerleri $1,619 \leq D_2 \leq 1,850$ olarak bulunmuş olup; ortalama fraktal eğim değeri yaklaşık 1,619 olarak belirlenmiştir. Şekil 4.9’da verilen diyagram, parçacık sayısı ile parçacık boyutu arasındaki değişimi göstermektedir.

Hesaplamaların beşinci adımında; seçilen yüzeylerde bulunan depozit büyükleri denklem (4.7) kullanılarak belirlenmiştir. K-5 için 35,595 piksel, L-5 için 68,583 piksel, M-5 için 183,092 piksel, N-5 için 82,223 piksel ve O-5 için 86,201 piksel olarak hesaplanmıştır. Depozit yüzeylerdeki YPY arttığında, ortalama depozit büyüklüğünün de düzensiz olarak arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca hesaplanan istatistiksel değerler Tablo 4.1’ de ayrıca gösterilmiştir. Hesaplamalar güvenilirdir. Verilen uyum denklemi sonuçlarına bakıldığında kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9: a) Örnek depozitlere ait parçacık büyüklüğünün parçacık sayı dağılımına ait grafik b) örnek depozitlere ait $\log N(\delta) - \log(\delta)$ verilerine grafik.

Tablo 4.1: Kalsedon yüzeyi depozitlerine ait istatistiksel parametre değerleri.

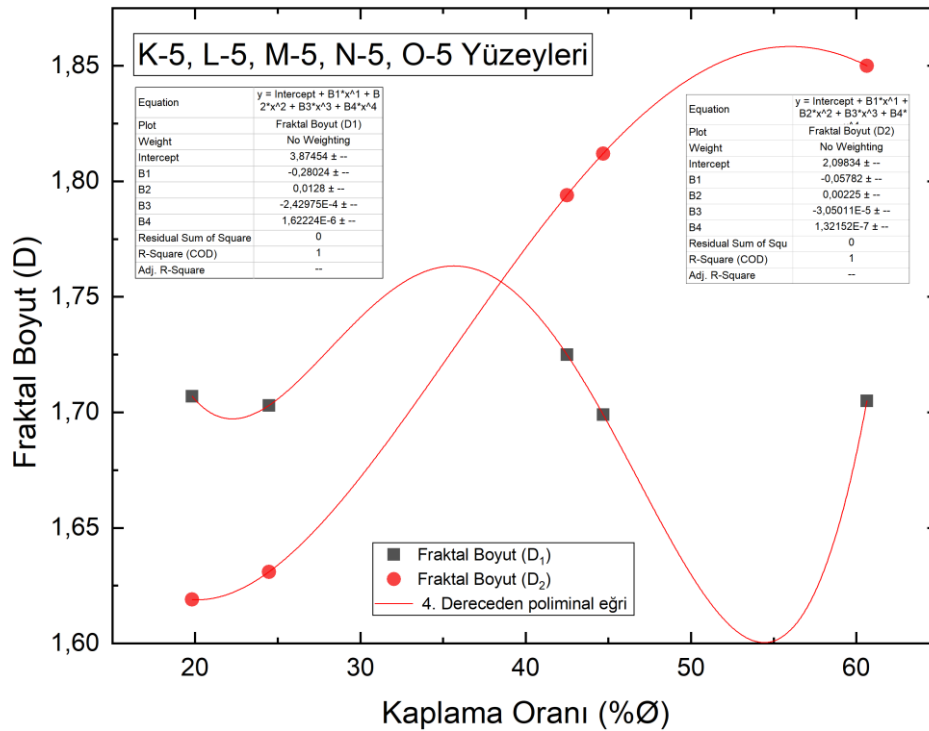
ŞEKİLLER	ÖRNEKLER	BOYUTU	KAPLAMA ORANI (% ϕ)	KRİTİK ÜS (γ)	REGRESYON SABİTİ (R^2)	RAKTAL BOYU (D_1)	RAKTAL BOYU (D_2)*	PARÇACIK BOYUTU (δ)
L	K-1	50x50	15,360	0,729 ± 0,037	0,98967	1,729 ± 0,037	1,429 ± 0,045	38,400
	K-2	100x100	14,740	0,725 ± 0,020	0,97340	1,725 ± 0,020	1,380 ± 0,047	37,795
	K-3	150x150	14,969	0,719 ± 0,012	0,97342	1,719 ± 0,012	1,445 ± 0,036	32,385
	K-4	200x200	19,017	0,713 ± 0,007	0,97974	1,713 ± 0,007	1,502 ± 0,023	35,882
	K-5	250x250	19,819	0,707 ± 0,005	0,98368	1,707 ± 0,005	1,619 ± 0,049	35,595
L	L-1	50x50	19,520	0,665 ± 0,035	0,97036	1,665 ± 0,035	1,451 ± 0,047	37,538
	L-2	100x100	19,640	0,710 ± 0,01	0,99064	1,710 ± 0,01	1,460 ± 0,014	56,114
	L-3	150x150	20,600	0,627 ± 0,012	0,98396	1,627 ± 0,012	1,437 ± 0,010	92,700
	L-4	200x200	22,203	0,705 ± 0,007	0,98500	1,705 ± 0,007	1,510 ± 0,008	60,415
	L-5	250x250	24,470	0,703 ± 0,006	0,98355	1,703 ± 0,006	1,631 ± 0,030	68,583
M	M-1	50x50	71,840	0,651 ± 0,035	0,98879	1,651 ± 0,035	1,763 ± 0,030	299,333
	M-2	100x100	67,660	0,698 ± 0,013	0,99791	1,698 ± 0,013	1,751 ± 0,020	845,750
	M-3	150x150	66,760	0,687 ± 0,012	0,99091	1,687 ± 0,012	1,789 ± 0,020	469,406
	M-4	200x200	67,885	0,690 ± 0,011	0,97990	1,690 ± 0,011	1,760 ± 0,014	352,649
	M-5	250x250	60,640	0,705 ± 0,006	0,98372	1,705 ± 0,006	1,850 ± 0,017	183,092
N	N-1	50x50	39,280	0,731 ± 0,013	0,99308	1,731 ± 0,013	1,660 ± 0,042	42,696
	N-2	100x100	47,500	0,706 ± 0,013	0,97583	1,706 ± 0,013	1,715 ± 0,021	48,969
	N-3	150x150	62,000	0,714 ± 0,006	0,98851	1,714 ± 0,006	1,783 ± 0,022	82,059
	N-4	200x200	50,458	0,721 ± 0,006	0,99042	1,721 ± 0,006	1,721 ± 0,009	126,144
	N-5	250x250	42,493	0,725 ± 0,005	0,98488	1,725 ± 0,005	1,794 ± 0,028	82,223
O	O-1	50x50	46,760	0,712 ± 0,014	0,98530	1,712 ± 0,014	1,738 ± 0,042	29,974
	O-2	100x100	48,440	0,710 ± 0,013	0,98202	1,710 ± 0,013	1,715 ± 0,007	83,517
	O-3	150x150	46,640	0,713 ± 0,006	0,98917	1,713 ± 0,006	1,724 ± 0,018	76,599
	O-4	200x200	47,850	0,703 ± 0,006	0,98610	1,703 ± 0,006	1,721 ± 0,011	86,606
	O-5	250x250	44,686	0,699 ± 0,005	0,98335	1,699 ± 0,005	1,812 ± 0,030	86,201

Kalsedon yüzeyi lineer olmayan regresyon metodu kullanılmasıyla Fraktal boyut ve YPY arasındaki bağıntı bulunmuştur. Sayısal (nümerik) modelin güvenilirlik kontrolü için regresyon katsayı değerine bakılmıştır. Bunun için 4. derece polinom fonksiyon kullanılmıştır. Şekil 4. 10'da YPY ve fraktal boyut arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram sunulmuştur. 4. dereceden polinom fonksiyonu;

$$D_1(\phi) = c_0 + c_1\phi_1 + c_2\phi_2 + c_3\phi_3 + c_4\phi_4 \quad (4.9)$$

bağıntısı ile belirlenir. Denklem 4.9'daki c_0 , c_1 , c_2 ve c_3 ve c_4 sabit katsayılardır.

K, L, M, N, O yüzey alanlarında K-5: 250X250 (piksel)², L-5:250X250 (piksel)², M-5: 250X250 (piksel)², N-5: 250X250 (piksel)² ve O-5: 250X250 (piksel)² yüzeylerindeki depozitlere ait YPY ile fraktal boyut değerleri D_1 ve D_2 ilişkisi lineer olmayan regresyon ile belirlenen 4. dereceden polinom eğrisini gösteren grafik Şekil 4.10'da sunulmuştur.



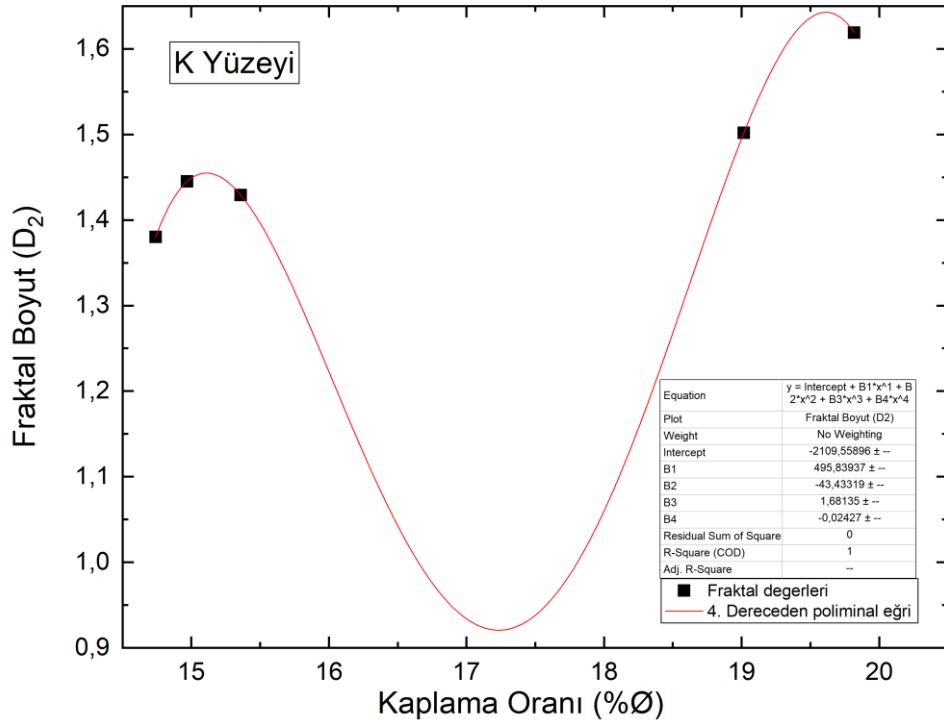
Şekil 4.10: Örnek depozitlerin YPY ile fraktal boyut değerleri D_1 ve D_2 arasındaki ilişkiyi gösteren 4. dereceden polinom eğrisi.

Fraktal Boyut (D_1) - YPY ($\% \Phi_1$) 'na değerlerine dayanılarak hesaplanan 4. Dereceden polinom fonksiyonu bağıntı sabitleri sırası ile $c_0=3,874$, $c_1=-0,280$, $c_2=-0,013$, $c_3=-2,41$ ve

$c_4=1,622$ bulunmuştur. Bu örnek için regresyon katsayısı $R^2 = 1$ olarak elde edilmiştir. Nümerik model için fonksiyon kabul edilebilir.

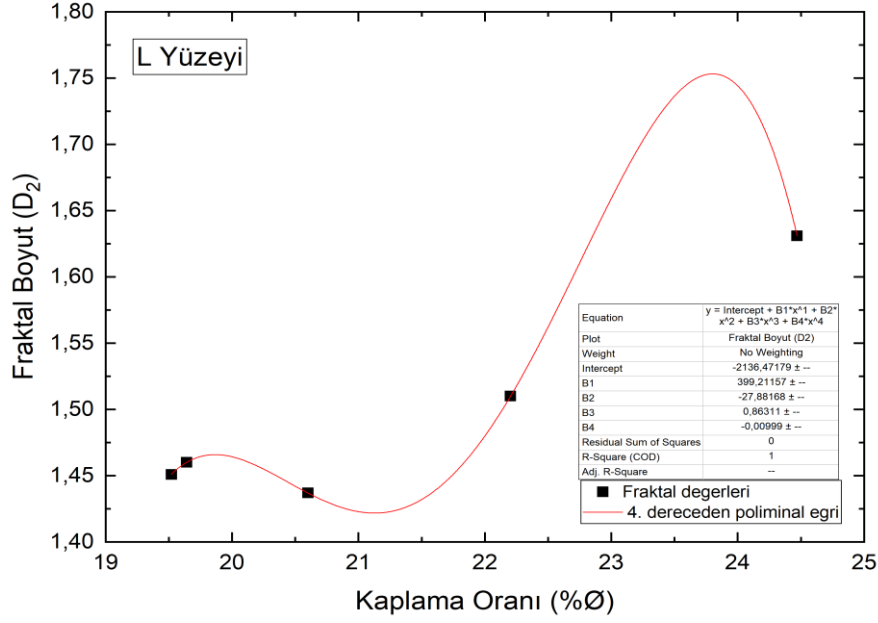
Fraktal Boyut (D_2) - YPY ($\% \Phi_2$)'na değerlerine dayanılarak hesaplanan 4. Dereceden polinom fonksiyonu bağıntı sabitleri sırası ile $c_0= 2,098$, $c_1 -0,058$, $c_2= 0,002$, $c_3 -3,050$ ve $c_4= 1,322$ bulunmuştur. Bu örnek için regresyon katsayısı $R^2 = 1$ olarak elde edilmiştir. Nümerik model için fonksiyon kabul edilebilir.

Böylece denklem 4.7 kullanılarak fraktal boyut ile YPY arasındaki değişim tanımlanabilir.



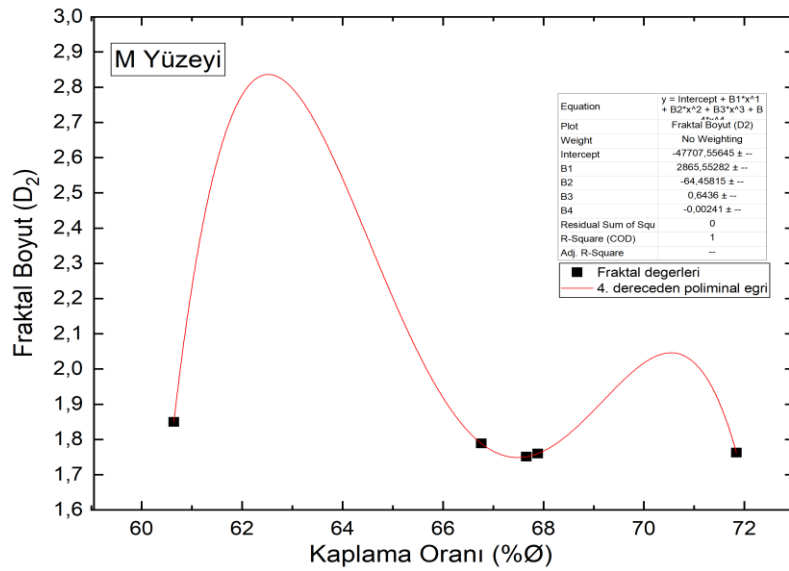
Şekil 4.11: Şekil.4.3’de K yüzeylerine ait YPY ile fraktal boyut değeri ilişkisini gösteren 4. dereceden polinom eğrisi

Şekil 4.11’de Fraktal Boyut (D_2) - YPY ($\% \Phi_2$) ‘na değerlerine dayanılarak hesaplanan 4. Dereceden polinom fonksiyonu bağıntı sabitleri sırası ile $c_0= -2109,559$, $c_1 = 495,839$, $c_2 -43,433$, $c_3= 1,681$ ve $c_4= -0,024$ bulunmuştur. Regresyon katsayısı $R^2 = 1$ değerindedir.



Şekil 4.12: Şekil.4.4,'de L bölgelerine ait YPY ile fraktal boyut değeri ilişkisini gösteren 4. dereceden polinom eğrisi.

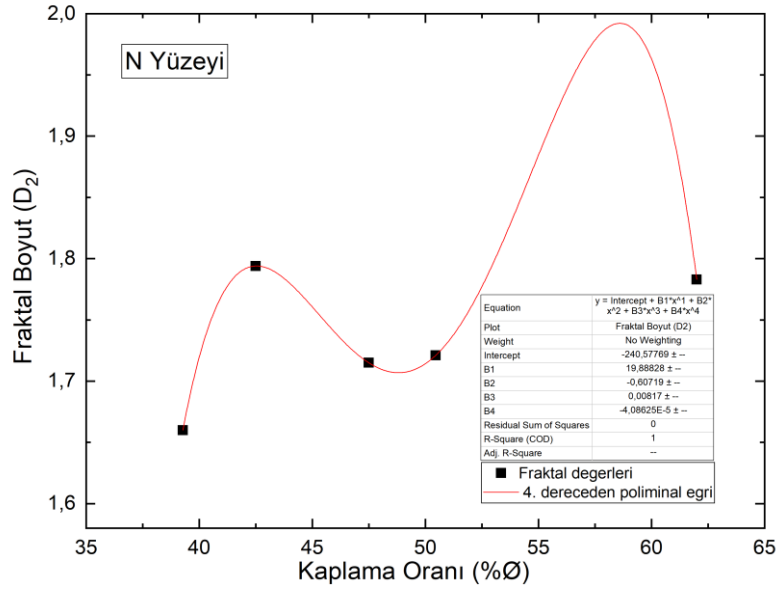
Şekil 4.12'de Fraktal Boyut (D_2) - YPY ($\% \Phi_2$) 'na değerlerine dayanılarak hesaplanan 4. Dereceden polinom fonksiyonu bağıntı sabitleri sırası ile $c_0 = -2136,472$, $c_1 = 399,212$, $c_2 = -27,882$, $c_3 = 0,863$ ve $c_4 = -0,010$ bulunmuştur. Regresyon katsayısı $R^2 = 1$ değerindedir.



Şekil 4.13: Şekil.4.5,'de M bölgelerine ait PY ile fraktal boyut değeri ilişkisini gösteren 4. dereceden polinom eğrisi.

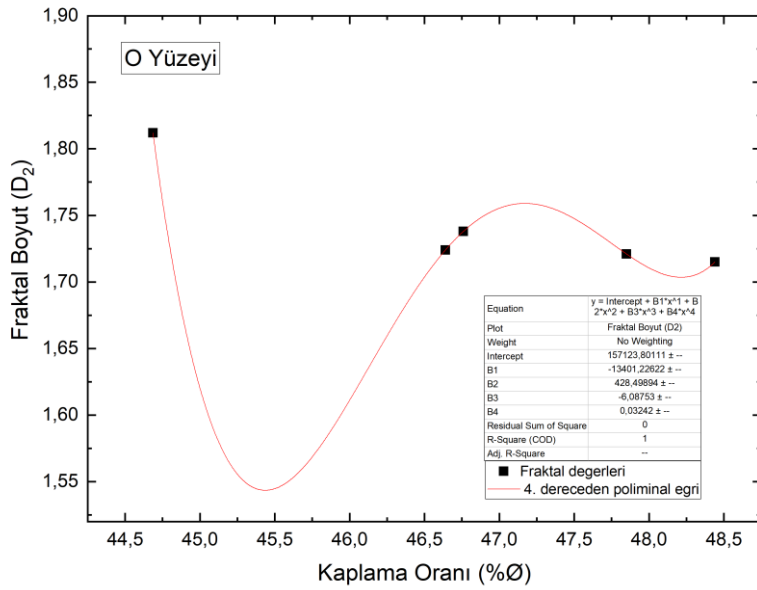
Şekil 4.13'de Fraktal Boyut (D_2) - YPY ($\% \Phi_2$) 'na değerlerine dayanılarak hesaplanan 4. Dereceden polinom fonksiyonu bağıntı sabitleri sırası ile $c_0 = -47707,556$, $c_1 = 2865,553$, c_2

= -64,458, $c_3 = 0,6436$ ve $c_4 = -0,00241$ bulunmuştur. Regresyon katsayısı $R^2 = 1$ değerindedir.



Şekil 4.14: Şekil.4.6,'de N bölgelerine ait YPY ile fraktal boyut değeri ilişkisini gösteren 4. dereceden polinom eğrisi.

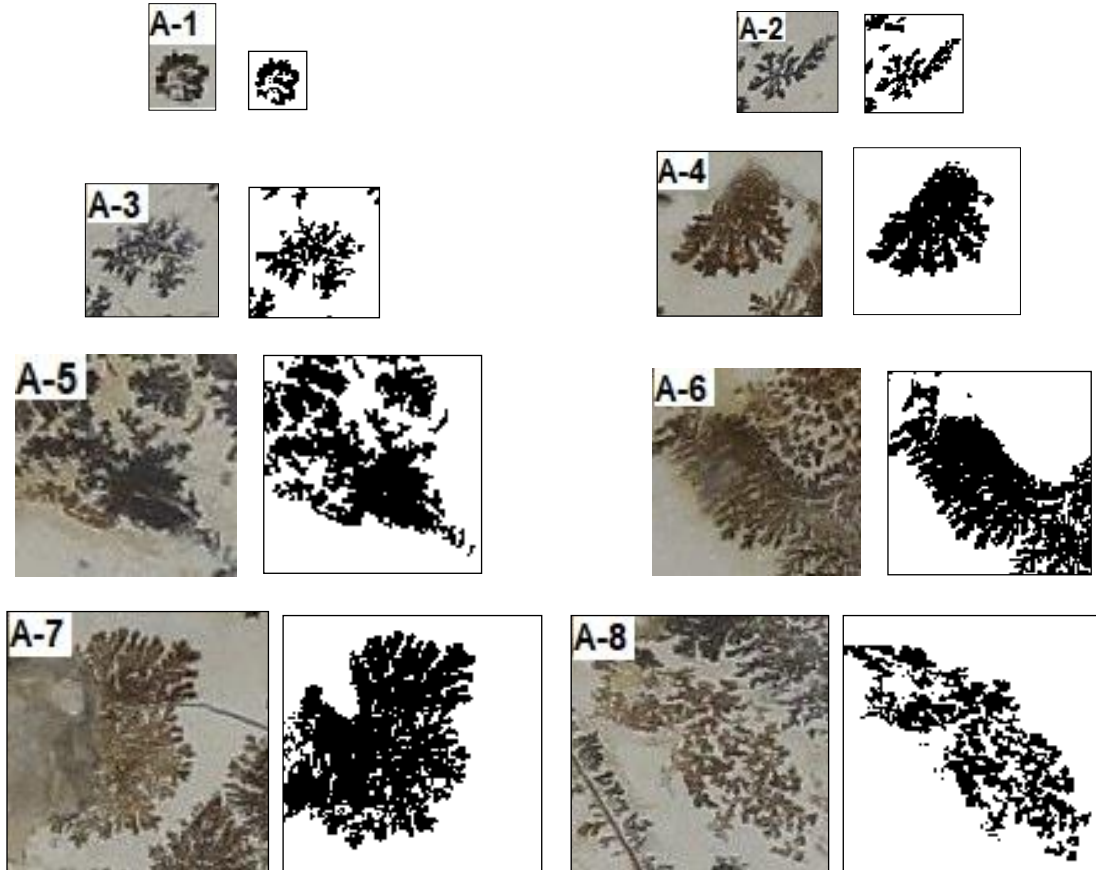
Şekil 4.14'de Fraktal Boyut (D_2) - YPY ($\% \Phi_2$) 'na değerlerine dayanılarak hesaplanan 4. Dereceden polinom fonksiyonu bağıntı sabitleri sırası ile $c_0 = -240,578$, $c_1 = 19,888$, $c_2 = -0,607$, $c_3 = 0,008$ ve $c_4 = -4,086$ bulunmuştur. Regresyon katsayısı $R^2 = 1$ 'dir.

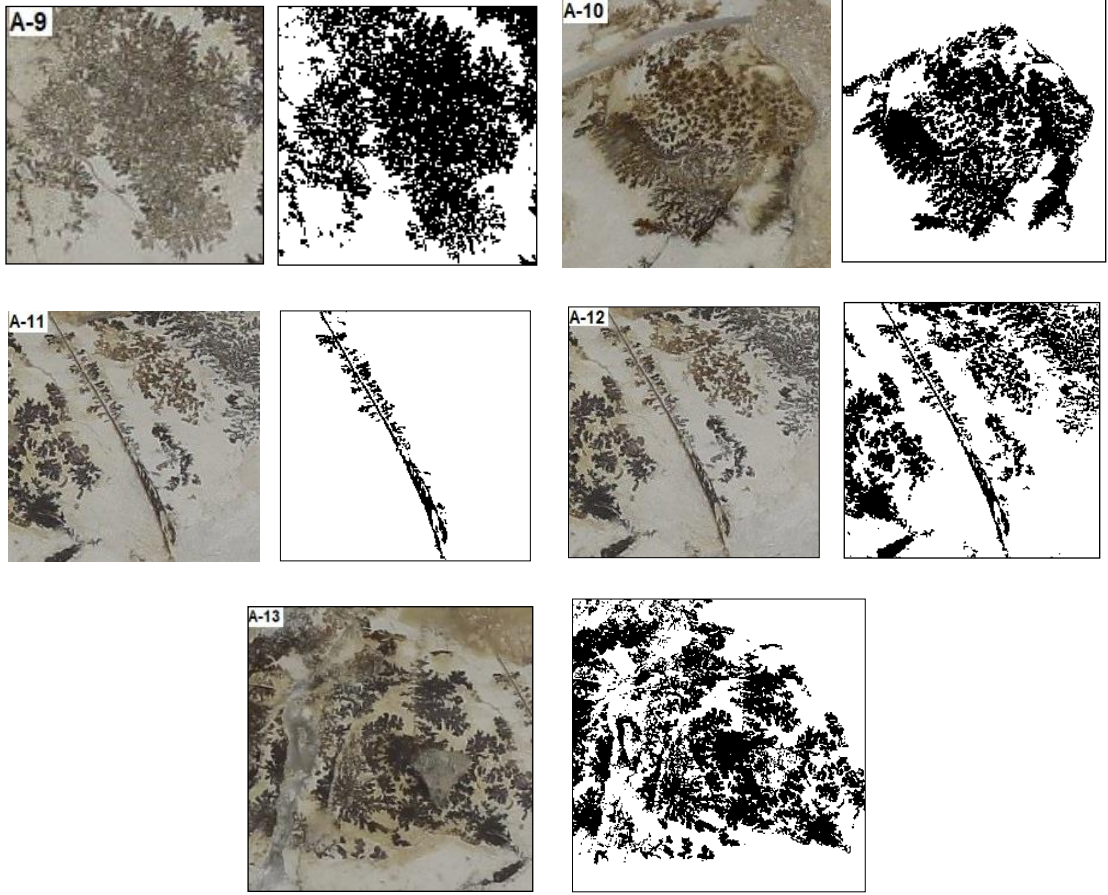


Şekil 4.15: Şekil.4. 7'de O bölgelerine ait YPY ile fraktal boyut değeri ilişkisini gösteren 4. dereceden polinom eğrisi.

Şekil 4.15’de Fraktal Boyut (D_2) - YPY ($\%O_2$) ‘na değerlerine dayanılarak hesaplanan 4. Dereceden polinom fonksiyonu bağıntı sabitleri sırası ile $c_0 = -157123,801$, $c_1 = -13401,226$, $c_2 = 428,499$, $c_3 = -6,087$ ve $c_4 = 0,032$ bulunmuştur Regresyon katsayısı $R^2 = 1$ değerindedir.

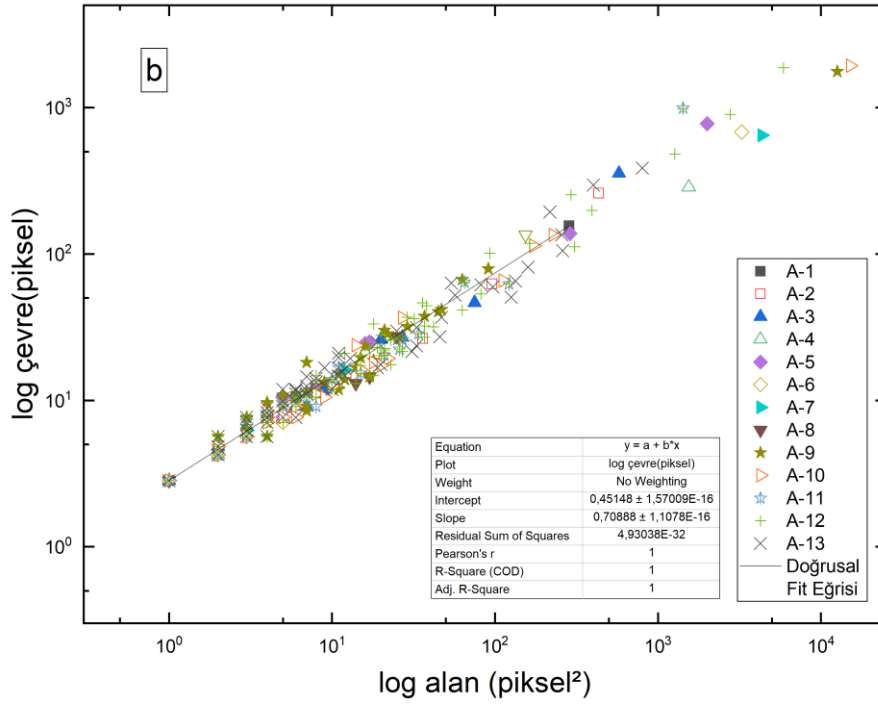
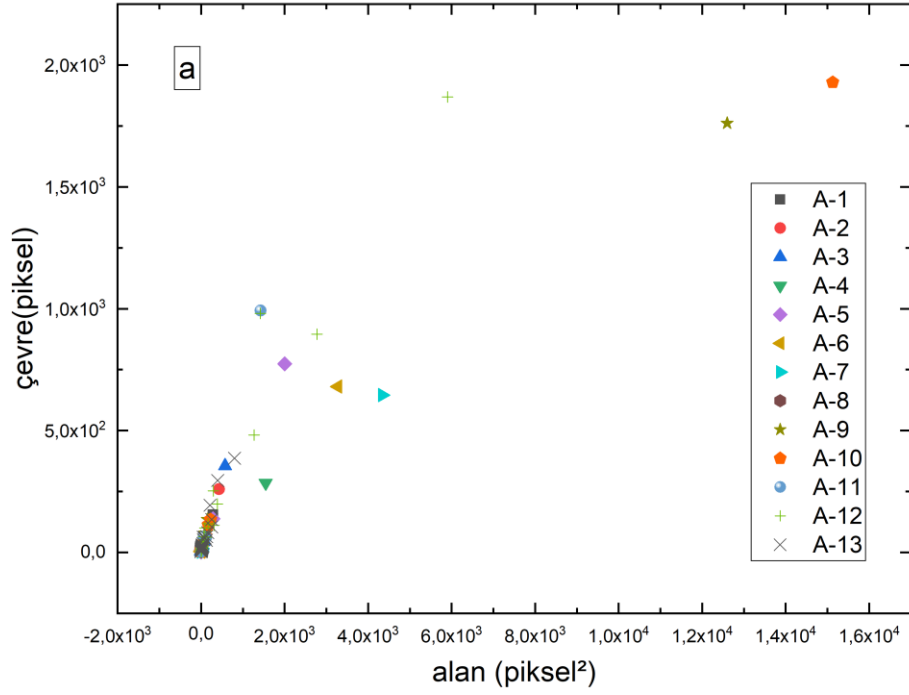
A bölgelerinin sayısal hesaplamalarında seçilen on üç farklı bölgede kendi içinde belirlenen bir konumdan çevresinde doğru genişletilerek on üç farklı $L = 29 \times 29, 50 \times 50, 55 \times 55, 74 \times 74, 78 \times 78, 87 \times 87, 105 \times 105, 150 \times 150, 200 \times 200, 210 \times 210, 212 \times 212, 267 \times 267$ piksel boyutlu belirlenmiş kare örgüleri tercih edilerek gerçekleştirilmiştir. On üç farklı bölge K, L, M, N ve O olarak isimlendirilmiştir. Görüntüdeki mangan dendritleri üzerindeki siyah ve beyaz pikseller, parçacık yoğunluğunu belirlenmesinde temel alınmıştır. Mangan dentritlerinin bileşimi olan siyah pikseller, alt tabakayı ise beyaz pikseller temsil etmektedir. Şekil 4.16 deki farklı A bölgelerine ait numune yüzeyleri görüntüleri incelendiğinde; depozitlerin rastgele dağılım gösterdiği, alt kısımlarında rastgele dağılım gösterirken üst kısımlarında öbekleşen bir örüntü yapısında olduğu, üst kısımlarında eklemli depozitler oluşturduğu, birbirlerinden ayrılıp öbikleştikleri, birbirlerinden uzaklaşarak biriktikleri gibi her yüzeyin kendine has özelliklerde olduğu görülmektedir.





Şekil 4.16: Kalsedon yüzeyi manganez dendritlerinden farklı on üç yüzey ve BMP formatındaki görüntüleri.

Hesaplamaların 1. adımında; Şekil 4.16'daki A depozit yüzeylerinin YPY hesaplanmıştır. Seçilen yüzeylerde bulunan toplam parçacık sayısı, toplam parçacık yoğunluklarının toplamıdır. YPY yüzey alanı oranları A-1 için % 34,126, A-2 için % 24,28, A-3 için % 24,463, A-4 için % 28,269, A-5 için % 38,609, A-6 için %43,401, A-7 için % 39,574, A-8 için % 26,685, A-9 için % 59,662, A-10 için %39,59, A-11 için % 4,086, A-12 için % 30,939, A-13 için ise % 41,865 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.17: a) Şekil.4.15'deki, kalsedon yüzeylerinin çevre-alan değerleri dağılımı gösteren grafik b) log P(δ)-log A(δ) veri dağılım grafiği.

Hesaplamaların 2. adımında; A yüzey alanlarındaki depozitlerin çevre ve alanları hesaplanıp x,y eksenlerinde logaritmik grafikleri çizilmiştir. En küçük kareler yöntemi kullanılarak lineer eğilimin eğimi tespit edilmiştir. Çevre-alan ilişkisini gösteren diyagram Şekil 4.17'de gösterilmektedir. Bu çalışmada A depozit yüzeylerin kritik eğim değeri $0,633 \leq \gamma \leq 0,790$

arasında hesaplanmış olup ortalama kritik üst eğim büyüklüğü yaklaşık 0,709 olarak bulunmuştur. Regresyon katsayısı kullanılarak Şekil 4.16'daki A depozit yüzeylerine ait hesaplama güvenilirliği kontrol edilmiştir. Regresyon katsayısı $0,98134 \leq R^2 \leq 1$ aralığında değişmekte olup; güvenilir olduğu belirlenmiştir. Ortalama Regresyon katsayı değeri yaklaşık 0,9633 olarak hesaplanmıştır.

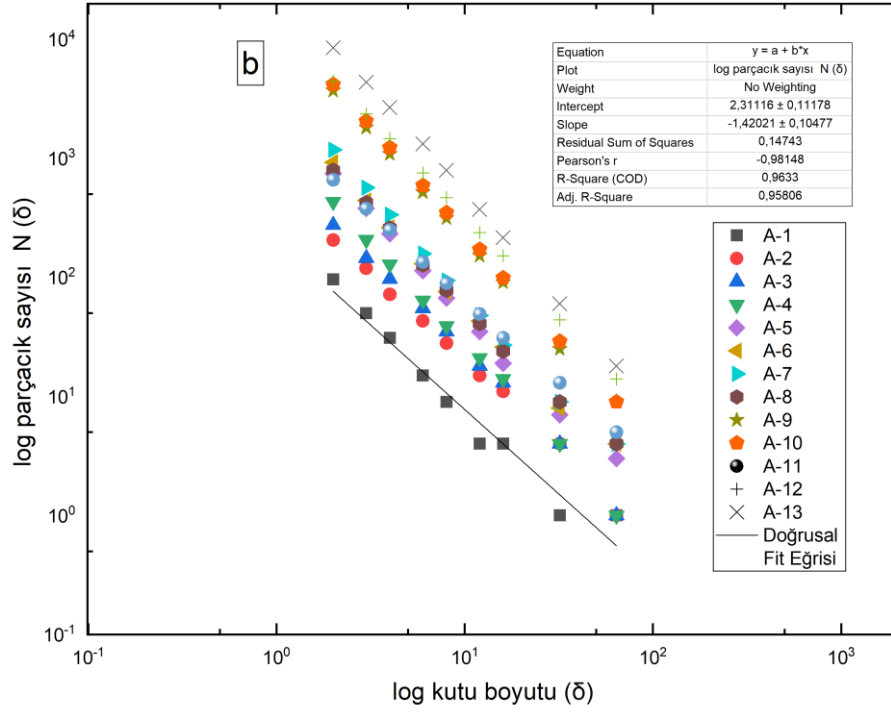
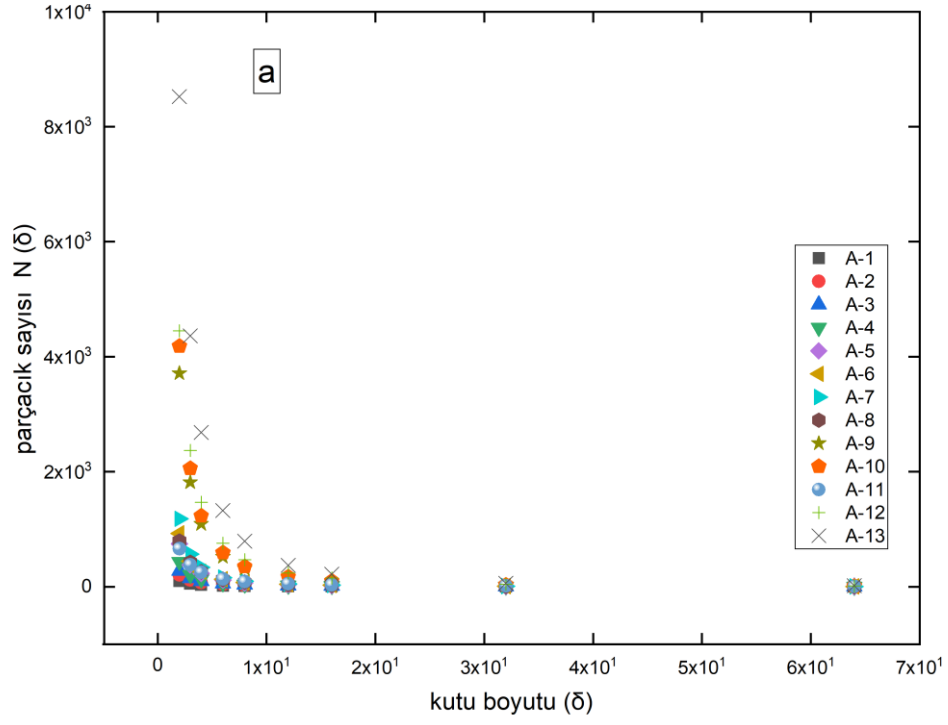
Hesaplamaların 3. adımında; $D_1 = \gamma + 1$ denklemi kullanılarak Şekil 4.16'daki A depozit yüzeylerine ait fraktal boyut değerleri (D_1) hesaplanmıştır. Fraktal boyut değerleri $1,633 \leq D_1 \leq 1,790$ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ortalama fraktal boyut değeri yaklaşık 1,709 olarak hesaplanmıştır.

Hesaplamaların 4. adımında; kutu-sayma yöntemi kullanılarak fraktal boyut değeri test edilmiştir. Parçacık yoğunluğu olarak referans alınan siyah piksellerin miktarı x,y eksenindeki fraktal boyut değerleri $1,419 \leq D_2 \leq 1,795$ olarak bulunmuştur. Ortalama fraktal eğim değeri yaklaşık 1,420 olarak belirlenmiştir. Şekil 4.18'de verilen diyagram, parçacık sayısı ile parçacık boyutu arasındaki değişimi göstermektedir.

Hesaplamaların 5. adımında; denklem (4.7) kullanılarak yüzeylerdeki mangan dendrit büyüklüğü incelenmiştir. A-1 için 34,126 piksel, A-2 için 101,167 piksel, A-3 için 61,667 piksel, A-4 için 774,000 piksel, A-5 için 261,000 piksel, A-6 için 547,500 piksel, A-7 için 545,375 piksel, A-8 için 226,308 piksel, A-9 için 165,728 piksel, A-10 için 452,543 piksel, A-11 için 69,308 piksel, A-12 için 100,761 piksel, A-13 için ise 154,637 piksel olarak hesaplanmıştır.

Mangan dendrit büyüklükleri düzensiz bir değişim göstermektedir. Bu durum oluşum esnasında fiziksel ve kimyasal koşulların dalgalandığını göstermektedir. Yüzeyde bu koşullar anizotropik özelliği ortaya çıkardığı söylenebilir.

Kalsedon yüzeyindeki YPY arttığında ortalama mangan dendrit büyüklüğü de düzensiz olarak değişim göstermektedir. Bu yaklaşım kabul edilebilir bir sonuçtur. Ayrıca hesaplanan değerler özetlenerek Tablo 4.2' de gösterilmiştir.



Şekil 4.18: a) Şekil.4.15'deki, kalsedon yüzeylerinin kutu boyutunun dağılımı b) Kalsedon yüzeylerinden ait ait $\log N(\delta)$ - $\log(\delta)$ verilerinin diyagramı.

Tablo 4.2: Kalsedon yüzeyi depozitlerine ait istatistiksel parametre değerleri.

ŞEKİLLER	ÖRNEKLER	BOYUTU	KAPLAMA ORANI (% ϕ)	KRİTİK ÜS (γ)	REGRESYON SABİTİ (R^2)	FRAKTAL BOYU (D_1)	FRAKTAL BOYU (D_2)*	PARÇACIK BOYUTU (δ)
A	A-1	29X29	34,126	0,709 \pm 1,108	1,00000	1,709 \pm 1,108	1,420 \pm 0,105	95,667
	A-2	50X50	24,280	0,790 \pm 0,051	0,98336	1,790 \pm 0,051	1,496 \pm 0,035	101,167
	A-3	55X55	24,463	0,743 \pm 0,027	0,98687	1,743 \pm 0,027	1,584 \pm 0,037	61,667
	A-4	74X74	28,269	0,633 \pm 0,000	1,00000	1,633 \pm 0,000	1,714 \pm 0,025	774,000
	A-5	78X78	38,609	0,728 \pm 0,022	0,99352	1,728 \pm 0,022	1,632 \pm 0,040	261,000
	A-6	87X87	43,401	0,681 \pm 0,011	0,99899	1,681 \pm 0,011	1,603 \pm 0,046	547,500
	A-7	105X105	39,574	0,647 \pm 0,008	0,99911	1,647 \pm 0,008	1,679 \pm 0,044	545,375
	A-8	105X105	26,685	0,687 \pm 0,018	0,99271	1,687 \pm 0,018	1,566 \pm 0,038	226,308
	A-9	150X150	59,662	0,705 \pm 0,010	0,98437	1,705 \pm 0,010	1,761 \pm 0,016	165,728
	A-10	200X200	39,597	0,687 \pm 0,011	0,99188	1,687 \pm 0,011	1,783 \pm 0,007	452,543
	A-11	210X210	4,086	0,734 \pm 0,021	0,98134	1,734 \pm 0,021	1,419 \pm 0,015	69,308
	A-12	212X212	30,939	0,720 \pm 0,007	0,98607	1,720 \pm 0,007	1,669 \pm 0,010	100,761
	A-13	267X267	41,865	0,707 \pm 0,006	0,98461	1,707 \pm 0,006	1,795 \pm 0,013	154,637

Numune yüzeyi mangan dendrit yapıları, kristalimsi yapılanmaları yüzey anizotropisinin büyüme sürecinde etkin olduğu ve bazılarının sıralı fraktal özellikli yapılarıdır. Genel olarak normalin aksine, sözde rastgele dendrit fraktallar, büyüme ortamında oluşturulan sıvı yapının kristal anizotropiye etkin olduğu durumlarda gerçekleşir ve modellenilebilir. Bu nedenle, rastgele mangan dendritlerin oluşumu için bir gereklilik, faz geçişi kinetiğinin, desen oluşumunun kinetiğinden daha baskın koşulda olması gerekir. Böylece, sediment sıvı içinde mangan oksit veya demir oksitin çökelme işleminin dengeden uzak koşullarda meydana gelen oldukça geri döndürülemez bir süreç olması gerekir. Bu düşünceden, oluşan çökelimin düşük kristallikte bir yapılanma olması gerektiği beklenir. Ancak yapıyı tanımlamak için öngörülen tüm büyüme modellerin kristal yapıdan türetilen herhangi bir geometrik ilişkilerden bağımsız olması öngörülebilir. Yine de final durumunda doğal katı mangan dendritin ölçekleme ve fraktal uygulamaları yüzey gözenekliğini belirlemede yardımcı olabilir. Gözlemsel gerçekler pratikte mangan oksitin çökelme ve difüzyon ile katılma sınırlarını içerisinde rastgele fraktallar grubuna aittir. Sistemik terminoloji ve analoginin ötesinde, bu ayrım onların morfogenetik mekanizmalarını tanımlamak için bir modelini oluşturmada önemli olabilir. Makroskobik gözlemsel olgulara göre, mangan dendritleri tarafından görüntülenen modellerden bazıları, Laplace denkleminde türetilen bu modellerin tipik olan görsel bir görünüme ve fraktal bir boyuta sahiptir. Bugün birçok kimyasal ve fiziksel bazı olgularda Laplacian büyüme süreci olarak tanımlanır. Ancak bunlardan sadece ikisi mangan dendritlerinin oluşumu desenin üretir ve fraktal boyut değerlerinin doğal yapılarda karşılığı vardır [3,13,17]. Bu tez çalışmasında da Tablo 4.1’de ve Tablo 4.2’de gösterildiği gibi fraktal boyut değerleri elde edilmektedir. Bunlardan ilki; fraktal boyutu $D = 1,7$ civarında olan iki boyutlu nesnel kümeleşmeye yol açan süreçler, DLA modeli olarak adlandırılan oluşum fazının difüzyon kontrolü tarafından yönetilen geri döndürülemez büyüme süreçleridir [31,35]. İkincisi, daha az viskoz sıvının daha viskoz ve Newtonian olmayan bir sıvıyı işgal etmesi durumunda DLA tipi desenler ürettiği bilinen viskoz parmaklar (VF) işlemidir [3,38,40]. Doğal eş oluşumu istatistik fiziğin en önemli bulgularından birinin hem DLA hem de VF'nin aynı fraktal boyutu göstermesi ve aynı formal denklemlerle tanımlanabilmesi olmasına rağmen (Daccord ve diğerleri 1986, Paterson 1984), olgusal bir bakış açısından, DLA ve VF'nin açıkça farklı olduğuna dikkat etmek önemlidir [41-42]. Buna göre piroluzit dendritlerin kökenini ortaya çıkarmak, bu büyüme olgularından birinin seçimine indirgenmesi gerektiği önerilir [44,45]. Yukarıdaki tartışma, Garzia-Ruiz ve arkadaşlarına göre sıvı yapılarının mineralizasyonuna dayalı olarak mangan dendritlerinin oluşumu için genetik bir mekanizmaya işaret etmektedir. Bu

akışkan yapılar, tortul süreksizliklerin istilası sırasında veya genel olarak, çatlaklardan yükselen bir akışkan tarafından düşük tutunma yüzeylerinde meydana gelir. Çatlaklar (veya tortul laminasyonlar), Mn^{2+} ve Fe^{2+} için kanallardır ve bunlarla bağlantılı düşük kohezyonlu yüzeyler, çoğu durumda desen oluşumu için lokus olan dar boşlukların gelişmesine izin verir. Bu nedenle, aralarında bir boşluk bulunan yarı paralel yüzeylerdeki kaba geçirimsiz çiftlerin varlığının, doğal Hele Shaw hücrelerinin oluşumuna yol açtığını düşünmek mantıklıdır [7,24,46].

Mangan dendritleri Mn^{2+} ve Fe^{2+} 'nın en sezgisel oluşum mekanizmasının temel kaynağı, gözenek ve çatlaklar yoluyla zenginleştirilmiş çökeltme çözümler dizisi olarak belirlenebilir. Bununla birlikte, Garzia-Ruiz ve arkadaşları böyle bir "dış" kaynağın yokluğunda bile, manganez ve demir çözeltileri için harici bir kaynağın varlığının desteklenmesinin zor olduğu bu jeolojik senaryoları açıklayabilecek, kendi kendini besleyen bir sistem kullanan bir genetik model önermişlerdir [3,24,47]. Deneysel çalışmaları erken diyajenez sırasında kırılma ve sıkışma geçiren tortul bir malzemeden başlıyor. Enjekte edilecek ana kaya kütlelerinin en azından kısmen çimentolu olması ve bazı tabakalanma süreksizliklerini koruması gerekir. Ayrıca, enjekte edilen sıvı daha yüksek bir viskozitenin yerini almalıdır. Bu nedenle, bir kolloidal süspansiyon olduğunda, diyajenez sırasında desen oluşumu oluşturmaları hipotezinde yola çıkarak, çalışma sonunda oluşum mekanizması ile ilgili özetle; tortul malzemelerin ara katmanları ve boşlukları sedimet sıvı ile doldurulduğunu belirlediler. Bu koşullar altında, Mn^{2+} açısından zengin yükselen bir çözeltinin, kolloidal bir süspansiyon içeren pürüzlü yüzeylere sahip doğal bir Hele Shaw hücresine eklemeleri sonucunda, fraktal boyut değeri yaklaşık 1,70 olan dendritik deseni ve süzülme deseninin 1,82 değerli ara deseni üretmişlerdir. Boşluğun genişliği ve kalınlığı, yüzeylerin pürüzlülüğü, katkılanan sıvısının basıncı ve itilen sıvının viskozitesi, saha çalışmalarında gözlemlenen çok çeşitli dendritik ve dendritik olmayan kalıpları kontrol eden ve uygulama aralığını genişleten parametreler olarak belirlenebilir [46,47].

Böylece olası fraktal boyut değerleri gerçekleşmesi için aynı anda birbirini destekleyen mekanizmaların geçerli olması beklenebilir. Bunlar sırası ile indirgenen maddelerin gözenek içi difüzyonunu engelleyen ana kayaçların içi etkileşimlerinin azalmasıdır. Bu süreç genellikle sıcaklık etkisi ile kolloidal sıvının buharlaşması esnasında sıvı içi metallerin çökmesi ile gerçekleşir. Diğer yaklaşım ise kolloidal mangan oksit ve demir oksitlerin oluşumu ile mangan dendrit oluşum sürecinin sonlanması sonucunda katı fazın oluşması ve

oluşum süreci ortamındaki etkin fiziksel ve kimyasal koşulların tükenmesi olarak belirlenebilir [45-47].

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında numune yüzeyi mangan dendritine ait YPY %4,086 ile %71,840 aralığında, fraktal boyut değerleri hem çevre-alan ilişkisine ait hem de kutu-sayma yöntemi seçilen yüzeye göre değişim göstermektedir. Çevre-alan ilişkisine ait kritik üs değerleri 0,627 ile 0,790 aralığında ve bunlara ait fraktal boyut değerleri 1,627 ile 1,790 ve kutu-sayma yöntemine göre ise 1,380 ile 1,850 aralığında değişim göstermektedir. Yüzeylerdeki mangan dentrileri YPY, fraktal boyut değerlerinin değişimi düzensiz olup yalnızca seçilen örgü yüzey boyutu, içerisindeki dendrit sayısı ve dendrit büyüklüğü ile orantılı olduğu gözlenmiştir.

Kalsedon numune yüzeyleri ikincil mangan dendritlerine ait istatistiksel hesaplamalar, kapalı kare örgü kullanılarak uygulanmıştır. Örgü yüzeyindeki görüntülerde bulunan mangan dentritlerini oluşturan parçacıklar görüntü ekranında depoziti oluşturan parçacık yoğunluğunun her biri kare piksel boyutludur. Mangan dentritlerinin dağılımı rastgeledir. Ancak oluşuma göre sistematığı alt tabaka yüzeysel oluşumu belirlemektedir. Depozitlerin bazıları birbirlerinden bağımsız olduğu, diğer bazılarının birbiri ile bağlantılı olduğu gözlenmiştir. Depozit dağılımı rasgele olup en az olan ve en yoğun olan bölgeler tercihiyle yüzeyin herhangi bir bölgesi referans alınarak seçilmiştir.

Mangan dentritleri, mangan oksit ve demir oksidin hidrotermal sıvı içinde indirgenerek küme oluşturmaktadır. Kümeler rastgele dağılımlıdır. Büyüklüklerin oluştuğu Kalsedon yüzeyi gözenekli bir yapıdadır. Termal etki ile sıvının buharlaşması, içerisindeki maddelerin çökmesi ile gerçekleşmektedir. Kümelerin büyüklükleri ve konumları birbirinden farklıdır. Ölçekleme hesaplamalarında YPY ve fraktal boyut değerlerinin değişimi için sistematik bir kurala ulaşılmamıştır. Ancak bu değişim aralığı belirlenmiş ve varyasyon ile tanımlanmıştır. Benzer şekilde çevre-alan ilişkisine ait sistematik bir değişim gözlemlenmemiştir. Ancak çevre-alan ilişkisine ait evreselliği belirleyen kritik üs aralığı belirlenmiştir. Küme büyüklüğü, buldukları yüzeye göre değişim göstermektedir. Bu durum oluşum yüzeyleri yapısının anizotropik olduğunu göstermektedir.

Kümelerin katlanıp desen oluşturması standart bilinen fiziksel bir faz geçişi olmayıp süreç içerisinde difüzyon ve çökme ile morfolojik faz geçişini temsil etmektedir.

Ayrıca küme grupları için YPY'nın fraktal boyut arasındaki ilişki incelenmiştir. Seçilen kapalı kare örgü içindeki küme sayısını ve küme büyüklüğü değiştiğinde öngörülebilir bir değişim gözlenmemiştir.

Bu tez çalışmasının benzer morfolojik değişimleri tanımlamada metot kullanımında araştırmacılara yardımcı olabilir.

6. KAYNAKLAR (IEEE)

- [1] A. L. Barbarasi and H. E. Stanley, "*Fractal Concepts in Surface Growth*".: Cambridge University Press, 1995.
- [2] D.L Turcotte, "Fractals in Geology and Geophysics," in *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, New York, 2009.
- [3] T. Vicsek, "Fractal growth phenomena," *World scientific*, 1992.
- [4] D., & Schubert, G. Turcotte, *Geodynamics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- [5] P.M. Iannaccone and Khokha M., *Fractal geometry in biological systems: an analytical approach*.: CRC Press, 1996.
- [6] M. Benoit, "*The fractal geometry of nature.*", 1983.
- [7] J.M. García-Ruiz and F. Otálora, "1 - Crystal Growth in Geology: Patterns on the Rocks," in *In Handbook of Crystal Growth, Handbook of Crystal Growth (Second Edition)*, P. Rudolph, Ed.: Elsevier, 2015, pp. 1-43.
- [8] P. Pfeifer, "Fractals in surface science: scattering and thermodynamics of adsorbed films," in *Chemistry and Physics of Solid Surfaces VII*, Berlin, 1988.
- [9] E. Milanese, "Emergence of self-affine surfaces during adhesive wear," in *Nature communications 10.1*, 2019.
- [10] C. Zhai, H.D. Dorian, and Y. Gan, "Contact stiffness of multiscale surfaces by truncation analysis," *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 131–132, pp. 305-316, 2017.
- [11] M.H. Doğan, "Doğal polimorfoloji yapıların ölçekleme yöntemi işe incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi," *BAÜN Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2019.
- [12] Z. Chongpu, "Stress-dependent electrical contact resistance at fractal rough surfaces," *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 143, no. 3, 2017.
- [13] P. Meakin, "*Fractals, Scaling and Growth Far From Equilibrium.*" Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- [14] F. Schoedler, "*Element of geology and mineralogy.*" London: Joseph Griffin and Co.56.

- [15] Xu H., Chen T., and Konishi H., "HRTEM investigation of trilling todorokite and nano-phase Mn-oxides in manganese dendrites," *American Mineralogist*, vol. 95, no. 556, 2010.
- [16] T.F. Ng and G.H. Teh, "Fractal and shape analyses of manganese dendrites on vein quartz," *Geological Society of Malaysia, Bulletin*, vol. 55, pp. 73-79, 2009.
- [17] T. Ozbey and M. Bayirli, "A numerical study for the relationship between natural manganese dendrites and dla patterns," *Z. Naturforsch*, vol. 71, no. 3, pp. 225–234, 2016.
- [18] W.G. Hanan and D.M. Heffernan, "Multifractal analysis of the branch structure of diffusion-limited aggregates," *Phys. Rev. E*, vol. 85, no. 2, 2012.
- [19] E.M. Schlueter, R.W. Zimmerman, and P.A. Witherspoon, "The fractal dimension of pores in sedimentary rocks and its influence on permeability," *Engineering Geology*, vol. 48, pp. 199-215, 1997.
- [20] R. Zuo, F.P. Agterberg, Q. Cheng, and L. Yao, "Fractal characterization of the spatial distribution of geological point processes," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 11, pp. 394–402, 2009.
- [21] B.B. Mandelbrot and J.R. Wallis, "Some long-run properties of geophysical records," *Water Resources Res.*, vol. 5, pp. 321-340, 1969.
- [22] A.D. Fowler and D.E. Roech, "A model and simulation of branching mineral growth from cooling contacts and glasses," *Mineralogical Magazine*, vol. 60, pp. 595-601, 1996.
- [23] P.M. Russell and R.G. Rossman, "Min. of Man. Den. and Coa.," *American Min*, vol. 64, no. 1219, 1979.
- [24] J.M. García-Ruiz, F. Otálora, A. Sanchez-Navas, and F. Higes-Rolando, "The formation of manganese dendrites as the material record of flow structures," in *Fractals and Dynamics Systems in Geosciences*, 1994, pp. 307-318.
- [25] B.H. Chopard, H.J. Herrmann, and T. Vicsek, "Structure and Growth Mechanism of Mineral Dendrites," *Nature*, vol. 353, 1991.
- [26] M. Bayirli, "Numerical approaches of cluster statistics for stochastic manganese deposits," *Z. Naturforsch*, vol. 69a, no. 581, 2014.
- [27] K. Wiesenfeld, "Scaling laws," *Am. J. Phys.*, vol. 69, no. 938, 2001.

- [28] R. Tapramaz, *Sayısal Çözümleme*. İstanbul: Literatür Yayıncılık, 2002.
- [29] C.A Schneider, S.R. Wayne, and W.E. Kevin, "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis," *Nature methods*, vol. 9, no. 7, pp. 671-675, 2012.
- [30] D. Stauffer, "Scaling theory of percolation clusters," *Physics Reports*, vol. 54, pp. 1-74, 1974.
- [31] T.A. Witten and L.M. Sander, "Diffusion limited aggregation," *Phys. Rev. B.*, vol. 5686, 1983.
- [32] B.B. Mandelbrot, *The fractal geometry of nature*. New York: Freeman, 1983.
- [33] B.B. Mandelbrot, D.E. Passage, and A.J. Paullay, "Fractal character of fracture surfaces of metals," *Nature*, vol. 308, no. 721, 1984.
- [34] M. Eden, "In Proceedings of the Fourth Berkeley," in *Symposium on mathematical statistics and probability*, vol. 4, Berkeley, 1999.
- [35] T.A. Witten and L.M. Sander, "Diffusion limited aggregation, a kinetic critical phenomenon," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 47, no. 1403, 1981.
- [36] R. Askeland Donald, P. Fulay Pradeep, and J. Wright Wendelin, *The Science and Engineering of Materials*, Sixth Edition ed. Stamford: Cengage Learning, 2010.
- [37] W.D. Callister and G.R. David, *Materials science and engineering: an introduction*. New York: Wiley, 2018, vol. 9.
- [38] W.S. Rasband. (1997-2008) ImageJ. [Online]. <https://imagej.nih.gov/ij/>
- [39] Orign Lab. Orign Pro. [Online]. <https://www.originlab.com/demodownload.aspx>
- [40] [Online]. <https://tr.akpedia.com/Kalsedon>
- [41] H. Van Damme, "Flow and intencial instabilities in newtonian and colloidal fluids," in *The Fractal Approach to Heterogeneous Chemistry*, D. Avnir, Ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1989, pp. 199-226.
- [42] D. Seekell, M.L. Pace, L.J. Tranvik, and C. Verpoorter, "A fractal-based approach to lake size-distributions," *Geophysical Research Letters*, vol. 40, no. 3, pp. 517–521, 2013.
- [43] G. Daccord, J. Nittmann, and H.E. Stanley, "Radial viscous fingers and diffusion limited aggregation: Fractal dimension and growth sites," *Phys Rev Lett*, vol. 56, pp. 336-339, 1986.

- [44] L. Paterson, "Diffusion limited aggregation and two fluid displacements in porous media," *Phys Rev Lett*, vol. 52, pp. 1621-1624, 1984.
- [45] D.R. Schmitt, "Geophysical Properties of the Near Surface Earth: Seismic Properties,".
- [46] M.I. Ozhovan, I.E. Dmitriev, and O.G. Batyukhnova, "Fractal structure of pores of clay soil," *Atomic Energy*, vol. 74, pp. 241–243, 1993.
- [47] B.M. Hynek, M. Beach, and M.R.T. Hoke, "Updated global map of Martian valley networks and implications for climate and hydrologic processes," *Journal of Geophysical Research*, vol. 115, no. E09008, 2010.
- [48] Nuray Gedik, "Tsunami tırmanma yüksekliği," *Ocean engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 1-15, 2005.
- [49] Khokha Iannaccone, *Fractal Geometry in Biological Systems.*, 1996.
- [50] B.B. Mandelbrot, *The fractal geometry of nature*. New York: Freeman, 1983.
- [51] L. Wan, D. Xie, and X. Hu, "Study of local mineralized intensity using rescaled range analysis and lacunarity analysis," *Journal of Engineering and Technologies Review*, vol. 6, no. 2, pp. 105-109, 2013.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mehmet KIRAY

Doğum tarihi ve yeri : 25/04/1978-Kepsut

e-posta : mehmetkray@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/OFMA Fizik Eğitimi	2004
Lisans	Osmangazi. Üniversitesi/Fen-Edebiyat Fakültesi	2001
Lise	Balıkesir Ticaret Odası Lisesi	1997