

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TUVALET KAĞITLARININ PARÇALANMASININ MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cemile DEDE

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Fatih KARADAĞLI

Haziran 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

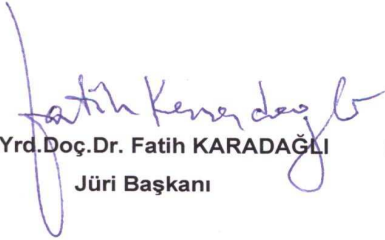
**TUVALET KAĞITLARININ PARÇALANMASININ
MODELLENMESİ**

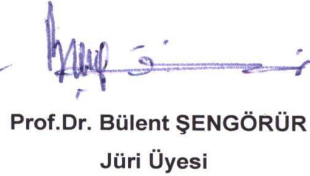
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cemile DEDE

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 11 / 06 / 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd.Doç.Dr. Fatih KARADAĞLI
Jüri Başkanı


Prof.Dr. Bülent ŞENGÖRÜR
Jüri Üyesi


Prof.Dr. Lütfi SALTABAŞ
Jüri Üyesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bana başından sonuna kadar yardımcı olan, ilgi ve desteğini hiç eksiltmeyen, yardımcı ve yol gösterici olan, engin bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Fatih KARADAĞLI başta olmak üzere, laboratuvar analizleri aşamasında destek ve yardımlarda bulunan tüm değerli arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Benim bu aşamaya gelmemde en çok emeği geçen, her zaman maddi ve manevi desteklerini arkamda hissettiğim başta annem ve babam Hatice-Ali DEDE olmak üzere tüm aileme en içten saygı, sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Cemile DEDE

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii

BÖLÜM 1.

TEZİN AMACI VE KAPSAM	1
-----------------------------	---

BÖLÜM 2.

KONUNUN BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK UYGULAMADAKİ YERİ	3
2.1. Tuvalet Kağıtlarının Yapısı	3
2.2. Tuvalet Kağıtlarıyla İlgili Yapılan Çalışmalar	6
2.3. Reaktörler ve Kimyasal Reaksiyonlar	9
2.3.1. Kesikli reaktörler	11
2.3.2. Sürekli akımlı reaktörler	12
2.3.3. Piston akımlı reaktörler	12
2.3.4. Tam karışımli reaktörler	12
2.3.5. Gerçek akımlı reaktörler	12
2.3.6. Paket yataklı reaktörler	12
2.3.7. Akışkan yataklı reaktörler	13
2.4. Reaksiyon Kinetiği	13
2.4.1. Sıfırıncı dereceden reaksiyonlar	13
2.4.2. Birinci dereceden reaksiyonlar	14

2.4.3. İkinci dereceden reaksiyonlar	14
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE METOT	15
3.1. Atık Tuvalet Kağıtlarının Parçalanma Mekanizmalarının Tanımlanması	15
3.2. Fiziksel Parçalanma Üzerine Geliştirilen Teorik Hipotez	16
3.3. Fiziksel Parçalanma Teorisi Üzerine Kurulan Matematiksel Model ve Kesikli Reaktörde Uygulaması	19
3.4. Fiziksel Parçalanma Teorisinin ve Matematiksel Modelin Deneysel Çalışmalarla Test Edilmesi	20
3.4.1. Matematiksel modelleme	20
3.4.2. Deneysel çalışmalar	22
BÖLÜM 4.	
BULGULAR VE TARTIŞMA	27
4.1. A Ürününde Deneysel Veriler ve Modelin Karşılaştırılması	27
4.1.1. A Ürününde 130 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması	27
4.1.2. A Ürününde 160 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması	32
4.1.3. A Ürününde 200 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması	37
4.1.4. A Ürününde 230 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması	41
4.2. B Ürününde Deneysel Veriler ve Modelin Karşılaştırılması	46
4.2.1. B Ürününde 130 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması	46
4.2.2. B Ürününde 160 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması	51
4.2.3. B Ürününde 200 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması	56

4.2.4. B Ürününde 230 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması	61
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	71

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

g	Gram
m ²	Metrekare
KOİ _t	Toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/l)
NH ₃ -N	Amonyak azotu
NO ₃ -N	Nitrat azotu
PO ₄ -P	Fosfat fosforu
Re	Reynolds sayısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Kullanım amaçlarına göre temizlik kağıtları	4
Şekil 2.2.	Tuvalet Kağıdı	5
Şekil 2.3.	Reaktör tiplerinin şematik diyagramları	10
Şekil 3.1.	Atık bir tuvalet kağıdının fiziksel parçalanmaya uğraması ve küçük parçacıklar oluşturması	16
Şekil 3.2.	Fiziksel parçalanma deneylerinin gerçekleştirildiği deney seti	22
Şekil 3.3.	Karıştırıcıdaki tuvalet kağıtları	23
Şekil 3.4.	Fiziksel parçalanma teorisinin kesikli reaktörde test edilmesi sırasında kullanılan elek düzeneği	24
Şekil 3.5.	Elek düzeneğinde kullanılan elekler	25
Şekil 3.6.	Toplanan suların filtre kağıdından vakumla süzme işlemi	25
Şekil 4.1.	A ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri	29
Şekil 4.2.	A ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri	35
Şekil 4.3.	A ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri	39
Şekil 4.4.	A ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri	44
Şekil 4.5.	B ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri	49

Şekil 4.6.	B ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri	54
Şekil 4.7.	B ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri	59
Şekil 4.8.	B ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri	63

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Tuvalet kağıdı kullanım miktarları	7
Tablo 2.2.	Tuvalet Kağıtlarının Kirlilik Potansiyeli (mg/yaprak).....	7
Tablo 2.3.	Her kullanım tipinin günlük deşarj hacim ve kirlilik yüküne katkısı (toplam hacimdeki % ya da her 100 kişi için kütle).....	8
Tablo 3.1.	Dağılım katsayıları	21
Tablo 3.2.	Karıştırma hızlarına ait Reynold sayıları	26
Tablo 4.1.	A ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri.....	28
Tablo 4.2.	A ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri	28
Tablo 4.3.	A ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f)	29
Tablo 4.4.	A ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri.....	32
Tablo 4.5.	A ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri	33
Tablo 4.6.	A ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f).....	34

Tablo 4.7.	A ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri	37
Tablo 4.8.	A ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri	37
Tablo 4.9.	A ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f).....	38
Tablo 4.10.	A ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri.....	41
Tablo 4.11.	A ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri	42
Tablo 4.12.	A ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f).....	42
Tablo 4.13.	B ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri.....	46
Tablo 4.14.	B ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri	47
Tablo 4.15.	B ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f).....	47
Tablo 4.16.	B ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri.....	51

Tablo 4.17.	B ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri	52
Tablo 4.18.	B ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f).....	52
Tablo 4.19.	B ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri	57
Tablo 4.20.	B ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri	57
Tablo 4.21.	B ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f).....	58
Tablo 4.22.	B ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri	62
Tablo 4.23.	B ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri	62
Tablo 4.24.	B ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f).....	63

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Tuvalet kağıtları, parçalanma, matematiksel modelleme, kesikli reaktör

Binalarda kullanılan atık su tasfiye boruları sadece atık su miktarı dikkate alınarak dizayn edilmektedir. Bu durumda evsel atık sularla birlikte gelen tuvalet kağıtları ihmal edilmekte ve tıkanmalar meydana gelmektedir. Tıkanmalar insanların sağlık ve mutluluğunu tehdit ederek belirli bir maliyeti de beraberinde getirmektedirler. Ülke çapında, belediyeler kanalizasyonlardaki tıkanmaların giderimi için önemli harcamalar yapmaktadırlar. Tıkanma problemlerinin çözümündeki ana nokta; binalardaki pis su hatlarının tuvalet kağıtlarını taşıyacak şekilde tasarlanmasıdır.

Tuvalet kağıtları kanalizasyon sistemine atıldıktan sonra sudaki türbülansa ve kağıdın yapısal özelliklerine bağlı olarak fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik olarak parçalanmaya uğrarlar. Tıkanmalar açısından en önemli mekanizma fiziksel parçalanmadır. Çünkü bu proses kağıtların küçük parçalara ayrılmasında ve taşınımında en büyük rolü üstlenmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı; tıkanmalara neden olan tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanmasını deneysel ve matematiksel modelleme yoluyla araştırmaktır.

Bu çalışmada fiziksel parçalanma için teorik yaklaşımlar ve matematiksel model geliştirilmiş, fiziksel parçalanma teorisi ve matematiksel model kesikli reaktörde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarla test edilmiştir. Deneysel çalışmalarda iki farklı markaya ait tuvalet kağıtları kullanılmış ve sırasıyla 130 devir/dakika, 160 devir/dakika, 200 devir/dakika ve 230 devir/dakika olmak üzere dört farklı karıştırma hızındaki parçalanmaları incelenmiştir. Belirli zaman aralıklarında karıştırıcıdan alınan örnekler farklı gözenek boyutlarına sahip elek düzeneğinden geçirilerek oluşan parçacıkların boyut dağılımları belirlenmiştir.

Fiziksel parçalanma teorisinin testi için kesikli reaktörde gerçekleştirilen deneysel verilerin ve modelleme tahminlerinin karşılaştırılması sonucunda fiziksel parçalanma teorisinin doğru bir yaklaşım olduğu görülmüştür.

MODELING OF DISINTEGRATION OF TOILET PAPERS

SUMMARY

Key Words: Toilet papers, disintegration, mathematical modeling, batch reactor

Sewer design equations overlook solids like toilet papers, which cause clogging problems in sewerage channels. Such problems create risk for human health, and increase maintenance costs of the municipalities. The main point to solve the clogging problem is to design the building drainage systems considering the waste toilet papers.

Toilet papers may undergo three processes after discharge to sewerage systems: (1) Physical disintegration of solids due to turbulent forces, (2) Hydrolysis of solids to form soluble components, and (3) Biodegradation of the soluble components. Among these mechanisms, physical disintegration is the most important one, because toilet papers disintegrate into small pieces through this process.

In this study physical disintegration of toilet papers which cause clogging problems have been researched by mathematical modeling.

It was developed a theoretical approach for physical disintegration of toilet papers. An equation and a mathematical model for physical disintegration are developed. The model is tested with experiments that are conducted in a batch reactor. To different types of toilet papers were used at experiments. Samples were rotated at 130 rpm, 160 rpm, 200 rpm and 230 rpm rotation speed respectively. During sampling, constituents of the reactor are passed through standard sieves to determine the size distribution of paper chips in water.

The results show that the experimental methodology and the model are able to identify disintegration kinetics for physical disintegration.

BÖLÜM 1. TEZİN AMACI VE KAPSAM

Kişisel temizlik ihtiyaçlarının ve hijyene verilen önemin artması bu alanda üretilen ürünlere olan talebi de artırmıştır. Bu ürünlerin başında gelen tuvalet kağıtlarının dünyada ve ülkemizde üretim ve kullanım miktarlarının önemli ölçüde artması, tuvalet kağıtlarının kullanım sonrası ortaya çıkardığı bertaraf sorunların göz önünde bulundurulması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Kullanılmış tuvalet kağıtları, tuvaletlerde bulunan çöp kovalarına atıldıklarında koku ve hijyen sorunlarına yol açarken, tuvalete atıldığında ise atık su borularında tıkanmaya neden olmaktadır.

Binalarda kullanılan atık su tasfiye boruları ve bu boruların bağlandığı kanalizasyon şebekeleri genellikle sadece atık su miktarları dikkate alınarak dizayn edilirler. Oysa bu borulara atık su ile birlikte önemli miktarda tuvalet kağıdı da gelmekte ve tıkanmalara yol açmaktadır. Ülke çapında, atık su tasfiye borularında ve kanalizasyonlardaki tıkanmaların giderimi için belediyeler önemli miktarda harcamalar yapmaktadırlar. Ayrıca bu tıkanmalar neticesinde atık su evlere veya caddelere girebilmekte ve bu durum ortaya çıkan maliyeti önemli ölçüde artırdığı gibi atık suyun içerdiği patojen mikroorganizmalar da insan sağlığını tehdit etmektedir.

Atık kağıtların borularda yol açtığı tıkanma genellikle borudaki su akımının ve boru eğiminin yetersiz olduğu yerlerde, kağıtların birikmesi sonucunda meydana gelmektedir. Genel olarak atık su tesisatlarının yapımında kullanılan ve bu tip tıkanmaları önleyebilecek bir standardizasyon bulunmamakta, hatta çoğu zaman sadece dayanıklılığı dikkate alınıp, su akımına gerekli önem verilmemektedir. Bununla birlikte inşaatların denetlenmesi sırasında beton, demir, elektrik ve doğalgaz tesisatı gibi ana öğeler teftiş edilirken, atık su tesisatları ihmal edilmekte ve böylece kanalizasyon sistemlerindeki tıkanmalar için zemin hazırlanmaktadır.

Atık su boruları, borulardan geçen suyun hızı, hidrolik eğim ve boruların pürüzlülüğü gibi parametreler göz önünde bulundurulup ve Manning ve Chezy gibi denklemler kullanılarak dizayn edilmektedir. Ayrıca bu denklemler doğal sular kullanılarak yapılan deneyler sonucunda elde edilmiş denklemlerdir. Oysa ki evlerden gelen atık suların karakterleri doğal sulardan farklıdır ve atık suların içerisinde atık tuvalet kağıtları gibi çeşitli maddeler de bulunmaktadır. Atık suyun özellikleri ve atık suda bulunan tuvalet kağıtları dikkate alınmadan yapılan boru tasarımlarında su akımı ve eğim yetersiz olabilmekte ve borularda tıkanmalar görülebilmektedir.

Tıkanma problemlerinin çözümündeki ana nokta; binalardaki pis su hatlarının tuvalet kağıtlarını taşıyacak şekilde tasarlanmasıdır. Mevcut durumda, bu tasarımın yapılabilmesi için herhangi bir metod veya ölçüt bulunmamakta olup, bu problemin giderilmesine ve uygun metod ve ölçütlerin geliştirilmesine katkı sağlamak için yapılan bu tez çalışmasının amacı;

- Tıkanmalara neden olan tuvalet kağıtlarının parçalanmasını matematiksel modelleme yoluyla araştırmak,
- Atık su borularında tuvalet kağıtlarından kaynaklanan tıkanma problemlerine bilimsel bir yaklaşım oluşturmak,
- Tıkanma problemine yol açmayacak tuvalet kağıtları üretim çalışmalarına katkıda bulunmak,
- Atık su borularının günümüz ihtiyaçlarına uygun şekilde dizayn edilebilmeleri için ölçütler geliştirilmesine yardımcı olmak, olarak belirlenmiştir.

BÖLÜM 2. KONUNUN BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK UYGULAMADAKİ YERİ

2.1. Tuvalet Kağıtlarının Yapısı

Kağıt; lifsel yapılı hammaddelerin kesme, saçaklandırma, su emdirme, kurutma gibi işlemler sonucunda hidrojen bağları oluşumuyla düzgün bir tabaka haline dönüştürülmüş şeklidir [1].

Kağıt yapımında kullanılan temel hammadde bir çok bitkide lif halinde bulunan "selüloz"dur. Selüloz bir karbonhidrat olup, bitki hücrelerinin duvar dokularının ana kısmını teşkil eder.

Kağıt hammaddesi olarak kullanılan selüloz kaynaklarını;

- Saman, mısır sapı, pamuk sapı, şeker kamışı, pamuk, keten, kenevir ve benzeri yıllık bitki sapsarı,
- Çam, köknar, ladin, okaliptus, kavak gibi ağaç türleri,
- Eski kağıtlar oluşturmaktadır [2].

Yaklaşık olarak 3.000 farklı kağıt ve karton ürünü vardır. 225 g/m² ye kadar olan ürünler kağıt, bu gramajın üstündeki ürünler ise karton olarak adlandırılır.

Kullanım şekline göre kağıt ve karton cinsleri ;

- Grafik kağıtlar
- Ambalaj kağıtları ve kartonlar
- Temizlik kağıtları
- Özel kağıt ve kartonlar olmak üzere dört ana gruba ayrılır [3].

Tuvalet kağıtlarının da içinde bulunduğu temizlik kağıtları; selüloz ve atık kağıttan, az miktarda odun hamuru içeren düşük gramajlı kağıtlardır. Düşük gramajından dolayı temizlik kağıtları, bir kaç tabakalı olacak şekilde üretilir. Tuvalet kağıtlarının yapısına koku maddeleri, kabartmalar ve boya maddeleri ilave edilebilir.

Temizlik kağıtları % 100 atık kağıt ile % 100 selüloza kadar değişen hammadde aralığında elde edilmekte olup, beyazlık talebi nedeniyle maksimum selüloz kullanımına doğru yönelmektedir [2].



Şekil 2. 1. Kullanım amaçlarına göre temizlik kağıtları

Bir kağıdın özelliklerini belirleyen en önemli unsur, lif yapısıdır. Çam, köknar, ladin, kavak gibi yumuşak ağaçlar uzun liflere sahiptir. Bu ağaçlardan üretilen kağıtlar oldukça dayanıklıdır. Kayın, gürgen, akça ağaç, kara ağaç, dişbudak ve meşe gibi sert ağaçların lifleri ise genellikle kısadır. Bu ağaçlardan kalın ve kaba dokulu kağıtlar üretilir. Paçavra lifleri, ağaç liflerine göre daha uzun, güçlü ve homojendir. Bu liflerden üretilen kağıtlar daha beyaz renkte ve dayanıklıdır. Birçok kağıt, çeşitli ağaç liflerinin karışımıyla ya da paçavra ve ağaç liflerinin bir araya getirilmesiyle üretilmektedir.

Tuvalet kağıtları genellikle yumuşak odunlu ağaçlarla sert odunlu ağaçların karışımından elde edilen kağıttan üretilir. Yumuşak odunlu ağaçlar uzun liflere sahip olmaları nedeniyle kağıda kuvvet verirken, kısa lifli olan sert odunlu ağaçlar ise

kağıdın daha yumuşak olmasını sağlarlar. Tuvalet kağıtları genellikle %70 sert odunlu, %30 yumuşak odunlu ağaçlardan elde edilmektedir.

Tuvalet kağıtları arasındaki en önemli fark ilk kez işlenen selülozdan elde edilmiş kağıttan üretilmeleri ile eski kağıttan geri dönüşüm yoluyla elde edilmiş olmalarıdır [5].



Şekil 2. 2. Tuvalet Kağıdı

Genel olarak hiç kurumamış selüloz liflerinden elde edilmiş kağıtlara göre, atık kağıtlardan yeniden imal edilmiş kağıtlarda, karakteristik olarak kalite düşmektedir. Özellikle direnç özelliklerinde 4. dönüşüme kadar yüksek oranda azalmalar olmaktadır. Bu durumun oluşmasındaki sebepler ise bireysel lif direncinin, uzunluğunun, çözeltiler içindeki şişme özelliğinin değişmesi sonucu selüloz liflerinin aralarındaki hidrojen bağı yapabilme kabiliyetlerinin azalması olarak verilebilir.

Geri dönüşüm sırasında yaş pres ve kurutma hücre duvarlarının çökmesine ve açıklıklarının kapanmasına neden olup, hidrojen bağlarını etkilemektedir. Bu olay “Hornifikasyon” olarak adlandırılmaktadır ve selülozun kristal yapısı artmaktadır. Lifler tekrar ıslatıldığında hücre duvarının çökmesi ve açıklıklarının kapanmasıyla oluşan artan sayıdaki hidrojen bağları nedeniyle boşlukların tekrar açılmasını önleyerek selüloz liflerinin şişmesini engellemektedir. Bu olay lifler arasında oluşacak bağları ve dolayısıyla kağıt direnç özelliklerini etkilemektedir.

Hornifikasyon bağ yapmak için elverişli yüzey alanını azaltmakta ve kağıdın çekme, kopma, patlama, katlama dirençlerini ve yoğunluğunu düşürmektedir [6].

2.2. Tuvalet Kağıtlarıyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Şehirlerdeki içme ve atık su sistemlerinin, gelişmişliğin önemli bir göstergesi haline gelmesi, bu konuda yapılacak çalışmaları zorunluluk haline getirmiş ve yeni çalışmalar başladıkça, konuyla ilgili mevcut bilgi ve kaynakların yetersiz olduğu görülmüştür.

Bu alanda detaylı bir inceleme gerektiren konulardan biri de evlerde ki atık su üretim düzeyleri ve üretilen atık suyun karakterizasyonudur. Bu alanda yapılan çalışmalarda elde edilen bilgiler kirliliğin azaltılması ve arıtım için yeni metotlar geliştirilmesinde son derece yararlı olmaktadır. Ayrıca lağımdaki süreçler üzerindeki çalışmalar, evsel atık su üretiminin azaltılması için farklı önlemlerin alınmasını da kolaylaştıracaktır.

Evsel atık sularda yapılan çalışmaların işaret ettiği önemli bulgulardan biri de, atık suyun içinde barındırdığı temizlik kağıtlarının ve bunların atık su sistemlerindeki davranışlarının atık su arıtım ve bertarafında önemli rol oynadığıdır. Bundan dolayıdır ki temizlik kağıtları ve bu kağıtlardan en çok kullanılanı olan tuvalet kağıtlarının tüketimi ile ilgili araştırmalar önemli sonuçlara ulaşmışlardır.

Friedler ve arkadaşları (1996a), yaptıkları çalışmada tuvalet kağıdının günlük tüketim miktarlarını araştırmışlardır. Bu araştırmada katılımcıların kaldığı konutlarla ilgili bilgi edinmek için çeşitli anketler yapılmış ve yedi ardışık gün boyunca katılımcıların tuvaleti her kullandıklarında, tuvaleti kullanım şekillerini, kullandıkları tuvalet kağıdı miktarını, tuvalete attıkları farklı bir temizlik kağıdı olup olmadığını ve konuyla ilgili ek bir detay olup olmadığını not etmeleri istenmiştir. Günlük çizelgelerde kaydedilen kullanım sıklığı, her on dakikadaki yüzdelik kullanım şeklinde gündelik serilere çevrilmiştir [7]. Bu araştırmanın sonucunda elde edilen veriler Tablo-2. 1'de sunulmuştur.

Tablo 2. 1. Tuvalet kağıdı kullanım miktarları

	İdrar	Feçes	İdrar+Feçes	Diğer	Toplam
Ortalama (yaprak/100kişi/10dakika)	3.87	0.39	3.78	0.06	8.10
Günlük(yaprak/kişi/gün)	5.58	0.56	5.45	0.09	11.68
Toplam%	47.8	4.8	46.7	0.7	100.0

Tek bir ev ya da ev gruplarından gelen atık su akımları farklı cihazların katkılarıyla oluşmaktadır. Tuvalet, çamaşır makinesi, bulaşık mak. gibi bazı aletlerin deşarjları hemen hemen standartken, duş, banyo ve lavabolardan kaynaklanan deşarjlar önemli derecede değişmektedir. Bir aletin bir ya da daha fazla kullanım şekli olabilmesine rağmen, cihazların her bir kullanımını için, kullanım sıklığı ve kullanım şekliyle ilgili deşarj, süre ve kirlilik yükleri tanımlanabilmektedir [8].

Almedia ve arkadaşları (1999), tuvalet kağıtlarının kirlilik yüklerini incelemişlerdir. Araştırmada tuvalet kullanımı neticesinde oluşan atık sularda doğal olarak bulunan maddelerin dışında, tuvalet kağıdı ve hijyenik maddeler bulunmakta ve bunların birbirlerinden ayrı olarak ele alınma imkanının olduğu saptanmıştır. Ayrıca tuvalet dışında kullanılan aletlerden kaynaklanan atık suların tek tip olarak kabul edilebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca atık sulardaki maddelerdeki farklılıkların zamanla ve coğrafi olarak alışkanlıkların değişmesi sonucu evdeki aktivitelerin de değişmesinden etkilendiği belirlenmiştir [8]. Araştırmacıların laboratuvar testleri sonucunda elde ettikleri veriler Tablo 2. 2’de görülmektedir.

Tablo 2. 2. Tuvalet Kağıtlarının Kirlilik Potansiyeli (mg/yaprak)

KOİ _t	NH ₃ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Toplam Katı	Çözünmüş Katı	Toplam Askıda Katı	Uçucu Askıda Katı
706	0	0.06	0	578	32.5	546	526

Almedia ve arkadaşları (1999), aynı zamanda tuvaletin her bir kullanım tipinin günlük toplam deşarj hacim ve yüklerine katkılarını da Tablo 2. 3.'de belirtilen şekilde hesaplamışlardır [8].

Tablo 2. 3. Her kullanım tipinin günlük deşarj hacim ve kirlilik yüküne katkısı (toplam hacimdeki % ya da her 100 kişi için kütle)

Kullanım tipi	Hacim	KOİ _t	NH ₃ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Toplam Askıda Katı
İdrar	73.5	31.5	72.9	60.7	69.8	39.5
Feçes	2.2	5.3	0.6	2.0	1.0	4.4
İdrar+Feçes	21.3	63.1	26.5	37.3	29.2	56.0
Diğer	3.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
Toplam (günlük 100 kişi)	3.13 m ³	4833.0 g	227.0 g	1.37 g	524.0 g	4273.0 g
Tuvalet kağıdı (toplam %)	-	15.1	0.0	5.3	0.0	13.2

Araştırmacılar çalışmalarında; tuvalet kağıtlarının KOİ_t ve toplam askıda katı madde yüklerine etkisini dikkate değer bulmuşlardır. Tuvalet kağıtlarının tuvalete atılmaması durumunda KOİ_t 'de %7, toplam askıda katı madde miktarında ise %10'luk azalma olacağını hesaplamışlardır.

Butler ve arkadaşları (1995), yaptıkları çalışmada kirlilik grafiklerini oluşturabilmek için literatürde evsel atık su oluşumunda kaynak olarak kabul edilen tuvalet, lavabolar, duşlar, çamaşır ve bulaşık makinelerinden kaynaklanan kişi başına kirlilik yükleri ile akım verilerini birleştirmişlerdir. Çalışmada oluşan atık su akımında tuvaletten kaynaklanan akımın hem toplam akıma, hem de kirlilik yüküne olan katkısının en fazla olduğu sonucuna varılmış ve bunda tuvalet kağıtları başta olmak üzere tüm temizlik kağıtlarının önemli rol oynadığı sonucuna varılmıştır [9].

2.3. Reaktörler ve Kimyasal Reaksiyonlar

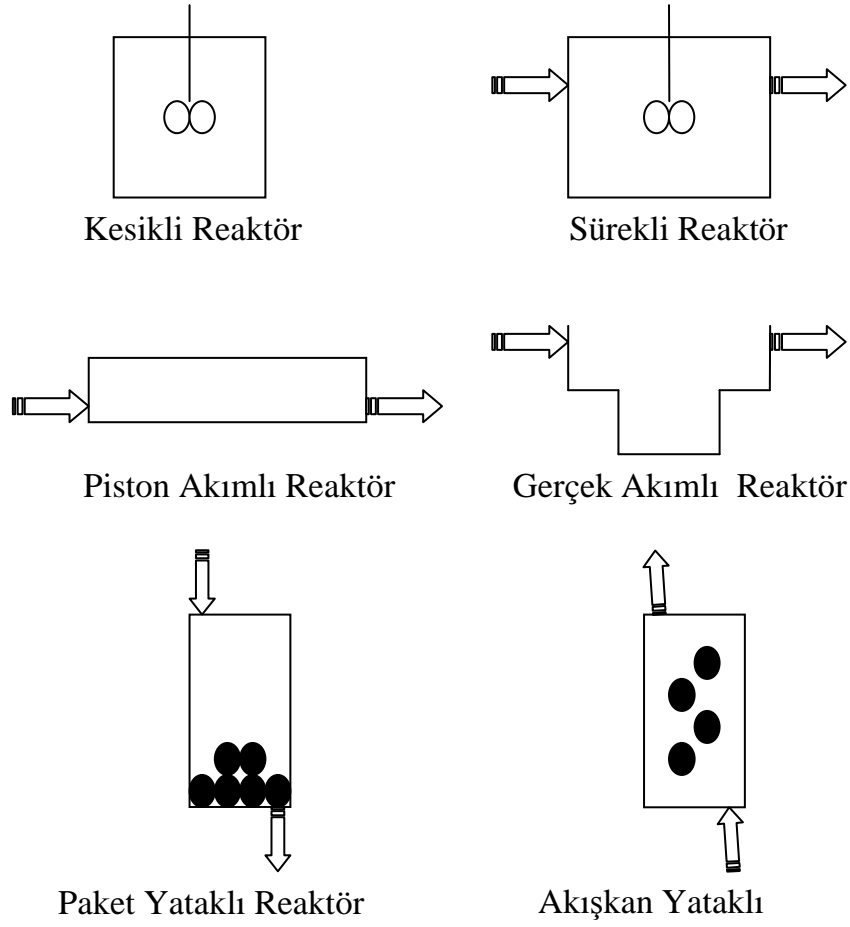
Reaktör, kelime anlamıyla kimyasal reaksiyonun gerçekleştiği yer anlamındadır. Çevre mühendisliğinde atık maddelerin içinde arıtıldığı tanklara veya havuzlara reaktör denilmektedir. Reaktörler içerisinde gerçekleşen reaksiyonun türüne göre seçilirler. Kimyasal reaksiyonlarda önemli olan husus istenen verimin elde edilmesidir. İstenilen verimi elde edecek reaktör türünü seçmek çevre mühendisliği uygulamalarında çok önemli bir noktadır. Atık suların arıtımında istenilen deşarj kriterini sağlamak için fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtmayı sağlayabilecek reaktörlerin seçimi çok önemlidir. Atık sularda fiziksel arıtmayı sağlayan reaktörlere, kum tutucular, dengeleme havuzları, çökeltim havuzları, kimyasal arıtmayı sağlayan reaktörlere, hızlı ve yavaş karıştırma tankları, biyolojik arıtma reaktörlerine ise aktif çamur havuzları, oksidasyon havuzları, damlatmalı filtreler örnek olarak verilebilir [10].

Reaktör seçimindeki en önemli konu reaktörde gerçekleşecek reaksiyonun türüdür. Reaktördeki reaksiyona etki eden, ortamın sıcaklığı, pH değeri, basıncı, madde derişimi, bekleme süresi, karıştırma gücü ve süresi gibi parametreler reaktörlerin yapımında dikkate alınırlar [11].

İstenen arıtma veya dönüşüm veriminin, tek reaktörle gerçekleşmediği durumlarda birden fazla reaktör seri veya paralel olarak bağlanarak kullanılabilirler [11].

Reaktörlerin tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli konu, reaktörün boyutlandırılmasında esas olan kütle ve enerji korunum denklemlerinin oluşturulmasıdır. Reaktöre giren, reaktör içinde dönüşüme uğrayan ve reaktörü terk eden maddeler arasında dengeler kurularak reaktör hacimlerini, reaktörlerde gerekli olan bekleme sürelerini ve reaksiyon dönüşüm verimlerini hesaplamak mümkün olur [11].

Reaktör yapımında istenen verimi sağlayabilecek reaktör boyutlarının ve şartlarının belirlenmesi gerekir. Ayrıca reaktörlerin sağlıklı olarak işletilebilmesi için işletme koşulları ve ekonomik maliyetlerde kesin olarak bilinmelidir.



Şekil 2. 3. Reaktör tiplerinin şematik diyagramları

Reaktörleri, çalışma şartlarına göre, şekillerine göre ve reaksiyon karışımındaki faz sayısına göre sınıflandırmak mümkündür. Reaktörler;

1. Madde akımının sürekliliğine göre;

- Kesikli reaktörler
- Sürekli reaktörler

2. Karışım durumlarına göre;

- Piston akımlı reaktörler
- Tam karışım reaktörler
- Gerçek akımlı reaktörler

3. Reaksiyon karışımındaki faz sayısına göre;

- Homojen (tek fazlı) reaktörler
- Heterojen (çok fazlı) reaktörler olarak sınıflandırılırlar [11, 12].

2.3.1. Kesikli reaktörler

Kesikli reaktörler, sürekli besleme yapılmayan, dönüşüm tamamlanıncaya kadar reaksiyona giren maddenin reaktörde bekletildiği ve daha sonra boşaltıldığı reaktörlerdir. Reaktör doldurulup işlem yapılır. Reaksiyon sonunda reaktör boşaltılır. Reaktörde şiddetli karıştırma yapılır. Kesikli reaktörler debisi küçük olan ve toksik madde içeren atık suların arıtımında kullanılır. Bu tür reaktörlerin kontrolü kolay olup bekleme süreleri uzatılabilmektedir. Ancak doldurulup boşaltılmaları zaman kaybına neden olmaktadır. Kesikli reaktörlerde, madde dengesi yazılarak, reaksiyona giren maddenin çıkış derişimi, hidrolik bekleme süresi ve reaksiyonun hızı hesaplanabilmektedir. Kesikli reaktörlerde madde dengesi aşağıdaki biçimde ifade edilebilir [11-13].

Biriken madde akısı = Giren madde akısı - Çıkan madde akısı \pm Reaksiyonla değişen madde akısı

Bu eşitliği denklem olarak aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür.

$$(dC/dt).V = Q.C_0 - Q.C \pm r_c.V \quad (1. 1)$$

Bu denklemde;

C_0 : Reaktöre giren madde derişimini, (mg/L)

C : Reaktörden çıkan madde derişimini, (mg/L)

r_c : Reaksiyon hızını, (mg/L.saad)

V : Reaktör hacmini, (m^3)

Q : Atık su debisini, (m^3/G)

(dC/dt) : Zamana bağlı olarak madde derişimini göstermektedir [11].

2.3.2. Sürekli akımlı reaktörler

Tanecikler tanka girdiğinde tam karışım olur ve tanecikler tank içinde dağılırlar. Daha sonra tanecikler derişimleriyle orantılı olarak tankı terk ederler [11-13].

2.3.3. Piston akımlı reaktörler

Bu tip reaktörlerde madde karışımı olmamaktadır. Maddenin bekleme süresi boyunca belli bir değere ulaştığı ve o değerde reaktörü terk ettiği kabul edilmektedir. Akışkan tanecikleri tank boyunca ilerlemekte ve aynı yönde deşarj edilmektedir. Tanecikler teorik bekleme süresine eşit sürede tankta kalırlar. Boyuna dispersiyon çok küçük veya minimumdur. Reaktörde uzunluk/genişlik oranı büyüktür [11-13].

2.3.4. Tam karışımli reaktörler

Yuvarlak veya kare tanklarda tam karışım gerçekleşebilir. Bu tip reaktörlerde, reaktöre giren madde veya sıvı ani olarak karışır. Bunun için reaktörün mekanik olarak çok şiddetli bir şekilde karıştırılması gerekir. Böylece, herhangi bir zamanda reaktörün her noktasında madde konsantrasyonu aynı olur [11-13].

2.3.5. Gerçek akımlı reaktörler

Adi akımlı veya gerçek akımlı reaktörlerde piston akım ile tam karışımli reaktörler arasında yer alan bir kısmi karışım meydana gelir [11-13].

2.3.6. Paket yataklı reaktörler

Paket yataklı reaktörler değişik dolgu malzemeleriyle doldurulur (Kaya, kömür, seramik veya plastik vb.). Anaerobik filtre veya kesikli çalıştırılan damlatmalı filtre, paket yataklı reaktördür [11-13].

2.3.7. Akışkan yataklı reaktörler

Akışkan yataklı reaktörler, bir çok yönden paket yataklı reaktörlere benzerler. Fakat paket ortamı akışkanın (hava veya su) yukarı doğru hareketiyle genişler. Paket ortamının porozitesi, akışkanın akış hızını kontrol etmek suretiyle değiştirilebilir [11-13].

2.4. Reaksiyon Kinetiği

Kimyasal değişimin hızını belirtmek amacıyla reaksiyon hızı kavramı kullanılmaktadır. Reaksiyona giren herhangi bir maddenin derişiminin zamanla azalması veya reaksiyon sonunda meydana gelen ürünlerden herhangi birinin derişiminin zamanla artması reaksiyon hızı olarak tanımlanmaktadır.

Reaksiyon hızı, reaktif derişimine bağlı olarak reaksiyonun derecesine göre aşağıdaki bağıntıyla ifade edilebilir.

$$\text{Reaksiyon hızı} = (\text{derişim})^n$$

Bu bağıntıdaki reaksiyon hızı ile derişim arasındaki üstel ilişkinin üssü (n), bu reaksiyonun derecesidir. [12, 14-16].

2.4.1. Sıfıncı dereceden reaksiyonlar

Herhangi bir reaktif maddenin derişimi ile reaksiyon hızı arasında bir bağıntı yoksa reaksiyon derecesi 0.'dır.

Sıfıncı derece reaksiyonların hız ifadelerini aşağıdaki gibi yazmak mümkündür.

A (reaktif) \rightarrow B (ürün) şeklinde bir reaksiyon 0. derecedense, reaksiyon hızı;

$$r_c = d[A] / dt = -k$$

bağıntısı ile ifade edilir.

Bu denklemde;

r_c : Reaksiyon hızını

$[A]$: (A) maddesinin derişimini

k : Reaksiyon hız sabitini

$d[A] / dt$: Zaman içindeki madde değişimini göstermektedir [12, 14, 15].

2.4.2. Birinci dereceden reaksiyonlar

Eğer reaksiyon hızı reaktiflerden sadece birinin derişimiyle doğru orantılıysa reaksiyon birinci derecedendir.

A (reaktif) \rightarrow B (ürün) reaksiyonu birinci derece kinetiğine uygunsa; (A) maddesinden (B) maddesine dönüşüm anındaki reaksiyon hızı,

$$r_c = d[A] / dt = -k \cdot [A]$$

bağıntısı ile bulunur [12, 14, 15].

2.4.3. İkinci dereceden reaksiyonlar

Reaksiyon hızı, reaktantlardan birinin konsantrasyonunun karesi ile veya iki farklı reaktantın konsantrasyonlarının çarpımı ile orantılıdır.

Eğer madde dönüşümü $A + A \rightarrow$ ürünler şeklinde ise;

$$r_c = d[A] / dt = -k \cdot [A]^2$$

bağıntısı ile, eğer madde dönüşümü,

$A + B \rightarrow$ ürünler şeklinde ise;

$r_c = d[A] / dt = -k \cdot [A] \cdot [B]$ bağıntıları ile reaksiyon hızları hesaplanabilir [12, 14, 15].

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOT

3.1. Atık Tuvalet Kağıtlarının Parçalanma Mekanizmalarının Tanımlanması

Tuvalet kağıtları kanalizasyon sistemlerine atıldıktan sonra sudaki türbülansa ve kağıdın yapısal özelliklerine bağlı olarak fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik parçalanmaya uğrarlar. Atık kağıtların sudaki türbülansın etkisiyle büyük parçalardan daha küçük parçalara ayrılması olayı fiziksel parçalanmadır. Bu parçalanma sudaki türbülansın oluşturduğu fiziksel kuvvetlerin kağıt üzerinde kırıcı gerilmeler oluşturmasından kaynaklanmaktadır.

Kimyasal parçalanma ise, sudaki bazı iyon ve radikallerin kağıdın yapısında bulunan ve suda çözünebilir moleküllerle reaksiyona girmesi ile bu moleküllerin suda çözünmesi olayıdır. Kimyasal parçalanma sırasında kağıdın yapısındaki suda çözünebilir maddeler su fazına geçmektedirler. Bu maddelerden mikrobiyolojik tüketime elverişli olanlarının ortamdaki mikroorganizmalar tarafından tüketilmesi de mikrobiyolojik parçalanma olarak tanımlanmaktadır.

Tıkanmalar açısından en önemli mekanizma fiziksel parçalanmadır. Çünkü bu proses kağıtların küçük parçalara ayrılmasında ve taşınımında en büyük rolü üstlenmektedir. Kimyasal ve mikrobiyal parçalanmalar, fiziksel parçalanmaya göre daha düşük etkiye sahiptirler. Bu nedenle bu bölümde, öncelikle fiziksel parçalanma için geliştirilen teorik yaklaşımlar, matematiksel denklemler ve modelleme çalışmaları sunulmaktadır.

3.2. Fiziksel Parçalanma Üzerine Geliştirilen Teorik Hipotez

Fiziksel parçalanma sudaki türbülansa ve kağıdın yapısal özelliklerine bağlıdır. Sudaki türbülans Reynolds sayısı (Re) ile ifade edilebilmekte olup, herhangi bir su akımı için aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$Re = \rho * v * d / \mu \quad (3.1)$$

Burada;

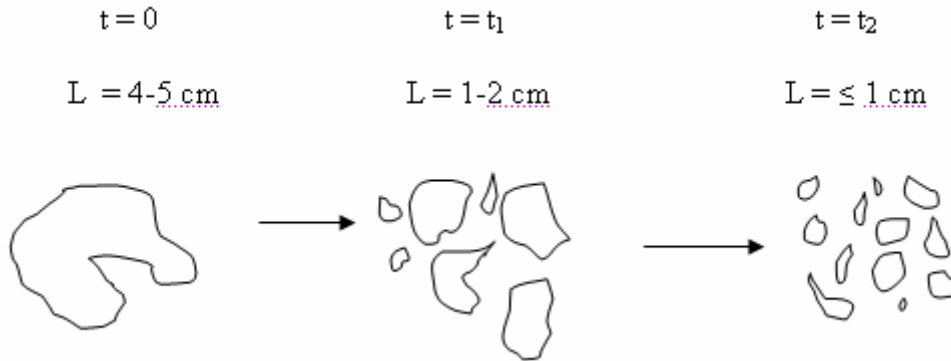
ρ = suyun yoğunluğu (kg/m^3),

v = suyun ortalama akış hızı (m/s),

d = suyun derinliği (m),

μ = suyun dinamik viskozitesidir (kg/s-m) [17].

Atık kağıtların yapısal özellikleri de fiziksel parçalanmayı etkileyecek bir diğer parametredir. Örneğin, geri dönüşüm yoluyla elde edilen veya düşük kaliteli saf malzemeden elde edilen kağıtlar daha hızlı parçalanacak, buna karşılık, kaliteli saf hammaddeden ilk defa üretilen kağıtlar parçalanmaya karşı daha dirençli olacaklardır. Her bir durum için fiziksel parçalanma teorik olarak Şekil 3.1'de görüldüğü gibi düşünülebilir.



Şekil 3. 1. Atık bir tuvalet kağıdının fiziksel parçalanmaya uğraması ve küçük parçacıklar oluşturması

Fiziksel parçalanma sırasında ana kağıt parçalanırken farklı boyutlarda yeni parçacıklar oluşmaktadır. Bu parçacıklar daha sonra tekrar parçalanarak daha küçük ürünlere dönüşmektedirler. Örneğin, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, bir atık kağıt zamanla parçalanarak, $t = t_1$ anında orta boy parçacıklara, ve $t = t_2$ anında çok küçük parçalara ayrılmaktadır.

Şekil 3.1’de verilen durumu matematiksel olarak takip edebilmek için kütlelerin korunumu prensibi uygulanmıştır. Buna göre, herhangi bir t anında, ana kağıdın kütlesi ile parçalanma sırasında oluşan ürünlerin kütlelerinin toplamı bir birine eşit olmak zorundadır. Ana kağıt ile parçacıkların kütlelerinin toplamı arasında olabilecek bir fark, kimyasal ve mikrobiyal parçalanmalardan kaynaklanabilir, ve bu nedenle kütle korunum denklemi aşağıdaki şekilde yazılmıştır.

$$\sum M_{ana_kagit} = \sum M_{kucuk_parcalar} + \sum M_{cozummus_maddeler} + \sum M_{mikrobiyal_tuketim} \quad (3.2)$$

Burada M toplam kütleleri göstermekte olup, sulu çözeltilerde konsantrasyon ile hacmin çarpımı olarak da ifade edilebilir. Tuvalet kağıtlarının parçalanması daha çok fiziksel olduğundan, kimyasal ve mikrobiyal olayların kütle dengesinde meydana getireceği farklar çok düşük seviyede olacaktır. Bu nedenle, kimyasal ve mikrobiyal olaylar kısa bir süre için göz önüne alınmayarak, yukarıdaki denklem sadece fiziksel parçalanmaya uygulanmış ve aşağıdaki denklem yazılmıştır.

$$\sum M_{ana_kagit} = \sum M_{parcalar} \quad (3.3)$$

Bu denkleme göre, bir deney sırasında ortama bırakılan kağıdın kütlesi ile parçacıkların kütlelerinin toplamı birbirine eşit olmalıdır.

Fiziksel parçalanmanın gerçekleşmesi ortamdaki türbülansa bağlıdır. Durgun bir suya göre, türbülanslı bir suda kağıtların parçalanmalarının daha hızlı olacağı söylenebilir. Türbülansın tuvalet kağıtlarına olan etkisi kağıtların yüzey alanına bağlı

olacaktır. Büyük kağıt parçaları için uygulanan kuvvet daha fazla olduğundan bu kağıtlar daha hızlı parçalanırlar. Küçük kağıtlar ise, 1-2 mm gibi, suyun akımı ile hareket edeceklerinden türbülansdan daha az etkilenecek daha geç sürelerde parçalanırlar.

Parçalanma hızının kağıt türlerine ve yapısal özelliklerine de bağlı olacağı şüphesizdir. Örneğin, bir karton ile tuvalet kağıdının aynı türbülans şartları altında parçalanma hızları aynı olamaz. Bu farkı belirtmek için her bir kağıt türüne göre “özgün parçalanma katsayısı” tanımlanır. Bu sabitler deneylerle ayrı ayrı belirlenebilir.

Parçalanma hızı olarak ifade edilen olay, herhangi bir boyut aralığındaki kağıtların konsantrasyonlarının birim zamandaki değişimi olarak tanımlanır. Matematiksel olarak, L herhangi bir boyut aralığındaki kağıtların konsantrasyonu ise, birim zamanda birim konsantrasyondaki değişim dL/dt ile gösterilir.

Çalışmada kullanılan matematiksel model oluşturulurken, atık bir kağıdın sudaki fiziksel parçalanması için geliştirilen matematiksel denklem üç ana unsurdan oluşmuştur. Bunlar kağıdın konsantrasyonu, ortamdaki türbülans şartları ve kağıdın özgün parçalanma katsayısıdır. Türbülans şartlarını temsilen Reynolds sayısı kullanılmış ve bu durumda fiziksel parçalanma hızı aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir.

$$\frac{dL}{dt} = k * Re * L \quad (3.4)$$

Yukarıdaki denklemde;

L = Herhangi bir boyuttaki kağıt parçalarının sudaki kütle konsantrasyonu,

t = zaman,

k = atık kağıdın yapısal ve parçalanma özelliklerini temsil eden özgün parçalanma katsayısı,

Re = Reynolds sayısı,

dL/dt = birim zamanda atık kağıdın konsantrasyonundaki değişimdir.

Bu denklem genel bir ifade olup, farklı boyutlardaki kağıtlara uygulanmış ve deneysel çalışmalarla test edilmeye çalışılmıştır. Deneyselde standard gözenekli elekler kullanılarak parçalanma sırasında oluşan kağıt parçacıklarının konsantrasyonları ve boyut aralıkları belirlenmiştir. Örneğin, ana kağıt 12 mm gözenekli eleklerle tutulurken, diğer parçalar daha küçük gözenek çaplı eleklerle tutulabilmektedir. Buradan hareketle, fiziksel parçalanma denkleminin deneysel olarak test edilebilir durumda olduğu söylenebilir.

3.3. Fiziksel Parçalanma Teorisi Üzerine Kurulan Matematiksel Model ve Kesikli Reaktörde Uygulaması

Yassı şekilde ve yaklaşık (12 x 15) cm boyutlarında olan tuvalet kağıtlarından 2-3 tanesi buruşturularak, içerisinde 1 L saf su bulunan beher kabına atılıp karıştırılmış ve kağıtların önce şekilsiz bir yumak haline dönüştüğü ve sonra fiziksel parçalanmaya uğradığı tespit edilmiştir. Zamana bağlı olarak alınan numunelerle elek analizi yapılması parçalanmanın takibini sağlamıştır. Bu durumda, ana kağıdın parçalanması ve yeni parçaların oluşumu aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir. Bu matematiksel denklemler topluluğu kesikli reaktörde fiziksel parçalanmanın modelini oluşturmaktadır.

$$\frac{d[10mm]}{dt} = -k_1 * Re^*[10mm] \quad (3.5)$$

$$\frac{d[5mm]}{dt} = f_1 * k_1 * Re^*[10mm] - k_2 * Re^*[5mm] \quad (3.6)$$

$$\frac{d[3mm]}{dt} = f_2 * k_1 * Re^*[10mm] + f_3 * k_2 * Re^*[5mm] - k_3 * Re^*[3mm] \quad (3.7)$$

$$\frac{d[1mm]}{dt} = f_4 * k_1 * Re^*[10mm] + f_5 * k_2 * Re^*[5mm] + k_3 * Re^*[3mm] \quad (3.8)$$

Bu denklemlerdeki 10, 5, 3, 1 mm rakamları standart elek gözeneklerini ve [...] ibaresi o gözenek çapındaki kağıtların konsantrasyonu temsil etmektedir. Bu denklemlerdeki (k) ve (Re) parametreleri daha önce açıklandığı gibi olup, (f) katsayıları yeni bir parametredir. Bu katsayılar ana kağıdın parçalanması ile oluşan ürünlerin hangi oranlarda 5, 3, ve 1 mm boyut aralığına girdiğini göstermektedir. Ana kağıt parçalanırken yeni oluşan kağıt parçalarının (f₁) kadarlık kısmı 5 mm'lik parçalara, (f₂) kadarlık miktarı 3 mm'lik parçalara ve (f₄) kadarlık miktarı ise 1 mm'lik parçalara dönüşecektir. Bu nedenle denklem 3. 6, denklem 3. 7 ve denklem 3. 8' in ilk terimleri ana kağıttan gelecek olan parçacıklar için yazılmıştır. Bu dağılım katsayıları yapılacak elek analizleri sırasında ve modelleme yoluyla tespit edilmiştir.

Kütlenin korunumu prensibinin tam olarak uygulanabilmesi için 1 mm'den küçük partiküllerin de toparlanması gerekmektedir. Elek analizinden geçirilen su ve kağıt numuneleri daha sonra 0.45 µm çaplı filtre kağıtlarında süzülerek, su içerisindeki partiküllerin tamamı elde edilmiştir. Filtre kağıdından geçen maddeler ise standard metodlara göre çözülmüş madde olarak kabul edilmektedir. Böylece kağıtların toplam kütlelerinin korunumu her zaman için sağlanır.

3.4. Fiziksel Parçalanma Teorisinin ve Matematiksel Modelin Deneysel Çalışmalarla Test Edilmesi

3.4.1. Matematiksel modelleme

Fiziksel parçalanma teorisinin testi için yapılan deneysel çalışmalarda 12 mm, 8mm, 5mm, ve 2 mm çaplı elekler kullanılmıştır. Bu nedenle daha önce verilen denklem 3.5, denklem 3.6, denklem 3.7 ve denklem 3.8 deneylere uyarlanmış ve yeni denklemler aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\frac{d[12mm]}{dt} = -k_1 \cdot Re.[12mm] \quad (3.9)$$

$$\frac{d[8mm]}{dt} = f_1.k_1.Re.[12mm] - k_2.Re.[8mm] \quad (3.10)$$

$$\frac{d[5mm]}{dt} = f_2.k_1.Re.[12mm] + f_3.k_2.Re.[8mm] - k_3.Re.[5mm] \quad (3.11)$$

$$\frac{d[2mm]}{dt} = f_4.k_1.Re.[12mm] + f_5.k_2.Re.[8mm] + f_6.k_3.Re.[5mm] - k_4.Re.[2mm] \quad (3.12)$$

$$\frac{d[0,45\mu m]}{dt} = f_7.k_1.Re.[12mm] + f_8.k_2.Re.[8mm] + f_9.k_3.Re.[5mm] + f_{10}.k_4.Re.[2mm] \quad (3.13)$$

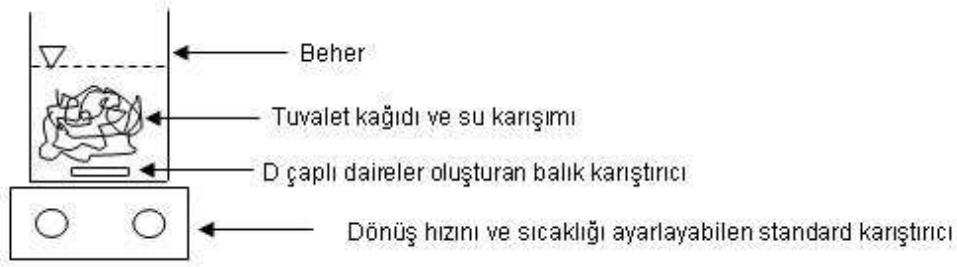
Bu denklemlerdeki tüm katsayılar daha önce açıklandığı gibi olup, ana kağıdın parçalanması ile oluşan ürünlerin dağılım yüzdelerini ifade eden f katsayılarının temsil ettiği boyut aralıkları Tablo 3.1' de gösterilmiştir.

Tablo-3.1. Dağılım katsayıları

	12 mm	8 mm	5 mm	2 mm
8 mm	f ₁			
5 mm	f ₂	f ₃		
2 mm	f ₄	f ₅	f ₆	
0,45 μm	f ₇	f ₈	f ₉	f ₁₀

Denklemlerin çözümü nümerik metotlar kullanılarak Microsoft Excel programı ile gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalar bir beher içerisine belirli miktarlarda su ve kağıdın koyulması, ve belirli bir hızda karıştırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki şekil deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği deney setini göstermektedir.



Şekil 3. 2. Fiziksel parçalanma deneylerinin gerçekleştirildiği deney seti

Şekil 3. 2’de verilen beher tam karışimli kesikli reaktör (completely stirred tank reactor) tipine uymaktadır. Bu tür reaktörlerdeki türbülans şartlarını gösteren Reynolds sayısı, aşağıdaki denklem 3. 15 ifadesi ile hesaplanmıştır. Bu denklem literatürden elde edilmiş olup, geliştirilmesi ile ilgili önemli sayıda çalışma mevcuttur. Temel olarak, denklem 3. 1 ’in kesikli reaktörlere uygulanması ve deneysel çalışmalarla teyit edilmesi şeklinde geliştirilmiştir [18-27].

$$Re = N * D^2 / \nu \quad (3. 15)$$

Bu denklemde;

N : Karıştırıcının devir sayısı (devir/saniye),

D : D çaplı daireler oluşturan balık karıştırıcının uzunluğu (cm)

V : Suyun sıcaklığına bağlı kinematik viskozitesidir (cm²/saniye).

Bu şekilde hesaplanacak Reynolds sayısının 2000’den büyük olması durumunda akım türbülanslı olarak tanımlanır ve daha küçük rakamlar için akım laminerdir [18, 20, 21].

3.4.2. Deneysel çalışmalar

Deneysel çalışmalar iki farklı markaya ait tuvalet kağıtları ile gerçekleştirilmiştir. Herhangi bir süpermarketten temin edilen her bir ürün çeşidine ait tuvalet kağıdından 12 x 15 cm boyutlarında 3 adet kağıt rulodan koparılarak hassas terazide tartılmış ve etüvde kurumaya bırakılmıştır. Bu işlem sonucunda kağıttaki nem oranı tespit edilmiştir.

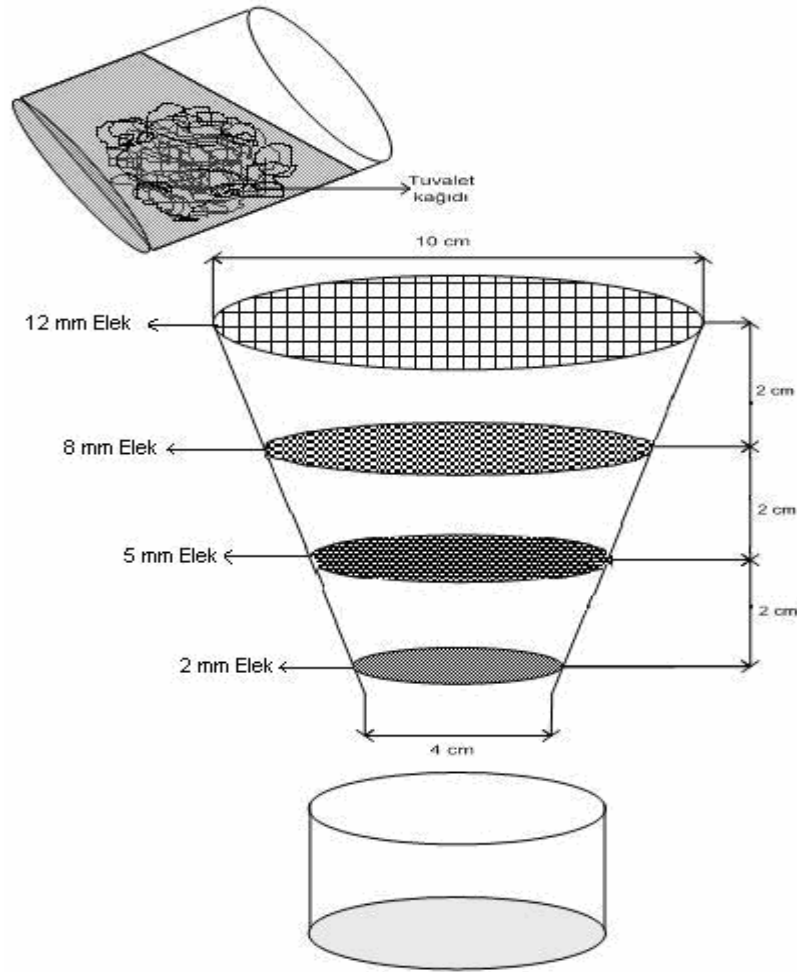
Kağıt numunesi etüvde kurutulmadan önce ve 24 saat sonra etüvden alındığında tekrar tartılmış ve arasındaki fark nem olarak belirlenmiştir. Bu ölçümlerle tuvalet kağıdının genellikle % 6 -7 oranında nem oranına sahip olduğu belirlenmiştir.

3 adet kağıt etüvde kurutulup tartıldıktan sonra içerisinde 1 L su bulunan bir beher içerisinde bırakılmıştır. Aynı beher içerisinde 3 cm uzunluğunda manyetik bir balık karıştırıcı da koyularak, solusyonlar sırası ile 130 devir/dakika, 160 devir/dakika, 200 devir/dakika, 230 devir/dakika devir hızları ile karıştırılmıştır.



Şekil 3. 3. Karıştırıcıdaki tuvalet kağıtları

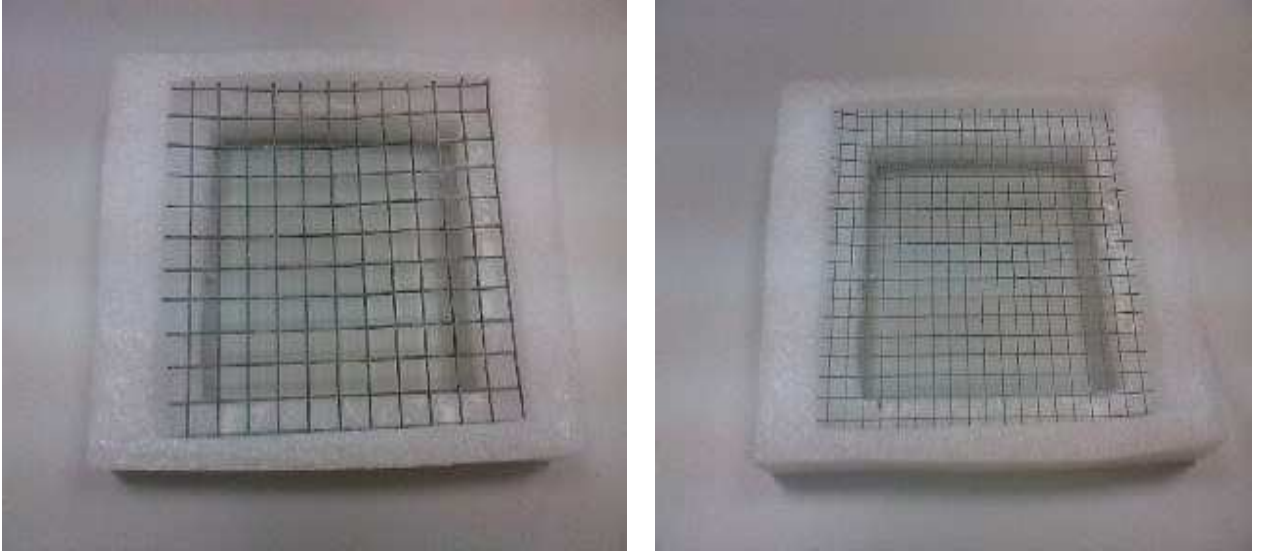
Başlangıçtan itibaren belirli zaman aralıkları ile beher karıştırıcıdan alınarak, önceden hazırlanan ve Şekil 3. 4'de gösterilen konik yapıdaki elek düzeneğine yavaş bir şekilde boşaltılmıştır.



Şekil 3. 4 Fiziksel parçalanma teorisinin kesikli reaktörde test edilmesi sırasında kullanılan elek düzeneği

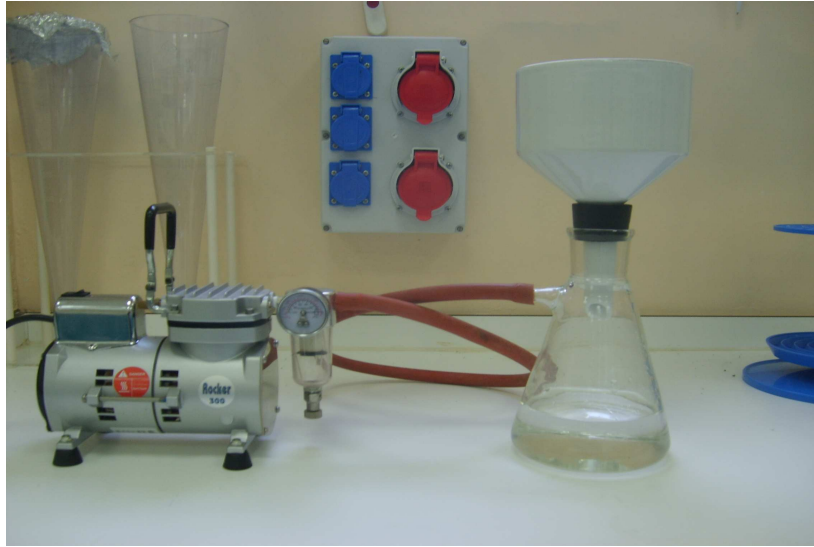
Bu elek düzeneğindeki her bir elek sökölüp takılabilir şekilde ve paslanmaz alüminyum karışımlı hafif malzemelerden özel olarak tasarlanmıştır.

Kağıt ve su solusyonu elek düzeneğine yavaş bir şekilde boşaltılmış ve böylece, kağıt parçacıklarının doğru eleklerde tutulması sağlanmıştır. Elek düzeneğinin alt tarafına boş bir beher yerleştirilerek eleklerden geçen sular tekrar toplanmıştır.



Şekil 3.5. Elek düzeneğinde kullanılan elekler

Daha sonra bu toplanan su 0.45 μm gözenek çaplı filtre kağıdından vakumla süzülerek içerisindeki çok küçük çaplı kağıt parçaları filtre kağıdı üzerinde toparlanmıştır.



Şekil. 3.6. Toplanan suların filtre kağıdından vakumla süzme işlemi

Deneylerde kullanılan beher, 3 cm'lik manyetik balık karıştırıcı kullanılarak sırası ile 130 (devir/dakika), 160 devir/dakika , 200 devir/dakika, 230 devir/dakika saniye hızında karıştırılmıştır. Deneylerin gerçekleştirildiği ortalama su sıcaklığı 20 °C olup,

bu sıcaklıktaki suyun kinematik viskozitesi $0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$ olarak referanslardan alınmıştır.

Her bir karıştırma hızına ait Reynold sayısı Denklem 3.15'e göre hesaplanmış ve Tablo 3.2' de verilen değerler elde edilmiştir.

Tablo 3.2. Karıştırma hızlarına ait Reynold sayıları

Karıştırma Hızı	Reynold Sayısı
130 devir/dakika	1950
160 devir/dakika	2400
200 devir/dakika	3000
230 devir/dakika	3450

Buna göre beherdeki akımın rejimi 130 devir/dakika karıştırma hızı için laminar ($Re < 2000$), diğer karıştırma hızları için türbülanslıdır ($Re > 2000$).

BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. A Ürününde Deneysel Veriler ve Modelin Karşılaştırılması

4.1.1. A Ürününde 130 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması

A ürününün karıştırıcıda 130 devir/dakika hızla karıştırılmasından sonra, kullanılan elek aralıklarında tutulan kağıt miktarları ve kullanılan modelde bu elek aralıklarında elde edilen sonuçlar tablo 4. 1' de sunulmaktadır. Tablo 4. 1' de sütunlar deneysel çalışma ve kullanılan model için her bir elekte tutulan kağıt miktarını, satırlar ise numunelerin alındığı zaman noktalarını göstermektedir.

Tablo 4. 1' in incelenmesinden anlaşılacağı gibi 12 mm'de elde edilen sonuçlar, kullanılan kağıtların 15-120. dakikalar arasında parçalanmalarının yavaş olduğunu göstermiştir. 120. dakikadan sonra parçalama hızlanmış, 480. dakikaya gelindiğinde de başlangıçta kullanılan ana kağıdın yarısına yakını parçalanmış ve bu dakikadan sonra parçalanma hızı artarak devam etmiştir.

8, 5 ve 2 mm' lik değerlere bakıldığında oluşan parçacıkların konsantrasyonlarının sürekli olarak arttığı, 720. dakikadan sonra 5 ve 2 mm' de artış devam ederken, 8 mm lik parçacıkların tekrar parçalanarak konsantrasyonlarının azalmaya başladığı görülmektedir. Benzer şekilde 0,45 μm ' lik değerlerde de konsantrasyon 720. dakikaya kadar sürekli artarken, bu dakikadan sonra konsantrasyon azalmaya başlamıştır.

Kullanılan modelde A ürünü için elde edilen sonuçlar deneysel verilere benzer şekilde bulunmuştur. Model ve deneyin her ikisinde de ana kağıdın parçalanma hızı

ile 8mm, 5mm, 2 mm ve filtre kağıdında oluşan parçacıkların konsantrasyonlarındaki artışlar aynı zaman aralıklarında gerçekleşmiştir.

Tablo 4.1. A ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

Zaman (dk)	12 mm Deney (mg)	12 mm Model (mg)	8 mm Deney (mg)	8 mm Model (mg)	5 mm Deney (mg)	5 mm Model (mg)	2 mm Deney (mg)	2 mm Model (mg)	0,45 μ m Deney (mg)	0,45 μ m Model (mg)
15	2569,6	2507,6	0,4	26,5	5,8	11,9	0,3	6	46,9	14,9
30	2513,2	2449,6	0,3	52,1	5,3	23,6	7,4	12,1	68,2	29,5
60	2439,3	2337,6	4,8	10,5	3,6	46,5	2,6	24,3	122,6	58,1
120	2414,7	2128,7	18,5	186,9	22,7	89,9	15,9	48,9	146,4	112,6
240	1819,7	1765,3	279,6	323,2	137,1	168,1	69,8	98,9	309,4	211,5
360	2498,1	1463,9	14,1	419,4	11,2	236	9	149,1	64,8	298,5
480	1131,5	1213,9	505,6	484,1	290,2	294,7	195,6	198,9	385,1	375,4
720	724,1	834,8	571,2	545	441,9	388	347,6	295,2	530,8	504
1440	468,6	271,5	474,5	467	543,3	530,3	699,5	544	431,7	754,3

Tablo 4.2' de A ürününün 130 devir/dakika karıştırma hızında elde edilen modelleme tahminlerinin deneysel datalara en iyi şekilde yaklaşımını sağlayan özgün parçalanma katsayıları gösterilmektedir. Bu değerler incelendiğinde 5-2 mm boyut aralığındaki kağıtların parçalanma hız sabitlerinin en küçük değerde olduğu görülmektedir. Bu durum küçük parçacıkların fiziksel kuvvetlerden daha az etkilenecek suyla birlikte daha kolay hareket etmelerinden dolayı daha küçük parçalanma sabitine sahip olduklarını düşündürmektedir.

Tablo 4.2. A ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri

Kağıt Boyut Aralıkları	Özgün Parçalanma Sabiti (1/dakika)
12 mm' den büyük kağıtlar	$8 \cdot 10^{-7}$
12-8 mm arasındaki kağıtlar	$4,5 \cdot 10^{-7}$
8-5 mm arasındaki kağıtlar	$1,3 \cdot 10^{-7}$
5-2 mm arasındaki kağıtlar	$1 \cdot 10^{-9}$

Tablo 4. 3’ de A ürününün 130 devir/dakika hızda karıştırılmasıyla parçalanması sırasında büyük kağıtların hangi oranlarda ve hangi boyut aralıklarında parçacık oluşturduklarını gösteren dağılım katsayıları yer almaktadır. Bu dağılım katsayıları modelleme yoluyla hesaplanmış değerlerdir.

Tablo 4.3. A ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f)

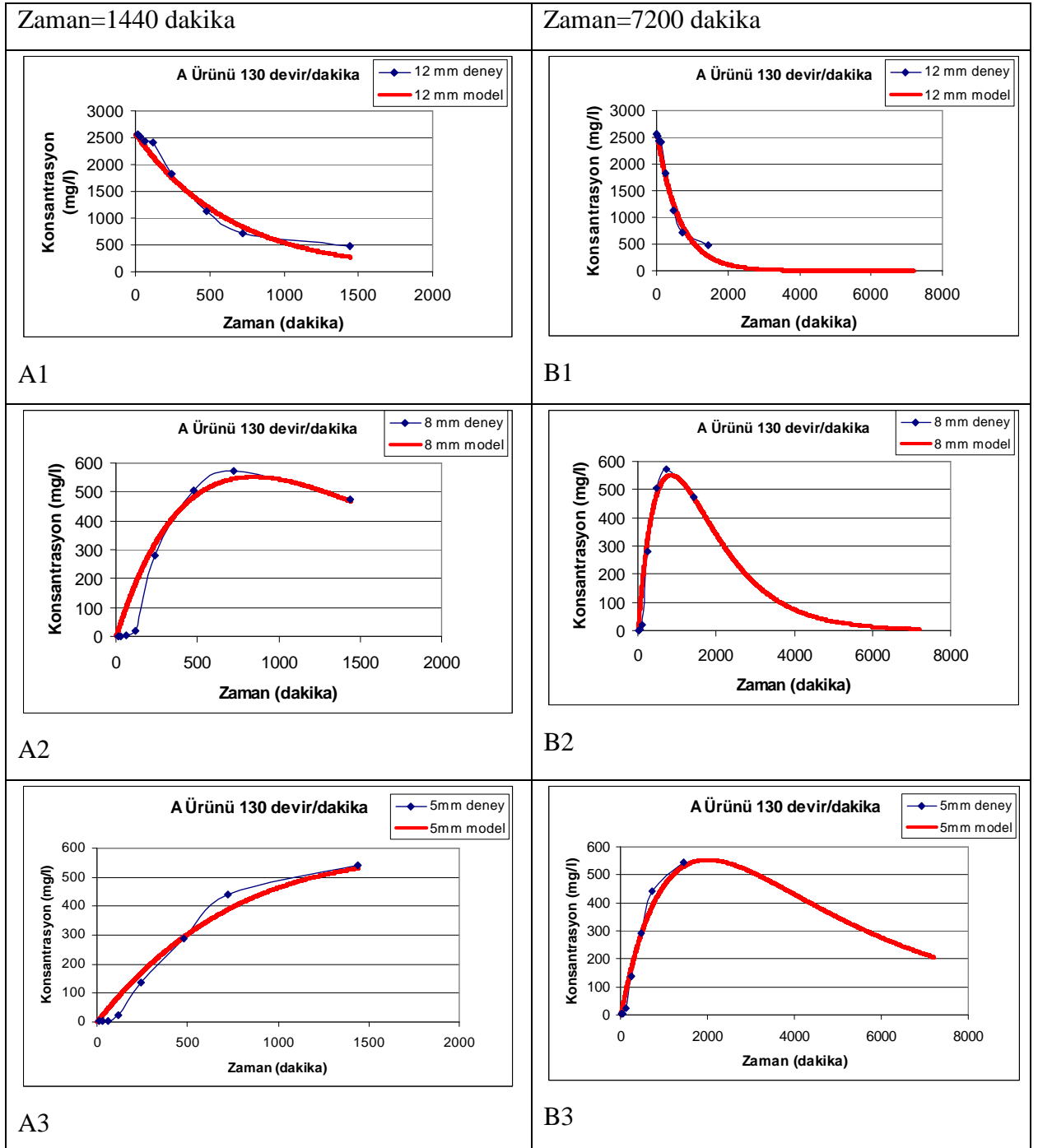
Dağılım Yüzdeleri	12 mm	8 mm	5 mm	2 mm
8 mm	0,45			
5 mm	0,2	0,35		
2 mm	0,1	0,4	0,7	
0,45 μ m	0,25	0,25	0,3	1
Toplam	1	1	1	1

Deneylelerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri şekil 4.1’ de sunulmaktadır. Şekil 4.1’ de A grubu modelin deneylerin sonlandırıldığı zaman aralığı olan 1440 dakikadaki, B grubu ise modelin 7200 dakikaya kadar devam ettirilmesi durumundaki davranışını göstermektedir.

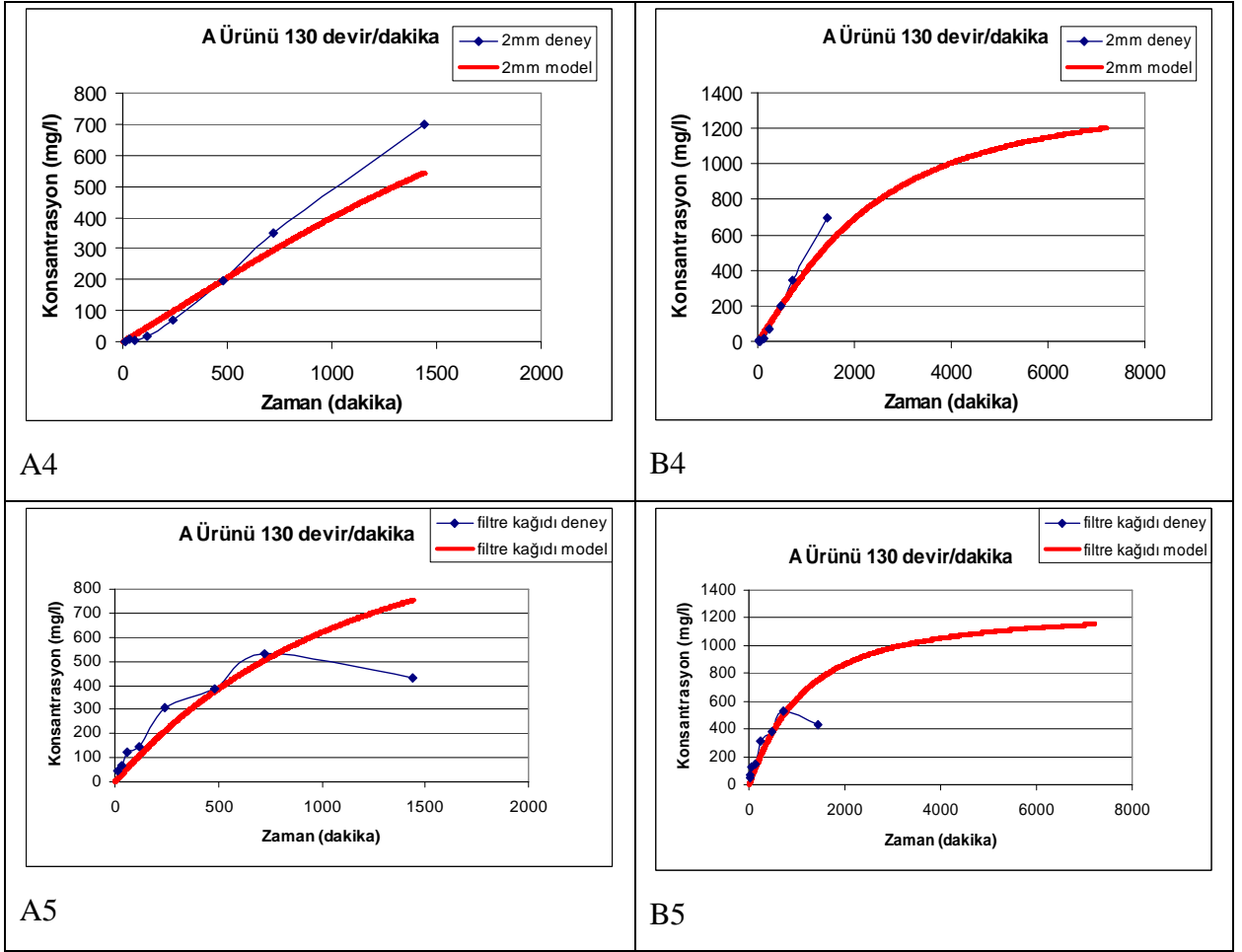
Grafiklerde de görülmekte olduğu gibi deneysel sonuçlar ile oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Deneysel çalışma 1440. dakikada sonlandırılmıştır. Bu nedenle A grubu grafiklerde ana kağıt tamamen parçalanmamıştır. Ancak B grubu grafiklerde model bu zamandan sonra devam ettirildiğinde ana kağıdın 7200 dakika tamamlandığında tamamen parçalandığı görülmektedir.

Ayrıca filtre kağıdında oluşan parçacıkların konsantrasyonu deneysel verilerde 720. dakikadan sonra azalmaya başlamış olmasına rağmen, kullanılan modelde azalma olmadığı görülmüştür. Bu durum 720. dakikadaki azalmanın deneysel hatalardan kaynaklanmış olabileceğini düşündürmektedir.

Bununla birlikte deneysel çalışmada 360. dakikada elde edilen veriler hem deneyin genelinde hem de modelde elde edilen sonuçlara göre hatalı görüldüğünden grafiklerin oluşturulmasında kullanılmamıştır.



Şekil 4.1. A ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri



Şekil 4.1. (Devamı) A ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

4.1.2. A Ürününde 160 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması

Karıştırıcıda 160 devir/dakikada karıştırılan A ürününün, kullanılan elek aralıklarında tutulan kağıt miktarı ve bu elek aralığında oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar Tablo 4. 4' de verilmiştir.

Tablo 4. 4. A ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

Zaman (dk)	12 mm Deneysel (mg)	12 mm Model (mg)	8 mm Deneysel (mg)	8 mm Model (mg)	5 mm Deneysel (mg)	5 mm Model (mg)	2 mm Deneysel (mg)	2 mm Model (mg)	0,45 µm Deneysel (mg)	0,45 µm Model (mg)
15	2489	2470,6	2,3	37	2,8	19,6	8,1	8,4	73,3	16,4
30	2490,1	2391,9	0,5	72	8,7	38,7	4,8	17	56,6	32,5
60	2383,3	2241,8	19,8	136,1	19,7	75,4	18,5	34,9	121,7	63,8
120	1890,9	1969,2	251,7	243,5	123,4	143,3	41,1	72,8	257,3	123,2
240	1570,3	1519,6	398,2	389,8	174,9	257,9	164,1	154,8	289,4	229,9
360	1151,4	1172,6	529,7	468,3	316	347,3	229,4	241,2	371,7	322,6
480	402,6	904,8	635	500,2	526,1	415	621,7	328,6	403,8	403,4
720	388,3	538,8	469	482,2	594,3	497,7	654,6	497,4	533,1	536
1440	232,2	113,7	361,9	258,6	499,3	498,2	1138,2	898,3	413,2	783,2

Tablo 4. 4' de görüleceği gibi 12 mm' de ana kağıdın parçalanma miktarı 15-60. dakikalar arasında yavaş olurken 60. dakikadan sonra artmış ve 360. dakikaya gelindiğinde başlangıç miktarının yarısı, 1440. dakikada ise %90' nından fazlası parçalanmıştır. Kullanılan modelden elde edilen sonuçlarda da ana kağıdın parçalanması deneysel verilerle benzer bulunmuştur. Tablo 4.1' deki 130 devir/dakikadaki ana kağıdın parçalanma oranı göz önünde bulundurulursa, karıştırma hızının artırılması ile ana kağıdın parçalanması için gerekli sürenin azaldığı söylenebilir.

160 devir/dakikada 8 mm' lik parçacıkların konsantrasyonu 15-480. dakikalar arasında sürekli artarken, 480. dakikadan sonra azalmaya başlamıştır. Bu durum 480. dakikadan sonra 8 mm' lik parçacıkların da ayrışmaya başladığını göstermektedir. 5 mm lik parçacıklarda da benzer durum görülmekle birlikte bu parçacıkların ayrışmaya başlaması 720. dakikadan sonra başlamıştır. 2 mm' lik parçacıklar ise deneyin durdurulduğu 1440. dakikaya kadar sürekli artmıştır. 8 ve 5 mm' lik

parçacıkların artış ve parçalanmaya başlama miktarları tasarlanan modele uygun şekilde gerçekleşmiştir.

Deneysel bulgularda 0,45 μm ' lik parçacıkların 720. dakikaya kadar artış gösterirken bu dakikadan sonra bir miktar azalmış olması, uygulanan modelde ise bu parçacıkların sürekli artış göstermesi arasındaki uyumsuzluk deneysel hatalardan kaynaklanmış olabilir.

Tablo 4.5' de A ürününün 160 devir/dakika karıştırma hızında elde edilen modelleme tahminlerine ait özgün parçalanma katsayıları gösterilmektedir. Bu değerler incelendiğinde de 130 devir/dakika karıştırma hızında elde edilen verilere benzer şekilde 5-2 mm boyut aralığındaki kağıtların parçalanma hız sabitlerinin en küçük değerde olduğu görülmektedir

Tablo 4.5. A ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri

Kağıt Boyut Aralıkları	Özgün Parçalanma Sabiti (1/dakika)
12 mm' den büyük kağıtlar	9.10^{-7}
12-8 mm arasındaki kağıtlar	$6,5.10^{-7}$
8-5 mm arasındaki kağıtlar	3.10^{-7}
5-2 mm arasındaki kağıtlar	9.10^{-9}

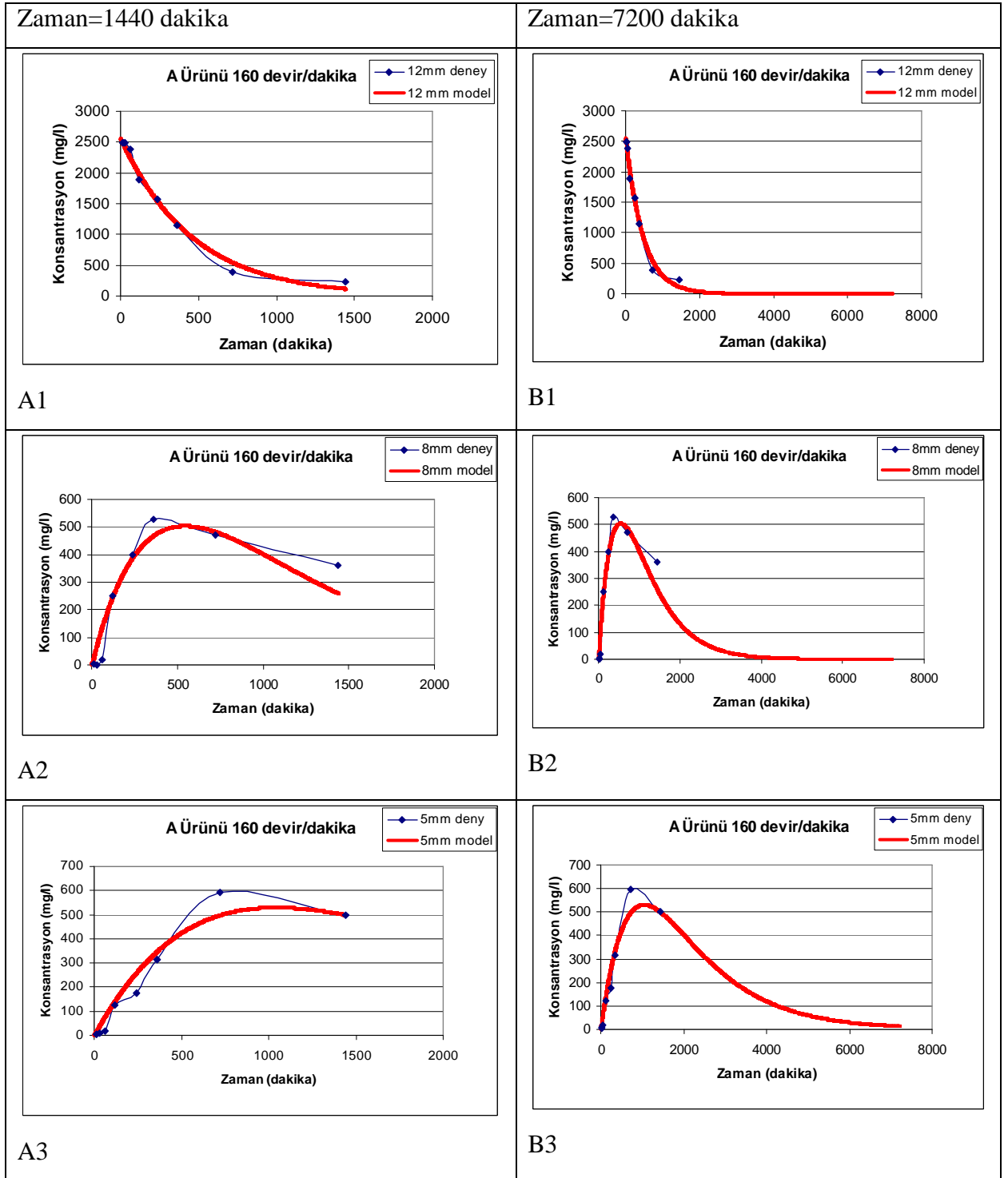
A ürününün 160 devir/dakika hızda karıştırılmasıyla parçalanması sırasında büyük kağıtların hangi oranlarda ve hangi boyut aralıklarında parçacık oluşturduklarını gösteren dağılım katsayıları Tablo 4. 6' de sunulmaktadır.

Tablo 4.6. A ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f)

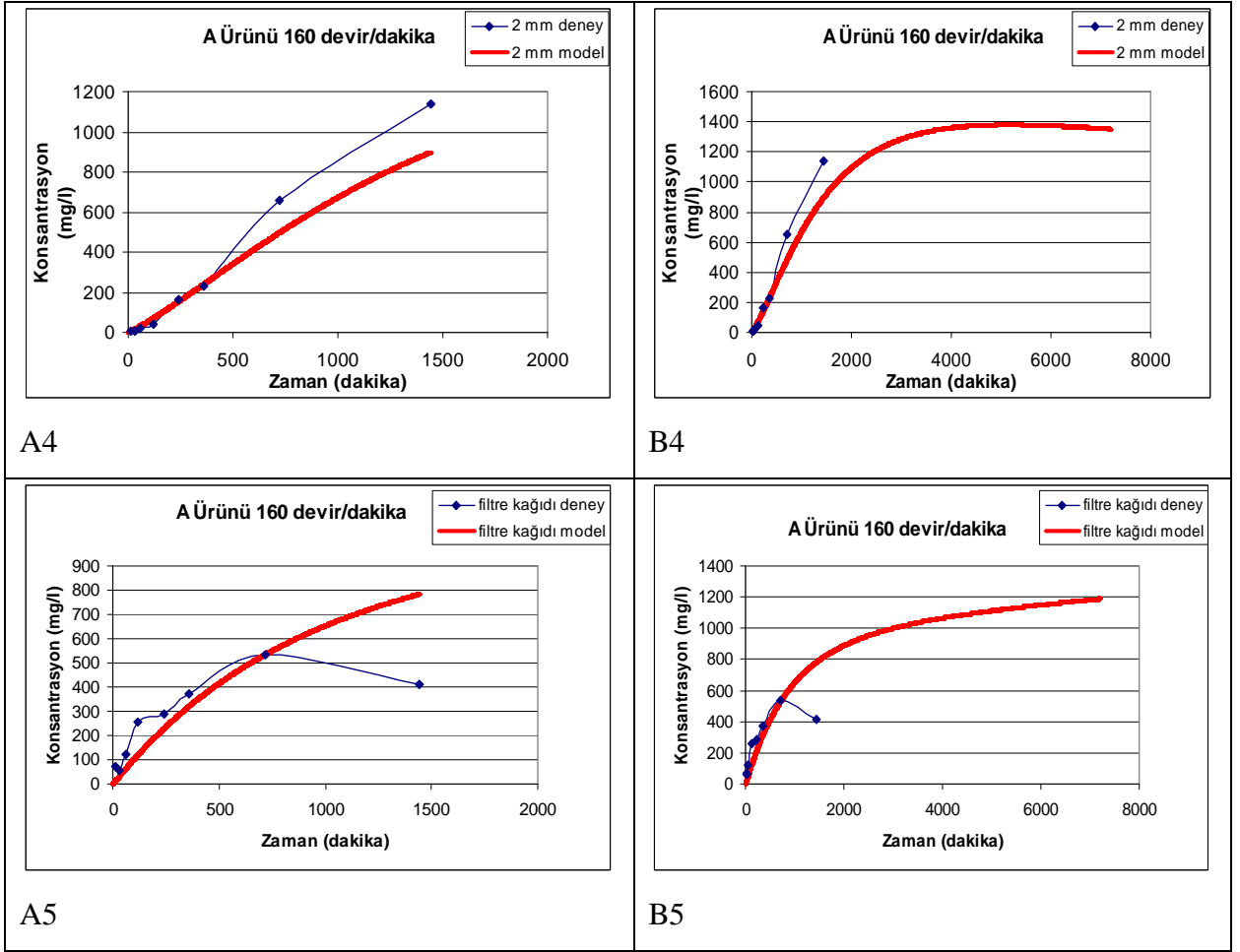
Dağılım Yüzdeleri	12 mm	8 mm	5 mm	2 mm
8 mm	0,46			
5 mm	0,24	0,4		
2 mm	0,1	0,4	0,75	
0,45 μ m	0,2	0,2	0,25	1
Toplam	1	1	1	1

Kullanılan kağıtların 160 devir/dakikada karıştırılması ile elde edilen deneysel bulgular ve kullanılan modelden çıkarılan tahminler şekil 4. 2' de verilmektedir. Şekil 4. 2' de modelin 1440 dakika işletilmesi ile elde edilen grafikler A grubu, modelin 7200 dakika işletilmesi ile elde edilen grafikler B grubu olarak ifade edilmiştir.

Şekil 4. 2' nin incelenmesi sonucunda deneylerden elde edilen sonuçların kullanılan modelin doğruluğunu büyük oranda desteklediği anlaşılmaktadır. Ayrıca yine şekil 4. 2' den görülmekte olduğu gibi deneysel çalışmanın sonlandırıldığı 1440. dakikaya kadar özellikle ana kağıdın parçalanma oranlarının aynı zaman aralıklarında modelle uyumlu oranlarda gerçekleşmesi ve bu durumun 8, 5 ve 2 mm boyutundaki parçacıkların konsantrasyonlarının da görülmesi de modelin 160 devir/dakikada başarılı olduğunun bir göstergesi olmuştur.



Şekil 4.2. A ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri



Şekil 4.2. (Devamı) A ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

4.1.3. A Ürününde 200 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması

Tablo 4. 7' de karıştırıcıda 200 devir/dakikada karıştırılan A ürününün, kullanılan elek aralıklarında tutulan kağıt miktarı ve bu elek aralığında oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4. 7. A ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

Zaman (dk)	12 mm Deneysel (mg)	12 mm Model (mg)	8 mm Deneysel (mg)	8 mm Model (mg)	5 mm Deneysel (mg)	5 mm Model (mg)	2 mm Deneysel (mg)	2 mm Model (mg)	0,45 µm Deneysel (mg)	0,45 µm Model (mg)
15	2203,3	2332,3	142,1	142,8	84,1	61,8	28	10,7	154,6	4,3
30	1761,5	2131,5	358,1	261,1	139,6	122,4	76,9	26,6	276	10,5
60	1038,9	1780,3	683,8	436,1	303,7	235,9	233,9	72,1	368,2	27,7
120	820,2	1241,9	640,2	608,4	429	416,8	377,7	206	378,5	78,9
240	510,8	604,4	89,1	592,2	1305,5	576,3	296,2	554,8	457,8	224,4
360	360,6	294,1	440,7	432,3	583,9	545,2	1036	890,6	309	389,8
480	229,5	143,1	351,3	280,5	425,6	434,6	1003	1144,9	619,5	548,9
720	129,9	33,9	168,5	99,6	269,6	211,8	1441,6	1389,6	594,6	817,1
1440	258,9	0,5	311,4	2,6	366	10,2	1186,9	1202,8	482,8	1335,9

Tablo 4.8'de A ürününün 200 devir/dakika karıştırma hızı ile parçalanmasının modelleme tahminleri sonucunda elde edilen özgün parçalanma sabitleri sunulmuştur. Bu değerler incelendiğinde büyük parçacıkların parçalanma hız sabitlerinin eşit olduğu, küçük parçacıkların parçalanma hız sabitlerinin ise daha küçük değerlerde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.8. A ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri

Kağıt Boyut Aralıkları	Özgün Parçalanma Sabiti (1/dakika)
12 mm' den büyük kağıtlar	2.10^{-6}
12-8 mm arasındaki kağıtlar	2.10^{-6}
8-5 mm arasındaki kağıtlar	2.10^{-6}
5-2 mm arasındaki kağıtlar	$1,5.10^{-7}$

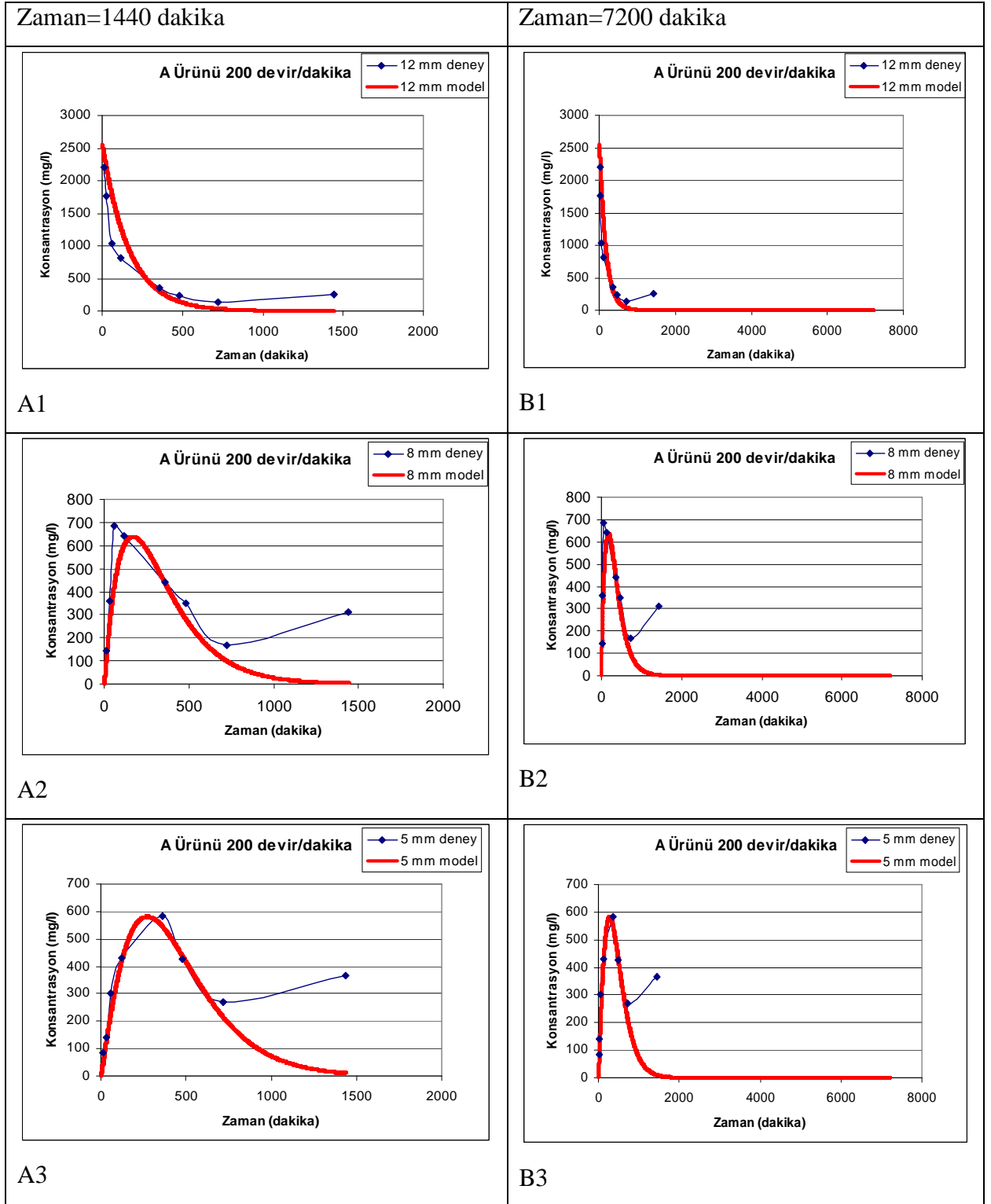
Tablo 4.9’da modelleme yolu ile elde edilen dağılım katsayıları verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde ana kağıt parçalanırken büyük oranda yine büyük parçalar oluştuğu görülmektedir.

Tablo 4.9. A ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f)

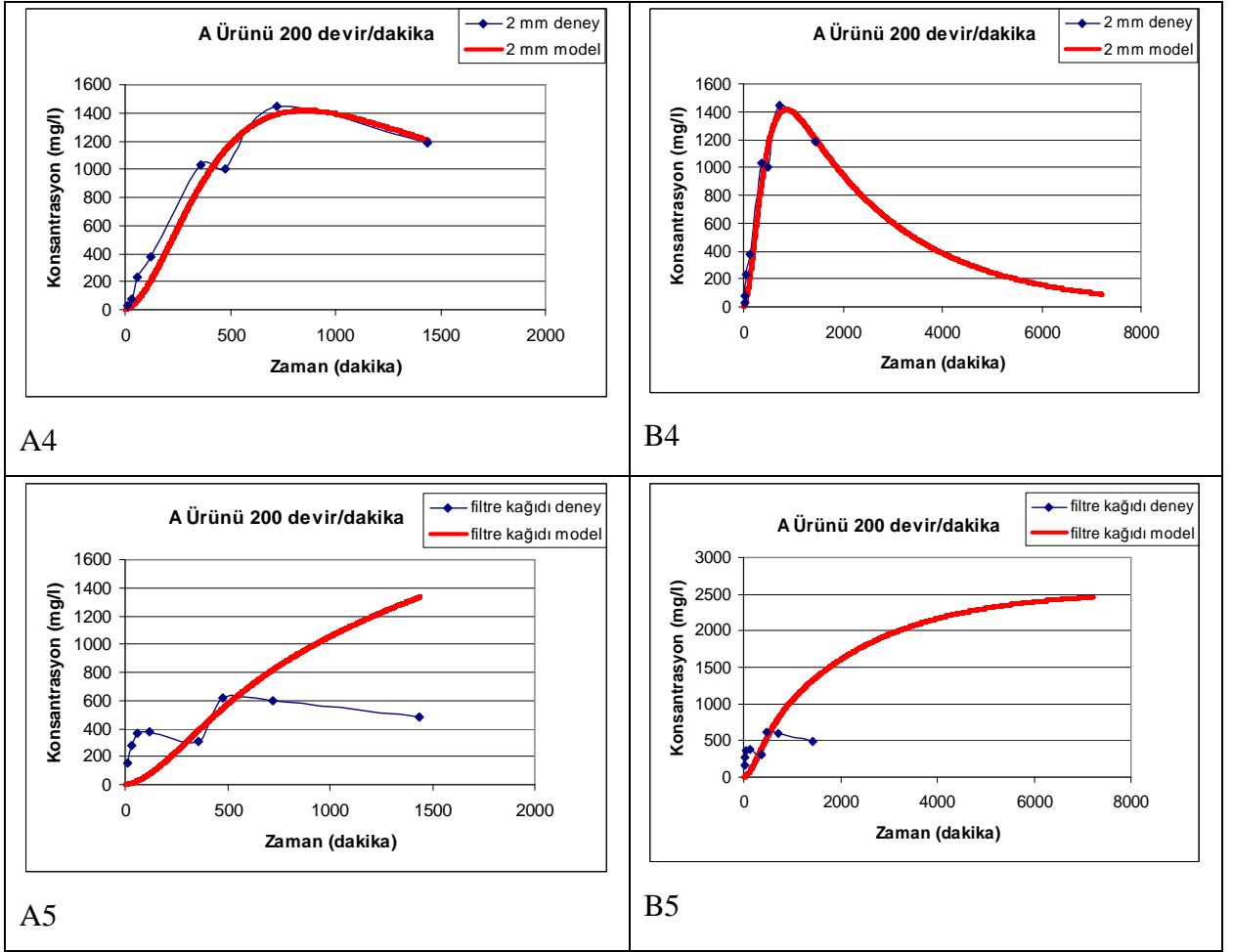
Dağılım Yüzdeleri	12 mm	8 mm	5 mm	2 mm
8 mm	0,68			
5 mm	0,27	0,8		
2 mm	0,035	0,15	0,75	
0,45 μ m	0,015	0,05	0,25	1
Toplam	1	1	1	1

Şekil 4.3’de A ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri verilmektedir. Bu grafiklerin incelenmesinden ana kağıdın 8 mm ve daha küçük boyut aralığında parçalara ayrılmasının yaklaşık 2000 dakikada gerçekleştiği görülmektedir.. 8 mm ve 5 mm boyut aralığındaki parçacıklar 240. dakikaya kadar artış göstermiş, bu noktadan sonra ise azalmaya başlamışlardır. 2 mm boyut aralığındaki parçacıkların miktarındaki artış daha uzun süre devam etmekte ve model sonuçlarına göre yaklaşık 1750. dakikadan sonra azalmaya başlamaktadır. 2 mm’lik parçacıkların tamamının filtre kağıdında toplanacak boyuta geçmesi yaklaşık 20000 dakika sürmektedir. Model sonuçlarına göre filtre kağıdında toplanan parçacıklar zamanla artış göstermekte ve yaklaşık 34000 dakika sonunda filtre kağıdında toplanan parçacıklar ana kağıdın başlangıç konsantrasyonuna ulaşmaktadır. Deneysel verilerde 1440. dakikada elde edilen değerlerin model sonuçlarından yüksek değerlerde olmasının deneysel hatadan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Bu grafiklerde de matematiksel model ile deneysel veriler arasında benzerlik yakalanmış olması modelin 200 devir/dakika karıştırma hızında başarılı olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.3. A ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri



Şekil 4.3. (Devamı) A ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

4.1.4. A Ürününde 230 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması

A ürünü kesikli reaktörde 230 devir/dakikada karıştırıldıktan sonra, oluşan parçacıkların boyutlarına göre dağılımı ve bu dağılımın belirlenmesi için kullanılan modellemeden elde edilen sonuçlar Tablo 4. 10' da verilmektedir.

Tablo 4. 10. A ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

Zaman (dk)	12 mm Deneysel (mg)	12 mm Model (mg)	8 mm Deneysel (mg)	8 mm Model (mg)	5 mm Deneysel (mg)	5 mm Model (mg)	2 mm Deneysel (mg)	2 mm Model (mg)	0,45 µm Deneysel (mg)	0,45 µm Model (mg)
15	2341,2	2344,3	85,8	75,8	27	76	10,8	52,3	126,9	51,6
30	1825	2113,7	288,1	142,4	99,2	143,3	67,6	101,7	285,7	98,9
60	1675,1	1718,4	406,5	251,8	106	254,9	89,7	192,7	323,3	182,3
120	903,4	1135,7	497,5	395,8	353,2	405,9	322,2	348,8	558	313,9
240	427,2	496,1	510,9	501,3	459,5	528,5	694,4	587,9	543,2	486,2
360	304,7	216,7	393,3	491,6	420	533,3	1026,6	764	479,1	594,4
480	260,6	94,6	381,1	441	435,7	492,4	961,1	899,4	644	672,5
720	229,5	18,1	322,8	322,1	406,1	379,7	1127,5	1089,6	415,8	790,5
1440	121,9	0,1	203,7	107,6	274,8	143,1	1339,6	1301,4	713,5	1047,8

Yüksek karıştırma hızının da etkisi ile 12 mm' de ana kağıdın parçalanma hızı diğer uygulamalara göre daha hızlı gerçekleşmiştir. Başlangıçta kullanılan kağıt miktarının 60. dakikaya kadar %40' ı parçalanırken, 240. dakikaya gelindiğinde %80' i ve deneyin sonlandırıldığı 1440. dakikada ise %95 den fazlası parçalanmıştır. 230 devir/dakika uygulamalar içindeki en yüksek karıştırma hızıdır. Diğer uygulamalardaki parçalanma hızlarına bakıldığında karıştırma hızı arttıkça, parçalanma oranının da arttığı ve parçalanma için gerekli sürenin kısaldığı söylenebilir.

230 devir/dakika ile karıştırılan ana kağıttan ayrılan 8 mm' lik parçacıkların konsantrasyonu 240. dakikaya kadar artış göstermiş, 240. dakikadan sonra bu parçacıkların da ayrışmaya başlaması ile konsantrasyonları azalmaya başlamıştır. Benzer durum 5 mm' lik parçacıklarda da görülmektedir. Bu parçacıkların konsantrasyonu da 480. dakikaya kadar artış gösterirken bu dakikadan sonra ayrışmanın etkisi ile tekrar azalmaya başlamıştır. 2 mm' lik parçacıkların

konsantrasyonları deney süresi boyunca sürekli artış eğiliminde olmuştur. Ana kağıdın parçalanması ve ana kağıttan ayrılan değişik partikül boyutuna sahip parçacıkların konsantrasyonu ile ilgili elde edilen deneysel bulgular, kullanılan modelden alınan sonuçlarla benzer bulunmuştur.

Ayrıca tablo 4. 10' da 0,45 μm ' lik parçacıkların 360. dakikada azalıp 480. dakikada tekrar atması ve aynı şekilde 720. dakikada azalıp 1440. dakikada tekrar artması deneysel hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

A ürününün 230 devir/dakika karıştırma hızında parçalanmasına ilişkin modelleme yoluyla elde edilen özgün parçalanma katsayıları Tablo 4.11'de gösterilmektedir. Benzer şekilde elde edilen dağılım oranları ise Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.11. A ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri

Kağıt Boyut Aralıkları	Özgün Parçalanma Sabiti (1/dakika)
12 mm' den büyük kağıtlar	2.10^{-6}
12-8 mm arasındaki kağıtlar	$4,5.10^{-7}$
8-5 mm arasındaki kağıtlar	$6,5.10^{-7}$
5-2 mm arasındaki kağıtlar	5.10^{-8}

Tablo 4.12. A ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f)

Dağılım Yüzdeleri	12 mm	8 mm	5 mm	2 mm
8 mm	0,3			
5 mm	0,3	0,7		
2 mm	0,2	0,2	0,8	
0,45 μm	0,2	0,1	0,2	1
Toplam	1	1	1	1

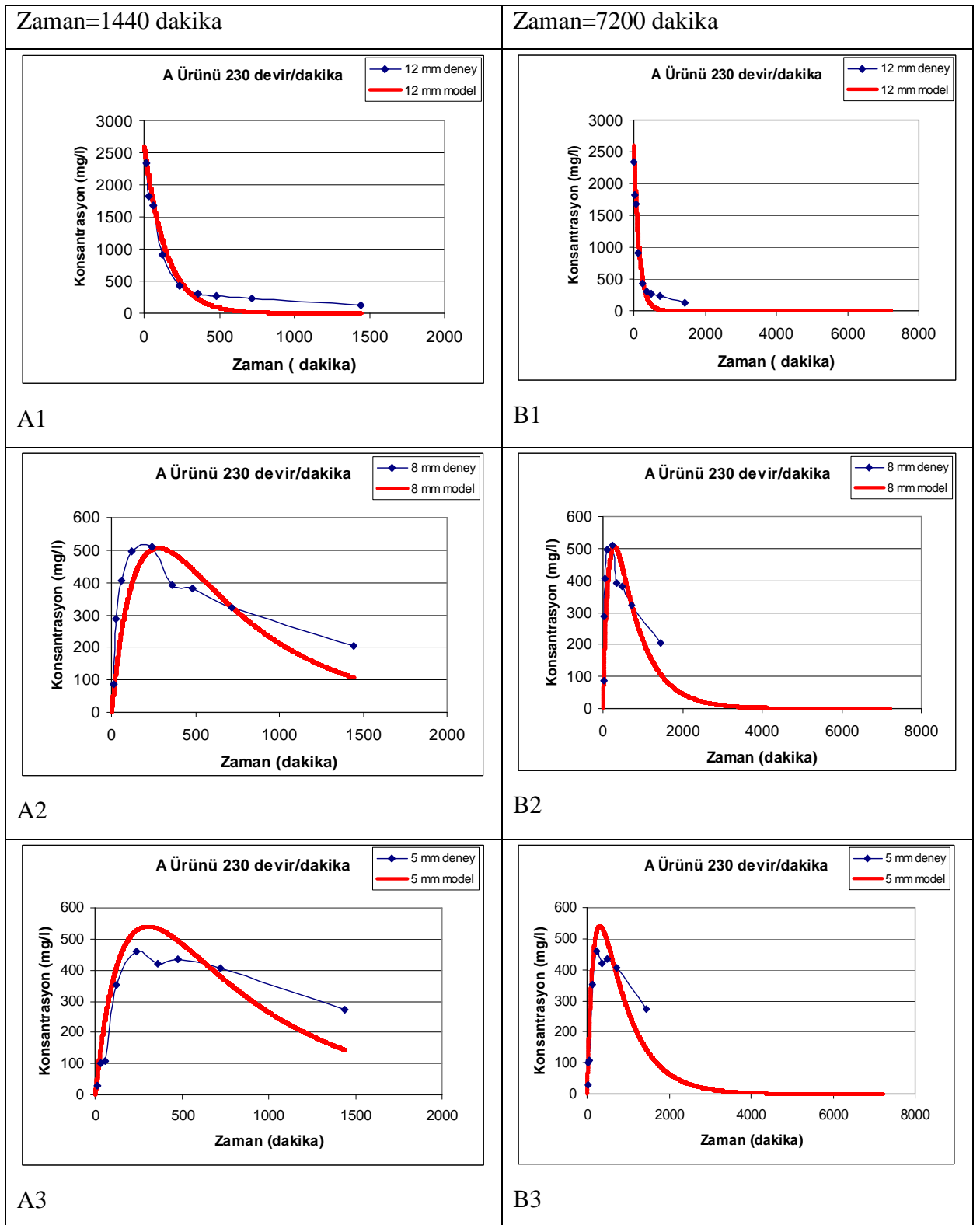
230 devir/dakikada karıştırılan ana kağıdın parçalanması ve değişik partikül boyutundaki parçacıkların oluşumu ile ilgili deneysel bulgular ve kullanılan

modelden elde edilen tahminler Şekil 4. 4' de sunulmuŐ olup, modelin 1440 dakika zaman aralıŐında işletilmesi ile elde edilen grafikler A grubu, modelin 7200 dakika zaman aralıŐında işletilmesi ile elde edilen grafikler B grubu olarak ifade edilmiştir.

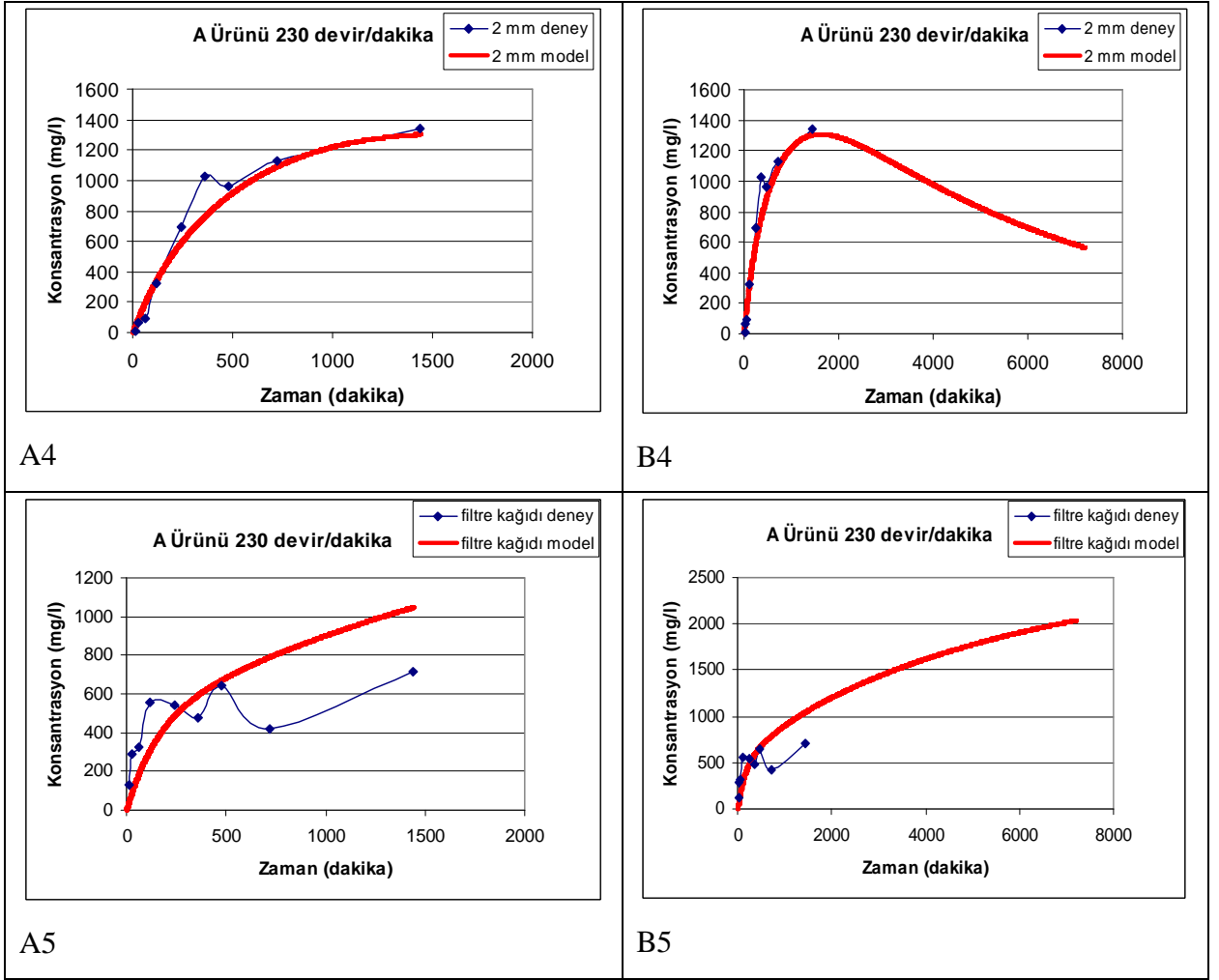
Bunun yanında A grubu grafiklerde deney suresince ana kağıdın tamamı parçalanmadıŐından, model B grubu grafiklerde daha ileri bir zaman aralıŐına kadar devam ettirilmiş ve parçalanmanın ileri safhaları da modellemeye katılmaya çalışılmıştır.

Şekil 4. 4' den de anlaşılacağı gibi deneylerden elde edilen sonuçlar ile model sonuçları büyük oranda örtüşmektedir. Özellikle ana kağıdın parçalanmasının görüldüğü A1 ve B1 grafiklerinde modelin iyi iŐlediĐi görülmektedir.

Bununla birlikte 8 mm, 5 mm ve 2 mm boyutundaki parçacıkların konsantrasyonlarındaki deĐiŐmelerin gösterildiği grafiklerde deney ve model sonuçlarını temsil eden eğriler büyük oranda paralellik gösterirken, 360. dakikada hemen hemen tüm parçacık boyutlarının konsantrasyonunda eğrilerinde görülen ve modelle uyuŐmayan sapmanın deneysel hatalardan kaynaklanmış olduğu düşünölmektedir.



Şekil 4.4. A ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri



Şekil 4.4. (Devamı) A ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

4.2. B Ürününde Deneysel Veriler ve Modelin Karşılaştırılması

4.2.1. B Ürününde 130 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması

Fiziksel parçalanma teorisinin testi için B ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri Tablo 4.13’de sunulmaktadır.

Tablo 4.13. B ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

Zaman (dk)	12 mm Deney (mg)	12 mm Model (mg)	8 mm Deney (mg)	8 mm Model (mg)	5 mm Deney (mg)	5 mm Model (mg)	2 mm Deney (mg)	2 mm Model (mg)	0,45 μ m Deney (mg)	0,45 μ m Model (mg)
15	1983,4	1936,1	0,4	59,6	1	9,1	4,5	9,3	44,6	8,8
30	1972	1853	6,2	114,2	6,6	18,7	10,2	19,5	64	17,6
60	1692,2	1697,3	100,2	209,8	70,4	38,9	44,5	42,1	180,2	34,8
120	787,9	1424,1	520,8	354,1	305	82,2	268,5	94,5	398,8	68,1
240	733,7	1002,5	542,4	504,5	333	170,4	289,6	215,3	389,1	130,3
360	626,1	705,2	534,2	539	325,5	249,6	453,8	341,5	223,8	187,1
480	496,4	496,8	529	512	438,7	313,4	436,8	461,8	376,4	239,1
720	207,5	246,2	317,6	389,7	374,2	390,6	979,1	665,2	372,5	331,3
1440	144	30	235	102	390,6	364,2	962,6	977,5	342,1	549,3

Tablo 4.14’de B ürününün 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri gösterilmiştir. Benzer şekilde elde edilen dağılım oranları da Tablo 4.15’de verilmektedir.

Tablo 4.14’deki değerler incelendiğinde kağıt boyut aralığı küçüldükçe özgün parçalanma sabitlerinin de küçüldüğü görülmüştür. A ürününün aynı hızda karıştırılması durumunda hesaplanan ve Tablo 4.2’de sunulan değerlerle kıyaslandığında B ürününün 130 devir/dakika karıştırma hızında daha büyük parçalanma sabitlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.14. B ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri

Kağıt Boyut Aralıkları	Özgün Parçalanma Sabiti (1/dakika)
12 mm' den büyük kağıtlar	$1,5 \cdot 10^{-6}$
12-8 mm arasındaki kağıtlar	$1,4 \cdot 10^{-6}$
8-5 mm arasındaki kağıtlar	$4 \cdot 10^{-7}$
5-2 mm arasındaki kağıtlar	$9 \cdot 10^{-8}$

Tablo 4.15. B ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f)

Dağılım Yüzdeleri	12 mm	8 mm	5 mm	2 mm
8 mm	0,7			
5 mm	0,1	0,4		
2 mm	0,1	0,5	0,8	
0,45 μm	0,1	0,1	0,2	1
Toplam	1	1	1	1

B ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri şekil 4.5'de sunulmuştur. A ürününde olduğu gibi B ürününde de modelin 1440 dakika zaman aralığında işletilmesi ile elde edilen grafikler A grubu, modelin 7200 dakika zaman aralığında işletilmesi ile elde edilen grafikler B grubu olarak ifade edilmiştir.

Bu grafiklerin incelenmesinden ana kağıdın parçalanması ile ilgili olarak model ve deneyin büyük oranda benzerlik gösterdiği görülmektedir. 1440 dakika sonuna kadar ana kağıdın deneysel verilerde yaklaşık %93, model sonuçlarında ise %99 oranında küçük parçacıklara ayrıştığı görülmektedir.

8 mm'lik parçacıkların davranışları incelendiğinde ise bu parçacıkların 240-360 dakikalara kadar artış gösterdiği, bu süreden sonra parçalanarak miktarlarının azaldığı görülmektedir. 1440. dakikada 8 mm'lik parçacıkların daha küçük boyutlara geçişleri henüz tamamlanmamıştır. Modelin 7200 dakika işletilmesi ile elde edilen B

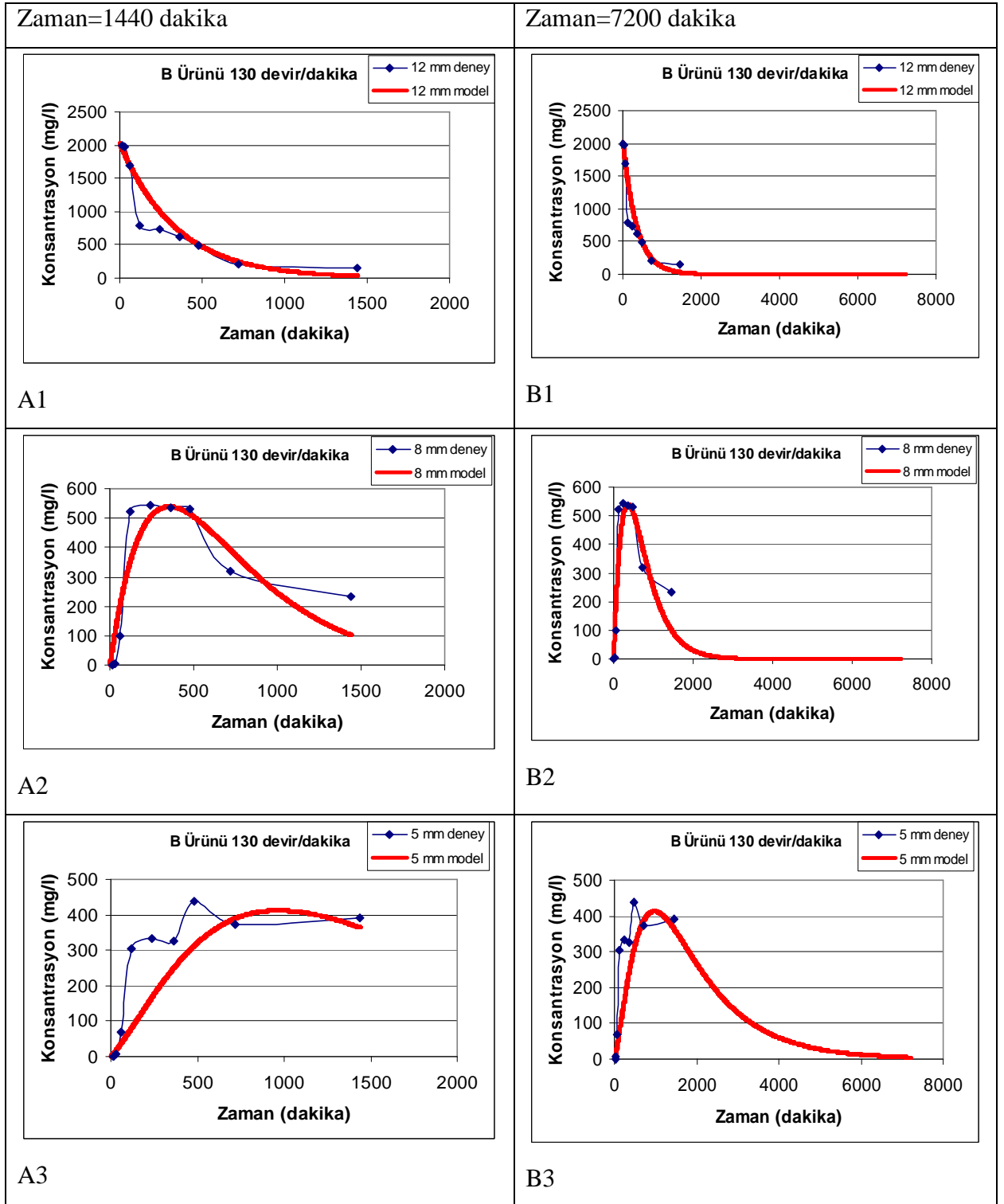
grubu grafiklerde ise bu parçacıkların yaklaşık 4000 dakika sonunda daha küçük boyut aralığındaki parçacıklara dönüşerek tükeneceği görülmektedir.

Model tahminleri 5 mm'lik parçacıkların oluşumlarının deney verilerinden daha yavaş gerçekleştiğini göstermekle birlikte 720.dakikadan sonra parçalanmanın başlamasıyla birlikte deney süresi sonunda model ve deney sonuçlarının benzer şekilde azalma gösterdiği görülmektedir. B grubu grafiklerin incelenmesinden 7200 dakika sonunda 5 mm'lik parçacıkların daha küçük boyut aralığına geçişlerinin %99 oranında tamamlandığı görülmektedir.

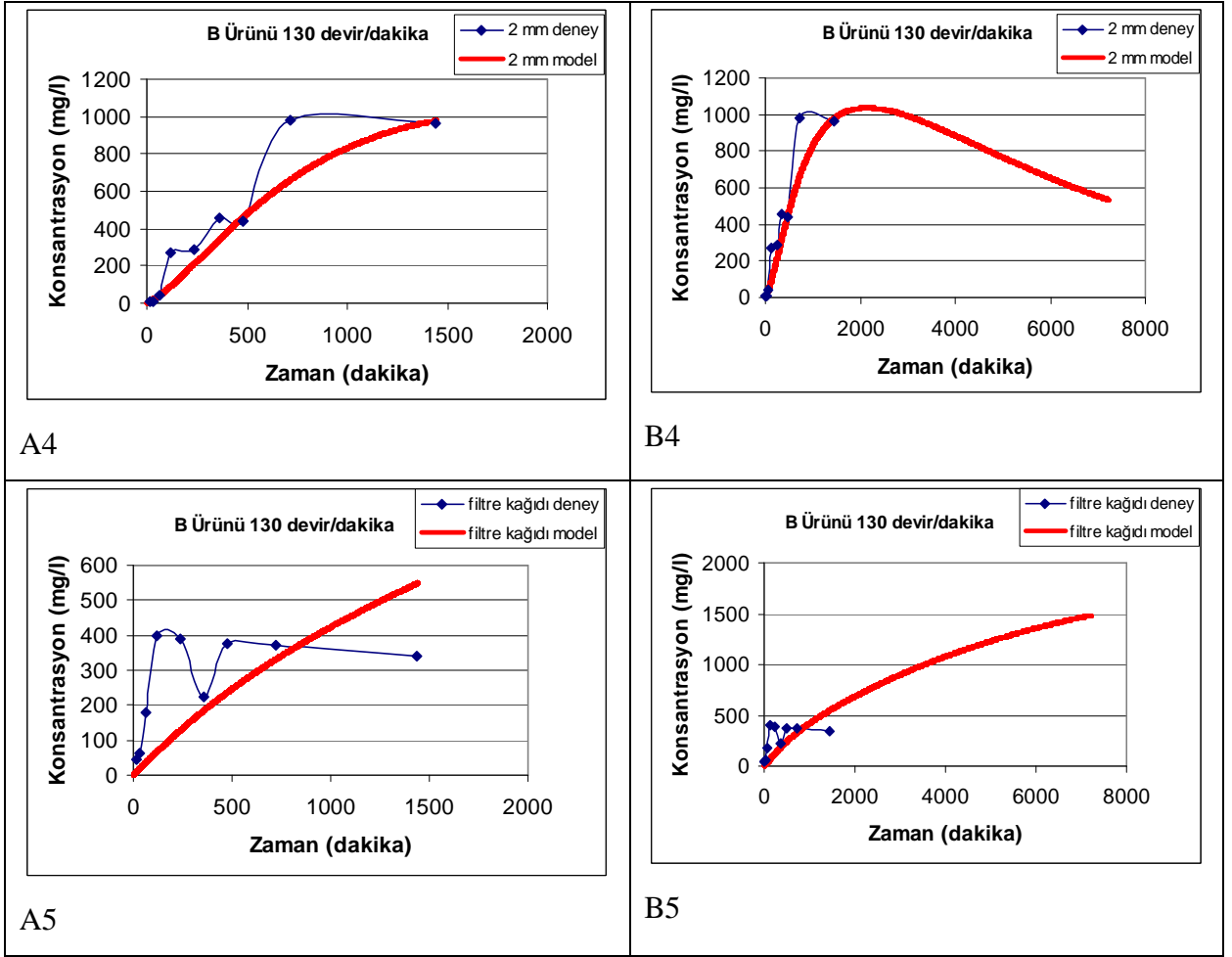
2 mm'lik parçacıkların 1440 dakikalık süreçteki davranışları büyük oranda benzerlik gösterirken 720. dakikada deneysel verilerde görülen artışın deneysel hatadan kaynaklanıyor olabileceği düşünülmektedir. 2mm'lik parçacıkların deneysel verilerdeki azalması A grubu grafiklerde 1440. dakikada görülürken modelleme tahminlerinde bu parçacıkların azalması B grubu grafiklerde görülebilmektedir.

Modelin işleyişi bu azalmanın yavaş gerçekleştiğini ve 7200 dakika sonunda 2 mm'lik parçacıkların %52'lik bölümünün 0,45 µm boyut aralığına girmiş olduğunu göstermektedir.

Filtre kağıdında toplanan parçacıkların durumu incelendiğinde deneysel verilerde filtre kağıdındaki artışın daha hızlı gerçekleşerek 720. dakikadan sonra azalma gösterdiği görülmektedir. Bu azalma deneysel hatadan kaynaklanıyor olabilir. Model tahminlerine göre ise atışın daha yavaş gözlenmekle birlikte daha uzun süre devam edeceği ve zamanla ana kağıdın başlangıç konsantrasyonuna ulaşacağı öngörülmektedir. Bu farklılık daha detaylı deneylerle araştırılabilir.



Şekil 4.5. B ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri



Şekil 4.5. (Devamı) B ürününün kesikli reaktörde 130 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

4.2.2. B Ürününde 160 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması

160 devir/dakika hızında karıştırılan B ürününün, karıştırma işlemi sonunda eleklerde tutulma miktarları ve bu eleklerde tutulma miktarlarını tahmin etmek için kullanılan modelden elde edilen sonuçlar tablo 4. 16' da sunulmuştur.

Tablo 4.16. B ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

Zaman (dk)	12 mm Deneysel (mg)	12 mm Model (mg)	8 mm Deneysel (mg)	8 mm Model (mg)	5 mm Deneysel (mg)	5 mm Model (mg)	2 mm Deneysel (mg)	2 mm Model (mg)	0,45 µm Deneysel (mg)	0,45 µm Model (mg)
15	1992,3	1851,3	16,5	92	5	54,8	2,4	76	76	25,9
30	1842,2	1632	99,8	168,2	31,9	103,3	25,2	145,8	145,1	50,6
60	644,3	1268,4	579,3	281,7	334,7	183,8	321,5	269	402,7	97,1
120	337,4	766,1	415,1	397,1	419,5	293	687,7	464,6	432,5	179,3
240	154,7	279,5	275,2	402,7	375,9	381,6	1108,2	725,9	386,8	310,4
360	221,6	101,9	334,4	314,2	410,6	382,8	913,8	891,7	446,5	409,3
480	145,6	37,2	229,9	223,3	297,1	348,1	1177	1006,2	395,6	485,2
720	665,2	4,9	469,1	101,2	357,6	252,9	382,2	1150,9	406,6	590,1
1440	164,4	0,01	253,6	7,8	353,9	67,8	1110,7	1300,9	194,3	723,5

Tablo 4. 16' da ki veriler incelendiğinde ilk 60 dakikada ana kağıdın %70 oranında parçalandığı ve 480. dakikaya geldiğinde ise parçalanma oranının %90' ın üstüne çıktığı anlaşılabılır. Bu durum kullanılan modelde elde edilen sonuçları da desteklemektedir. Ana kağıdın parçalanması sürerken 360. ve özellikle 720. dakikalarda eleklerde tutulan kağıt miktarının arttığı görülmekle birlikte bu artışın ana kağıttan ayrılan daha küçük parçacıkların çekim güçleri sebebiyle birbirlerine yapışması ve topaklar oluşturmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Ana kağıttan kopan 8 mm ve 5 mm' lik parçacıkların konsantrasyonları başlangıçta artarken, bu parçacıklarında ayrışarak daha küçük parçalara bölünmesi ile 8 mm' lik parçacıklarda 120. dakikada, 5 mm' lik parçacıklarda 240. dakikadan sonra azalma görülmeye başlamış ve bu azalma kullanılan modelden alınan sonuçlara da uygun olarak deneyin sonlandırıldığı 1440. dakikaya kadar devam etmiştir. Bunun yanında her iki parçacığın konsantrasyonlarında 720. dakikada görülen geçici artışın ana kağıdın parçalanmasında da görülen topaklamanın sonucu gerçekleşmiş olabileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4. 16' da ki 2 mm ve 0,45 μm boyutundaki parçacıkların konsantrasyonları incelendiğinde ise her iki parçacık boyutundaki kağıtların da deney süresi olan 1440. dakikaya kadar sürekli artış içinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum kullanılan modelde de benzer şekilde gerçekleşmiş olup, modelde süre uzatıldığında 2 mm' lik parçacıkların da zamanla azalacağı tahmin edilmektedir. Tablo 4. 16' da 720. dakikada 2 mm' lik parçacıkların konsantrasyonunda hızlı bir azalma görülmekle birlikte, hem bu zamanın çok fazla olması hem de 1440. dakikada bu parçacıkların konsantrasyonunun artması, bu azalmanın deneysel bir hatadan kaynaklanmış olabileceği sonucunu doğurmaktadır.

Tablo.4.17. B ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri

Kağıt Boyut Aralıkları	Özgün Parçalanma Sabiti (1/dakika)
12 mm' den büyük kağıtlar	$3,5 \cdot 10^{-6}$
12-8 mm arasındaki kağıtlar	$1,5 \cdot 10^{-6}$
8-5 mm arasındaki kağıtlar	$9 \cdot 10^{-7}$
5-2 mm arasındaki kağıtlar	$9 \cdot 10^{-9}$

Tablo 4.18. B ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f)

Dağılım Yüzdeleri	12 mm	8 mm	5 mm	2 mm
8 mm	0,38			
5 mm	0,22	0,4		
2 mm	0,3	0,35	0,6	
0,45 μm	0,1	0,25	0,4	1
Toplam	1	1	1	1

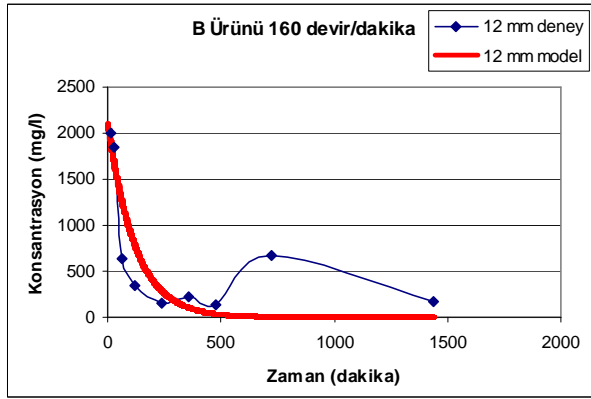
Şekil 4. 6' da B ürününün 160 devir/dakika' daki parçalanma sonuçları ve aynı karıştırma hızında yapılan modelleme tahminleri grafiksel olarak verilmektedir. Ayrıca A grubu grafiklerde deney süresi bazı parçacık boyutlarının

konsantrasyonlarındaki değişim karakteristiğini açıklamak için kısa kaldığından, deney süresi artırılarak B grubu grafikler çizilmiştir.

Grafiklerde deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile modelleme sonuçlarının bazı noktalarda önemsiz sapmalar olmasına rağmen benzer olduğu görülmektedir. Ayrıca ana kağıttaki parçalanma ve 8 mm ve 5 mm' lik parçacıkların oluşumu ve daha sonra bu parçacıklarında ayrışmasıyla konsantrasyonlarının azalması açık olarak görülmektedir. Buna karşın ana kağıt ve 8 mm ve 5 mm' lik parçacıklarının konsantrasyonu azalma eğiliminde iken 720. dakikada parçacıkların birbirlerine tutunarak topaklaşması ile aniden yükselmiş, bu dakikadan sonra ise modele de uygun olarak tekrar azalma devam etmiştir.

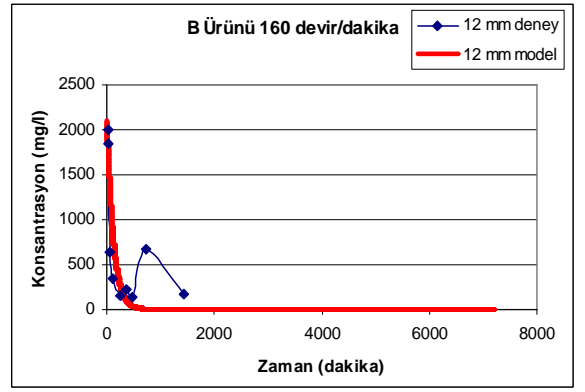
Bununla birlikte kullanılan modelleme de sürenin uzatılmasıyla elde edilen B grubu grafikler özellikle 2 mm ve 0,45 μm ' lik parçacıkların davranışlarının belirlenmesi için yararlı bulunmuştur.

Zaman=1440 dakika

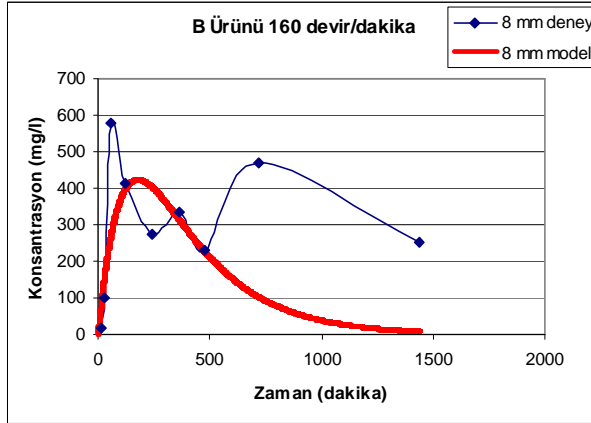


A1

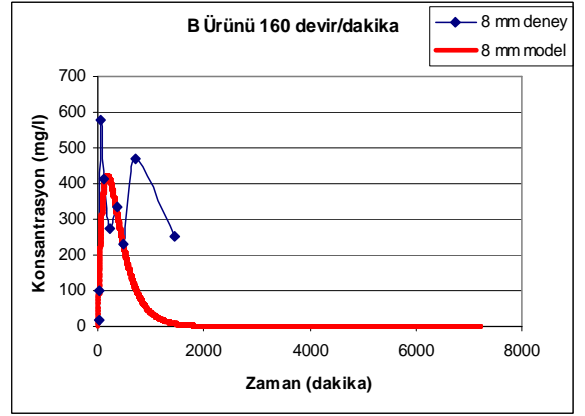
Zaman = 7200 dakika



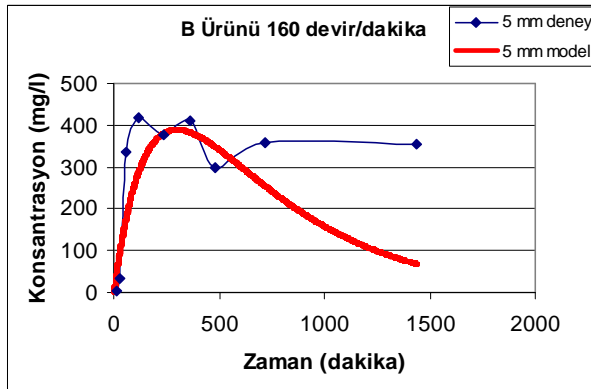
B1



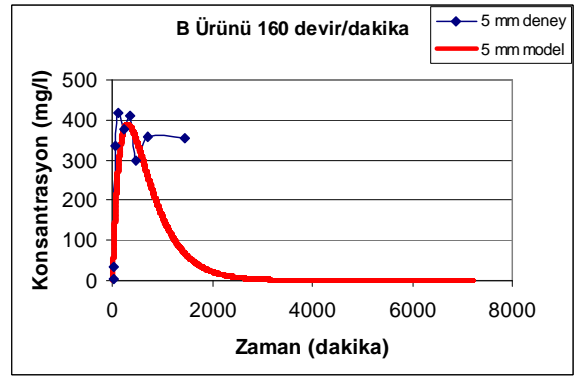
A2



B2

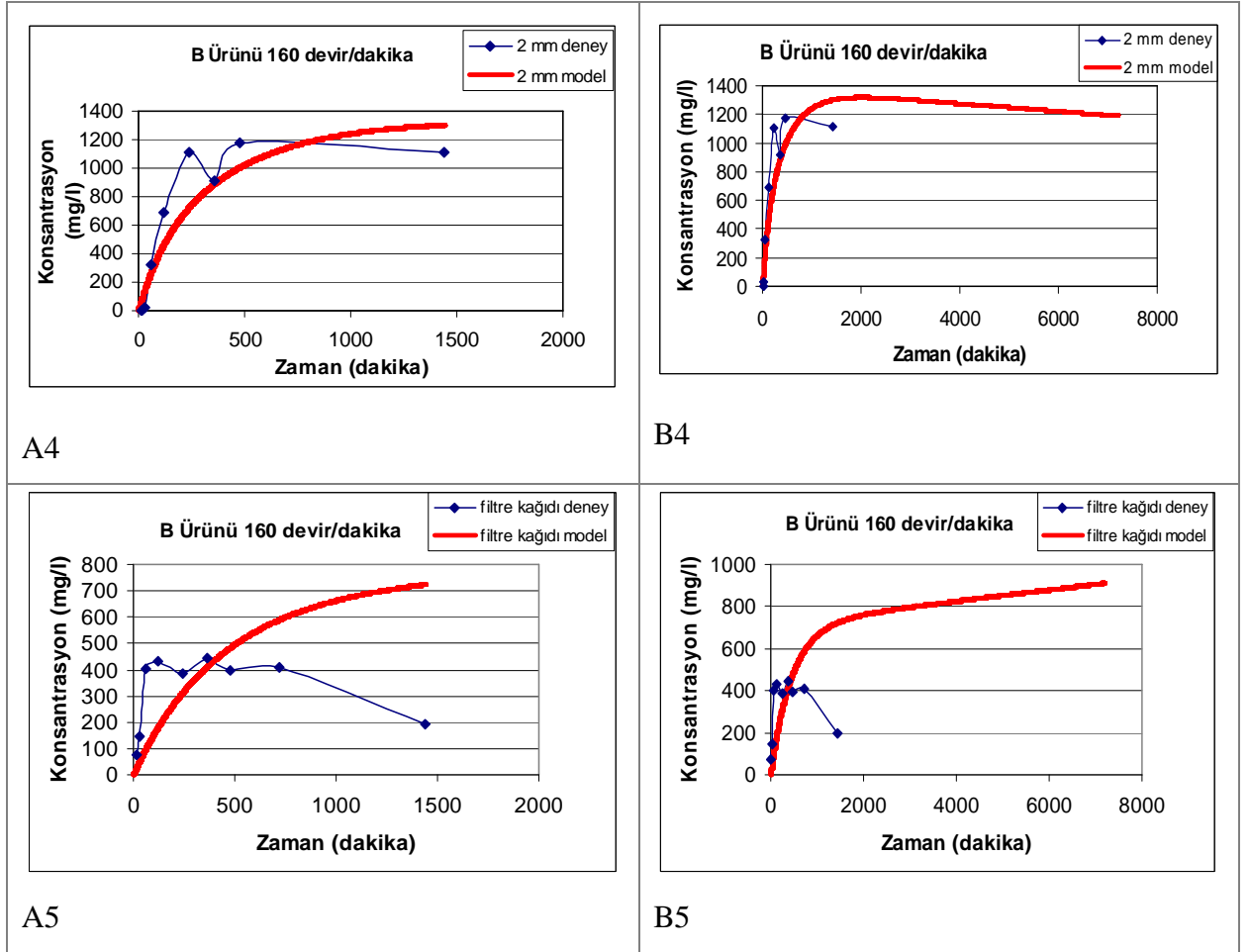


A3



B3

Şekil 4.6. B ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri



Şekil 4.6. (Devamı) B ürününün kesikli reaktörde 160 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

4.2.3. B Ürününde 200 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması

B ürününün, 200 devir/dakika hızla karıştırılmasından sonra deneyde kullanılan elek boylarında tutulan kağıt miktarı ve tutulan kağıt miktarının tahmini için kullanılan modelden çıkan sonuçlar tablo 4. 19' da görülmektedir.

200 devir/ dakikada karıştırılan ana kağıdın yaklaşık % 60' ı deneyin ilk 15 dakikasında ayrılmış, bu oran 120. dakikaya gelindiğinde % 95 seviyelerine çıkmıştır. Uygulamanın 720. dakikasında belirlenen ana kağıt miktarında bir miktar artış olmuş gibi görülmekle birlikte, bu artışın ana kağıttan ayrılan parçacıkların, çekim kuvvetinin de etkisi ile tekrar bir araya toplanıp topak oluşturmamasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca ana kağıdın parçalanmasının tahmini için kullanılan modelden elde edilen sonuçlar ile parçalanma deneyinden çıkan sonuçlar benzer bulunmuştur.

Ana kağıdın parçalanması ile oluşan 8 mm ve 5 mm'lik parçacıklar benzer şekilde önce artmış daha sonra bu parçacıklarında daha küçük parçacıklara ayrışması ile azalmaya başlamıştır. Bu durum 8 mm' lik parçacıklarda 30. dakikadan, 5 mm' lik parçacıklarda ise 60. dakikadan itibaren görülmeye başlanmıştır.

2 mm'lik parçacıklar deney süresince, ana kağıt ve ana kağıttan ayrılan parçacıkların tekrar ayrışması neticesinde sürekli artış göstermiştir. Kullanılan model 2 mm'lik parçacıkların da 480. dakikadan sonra ayrışarak azalmaya başlayacağını ve 0,45 μm ' lik parçacıklara dönüşeceğini göstermektedir. Ancak deney süresi 1440 dakikada sona erdirildiğinden bu durum deneysel sonuçlarda gözlemlenememiştir. 2 mm' lik parçacıkların konsantrasyonunda 360, 480 ve 720. dakikalarda görülen düşüşlerin bu parçacıkların ayrışmasından değil, deneysel hatalardan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

200 devir/dakikada karıştırılan kağıtların parçalanması ve daha küçük parçacıkların oluşmasını gösteren ve 1440 dakika süren uygulamaların sonuçları ve bu parçalanmanın önceden tahmini için kurulan modelden elde edilen verileri gösteren

grafikler şekil 4.7' de A grubu grafiklerde, parçalanma prosesinin işleyişini tam olarak belirleyebilmek için model süresinin uzatılması ile elde edilen grafikler ise B grubu grafiklerde sunulmaktadır. Tüm uygulamalarda deney ve modelden elde edilen sonuçların benzer olduğu grafiklerden de görülmektedir. Grafiklerde deney ve model arasında oluşan farklılıklar tablo 4. 19' da açıklanmıştır.

Tablo 4. 19. B ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

Zaman (dk)	12 mm Deney (mg)	12 mm Model (mg)	8 mm Deney (mg)	8 mm Model (mg)	5 mm Deney (mg)	5 mm Model	2 mm Deney	2 mm Model	0,45 μ m Deney	0,45 μ m Model
15	702,8	1650,3	475,2	141,6	349,8	137,4	298,5	70,4	231,6	21,3
30	717,1	1347,6	445,2	245,1	374,3	243,1	373,3	141,3	243	44
60	277,8	898,6	379	368,1	496,35	381,8	643,4	280	275,4	92,5
120	127,2	399,5	200,4	420,5	379,9	478,8	1024,5	526,1	348	196
240	138	79	202,1	287,7	281,8	398,6	1022,3	848,1	399,4	407,7
360	136,6	15,6	212,3	156,5	299,3	263,8	958	975,4	470,8	609,8
480	130,7	3,1	179,6	79,4	205,9	161,6	887,3	980,9	617	796
720	352,5	0,1	343,4	19,2	346,6	55	590,1	833,6	519,2	1113
1440	149	0	225,4	0,3	314	1,6	1029	348,1	366,8	1671

Tablo 4.20'de B ürününün 200 devir/dakika karıştırma hızı ile parçalanmasının modelleme tahminleri sonucunda elde edilen özgün parçalanma sabitleri sunulmuştur. Bu değerler incelendiğinde büyük parçacıkların parçalanma hız sabitlerinin büyük olduğu, küçük parçacıkların parçalanma hız sabitlerinin ise daha küçük değerde olduğu görülmektedir.

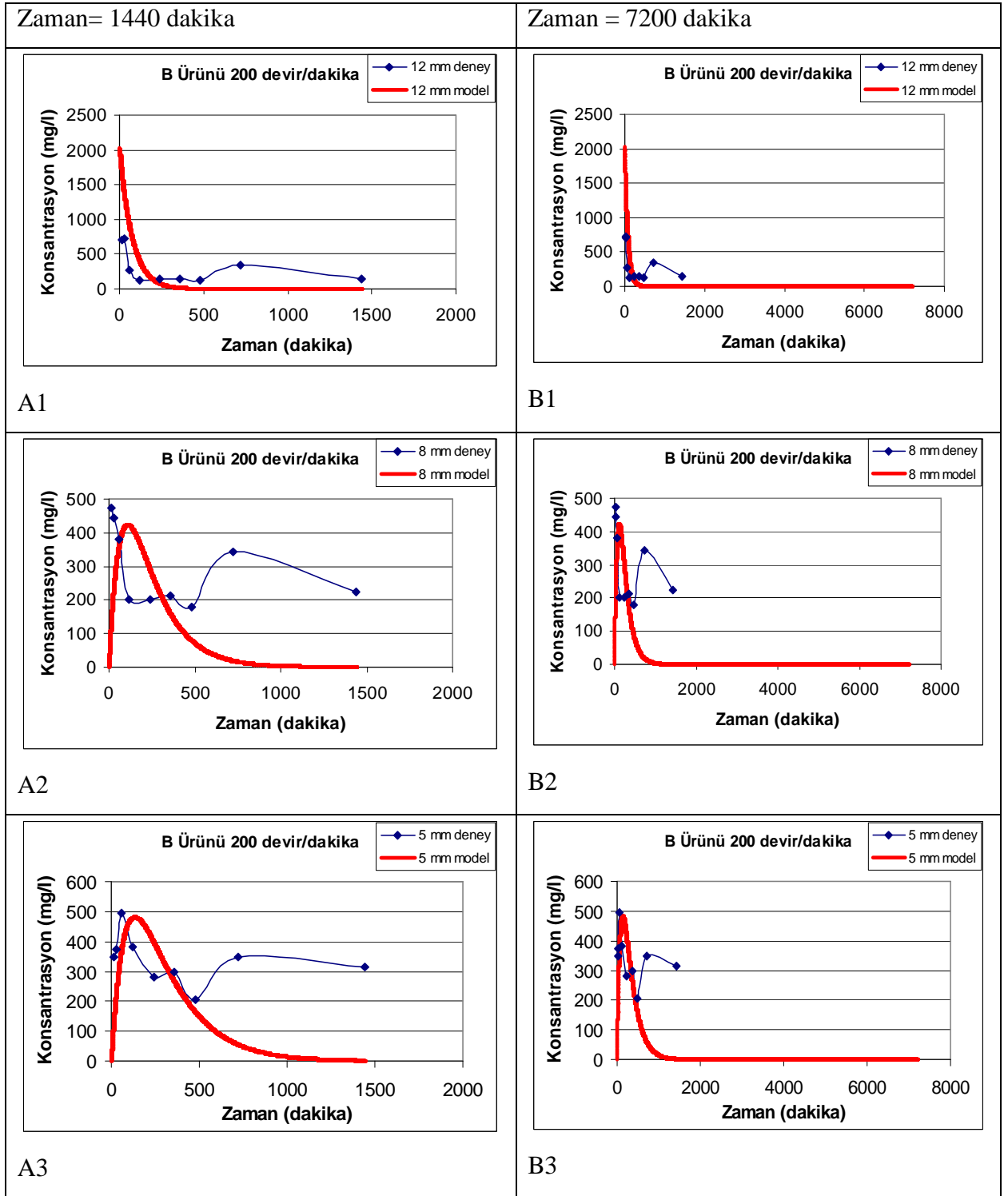
Tablo 4. 20. B ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri

Kağıt Boyut Aralıkları	Özgün Parçalanma Sabiti (1/dakika)
12 mm' den büyük kağıtlar	$4,5 \cdot 10^{-6}$
12-8 mm arasındaki kağıtlar	$2 \cdot 10^{-6}$
8-5 mm arasındaki kağıtlar	$1,8 \cdot 10^{-6}$
5-2 mm arasındaki kağıtlar	$4,5 \cdot 10^{-7}$

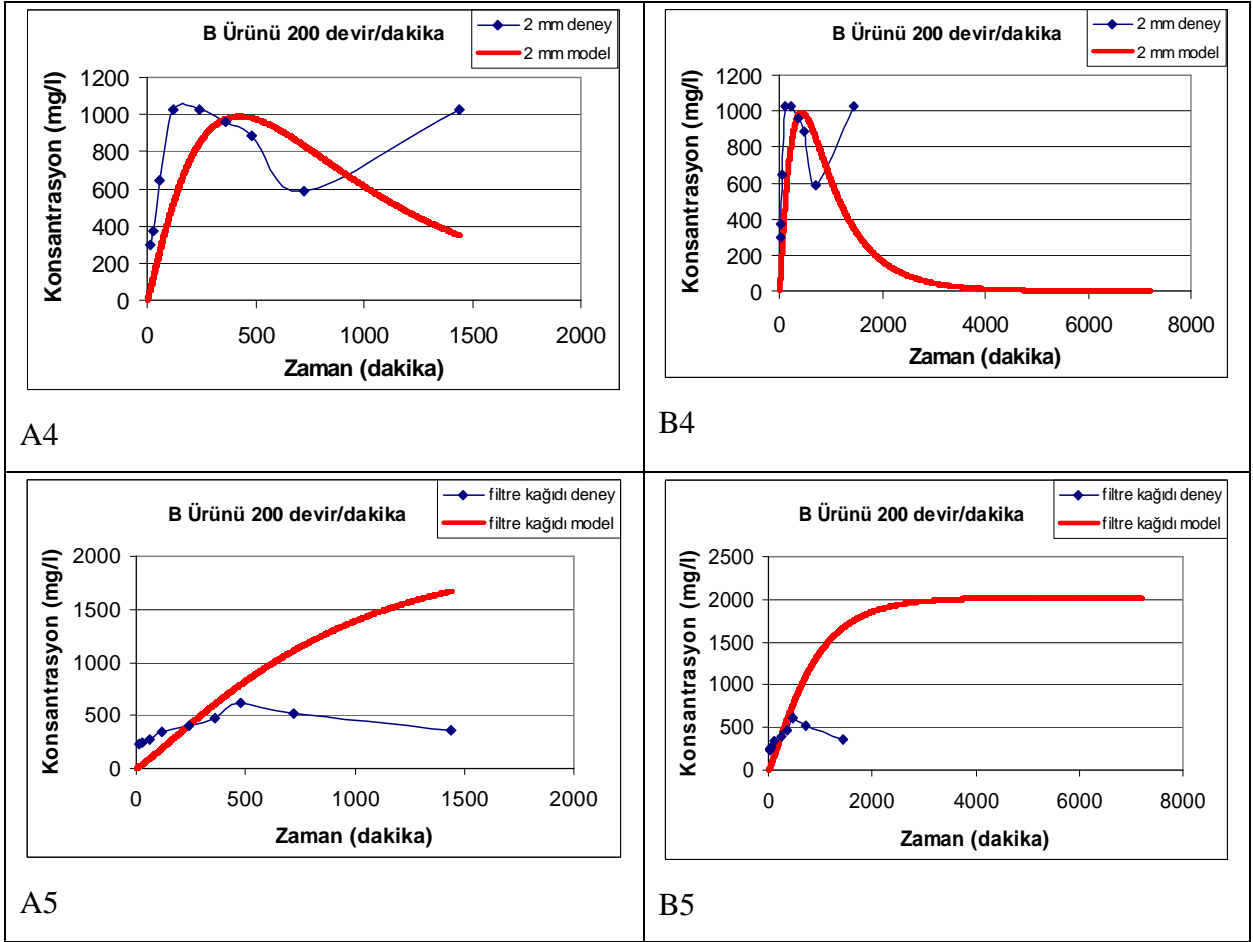
Tablo 4.21’de ise modelleme yolu ile elde edilen dağılım katsayıları verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde ise ana kağıt parçalanırken büyük oranda yine büyük parçalar oluştuğu görülmektedir.

Tablo 4. 21. B ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f)

Dağılım Yüzdeleri	12 mm	8 mm	5 mm	2 mm
8 mm	0,4			
5 mm	0,38	0,35		
2 mm	0,17	0,35	0,99	
0,45 μm	0,05	0,3	0,01	1
Toplam	1	1	1	1



Şekil 4.7. B ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri



Şekil 4.7. (Devamı) B ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

4.2.4. B Ürününde 230 devir/dakika da deneysel veriler ve modelin karşılaştırılması

B ürününün karıştırıcıda 230 devir/dakika da karıştırılmasından sonra, kullanılan elek aralıklarında tutulan kağıt miktarları ve kullanılan modelde bu elek aralıklarında elde edilen sonuçlar tablo 4. 22' de sunulmaktadır.

Tablo 4. 22' nin incelenmesinden anlaşılacağı gibi 12 mm'de elde edilen sonuçlar, kullanılan ana kağıdın 15. dakikada yaklaşık % 60' ının parçalandığını göstermektedir. 60. dakikadan sonra parçalama hızlanmış, 720. dakikaya geldiğinde de başlangıçta kullanılan ana kağıdın %95' den fazlası parçalanmıştır.

8, 5 ve 2 mm' lik değerlere bakıldığında 8 mm' lik parçacıkların diğer uygulamalardan farklı şekilde hızlı karıştırmanın etkisiyle 15. dakikadan itibaren azaldığı, 5 mm' lik parçacıklarda ise başlangıçta artmakta olan konsantrasyonun 60. dakikadan sonra bu parçacıklarında da daha küçük parçacıklara ayrışması neticesinde azaldığı anlaşılmaktadır. Bu durum ana kağıdın 230 devir/ dakikada karıştırılmasından sonra oluşacak parçacıkların dağılımını tahmin etmek için kullanılan modele uygun olduğu söylenebilir. Bununla birlikte 2 mm' lik ve 0,45 μ m' lik parçacıkların konsantrasyonları benzer şekilde deneyin başlangıcından itibaren sürekli artmış ve 2 mm' lik parçacıklar deneyin sonlandırıldığı 1440. dakikaya kadar belirgin bir şekilde ayrışmaya başlamamıştır.

Deneylerde elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri şekil 4. 8' de sunulmaktadır. Şekil 4. 8' de A grubu modelin 1440 dakika zaman aralığında, B grubu ise 7200 dakika zaman aralığındaki davranışını göstermektedir.

Grafiklerde de görülmekte olduğu gibi deneysel sonuçlar ile oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Deneysel çalışma 1440. dakikada sonlandırılmıştır. Bu nedenle A grubu grafiklerde ana kağıdın büyük kısmının parçalanmış olsa da, 2 mm' lik parçacıkların ayrışma karakteristiği tam olarak belirlenememiş, ancak B grubu grafiklerde model 1440. dakikadan sonraya devam ettirildiğinde bu parçacıkların davranışı da daha iyi anlaşılabilmiştir.

Tablo 4. 22. B ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

Zaman (dk)	12 mm Deney (mg)	12 mm Model (mg)	8 mm Deney (mg)	8 mm Model (mg)	5 mm Deney (mg)	5 mm Model (mg)	2 mm Deney (mg)	2 mm Model (mg)	0,45 μ m Deney (mg)	0,45 μ m Model (mg)
15	709,3	1590,8	533,7	275	357,3	112,8	316,5	54,4	207,6	28
30	697,1	1227,8	472,8	435,9	341,1	213,7	335,4	125,7	291,2	57,9
60	210,7	731,5	290,1	547,7	497,7	371,6	801,5	290,7	290,8	119,6
120	110,5	259,6	180,6	433,5	360,6	521,1	1067,7	609,9	347,4	236,8
240	149,6	32,7	212,2	137,3	340	453,9	1105,5	1018,3	308	418,9
360	139,2	4,1	179,1	33,1	265,2	286,4	1062,4	1194,4	465,2	543
480	131,3	0,5	175,9	7,2	236,8	163,2	946,9	1257,2	633,2	632,9
720	95,1	0,01	145,6	0,3	208,4	48,5	1149,7	1249	465,2	763,1
1440	159	0	208,7	0	301,4	1,2	1039	1027	378,1	1032,8

Tablo 4. 23'de B ürününün 230 devir/dakika karıştırma hızı ile parçalanmasının modelleme tahminleri sonucunda elde edilen özgün parçalanma sabitleri sunulmuştur. Bu değerler incelendiğinde büyük parçacıkların parçalanma hız sabitlerinin birbirine yakın değerlerde olduğu, küçük parçacıkların parçalanma hız sabitlerinin ise daha küçük değerlerde olduğu görülmektedir.

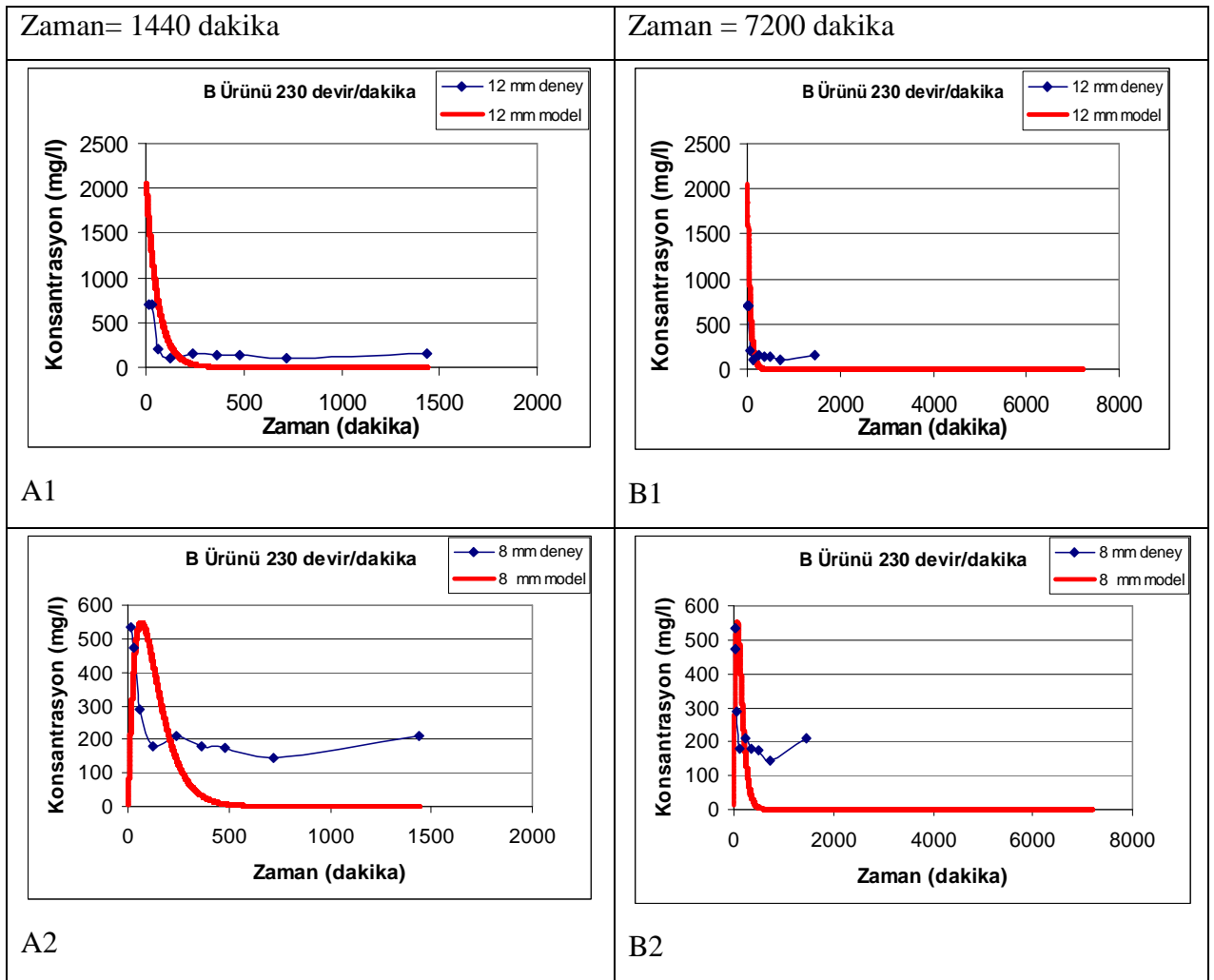
Tablo 4. 23. B ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda farklı boyut aralıklarındaki kağıt parçaları için modelleme yoluyla hesaplanan özgün parçalanma sabitleri

Kağıt Boyut Aralıkları	Özgün Parçalanma Sabiti (1/dakika)
12 mm' den büyük kağıtlar	$5 \cdot 10^{-6}$
12-8 mm arasındaki kağıtlar	$4 \cdot 10^{-6}$
8-5 mm arasındaki kağıtlar	$1,5 \cdot 10^{-6}$
5-2 mm arasındaki kağıtlar	$9 \cdot 10^{-8}$

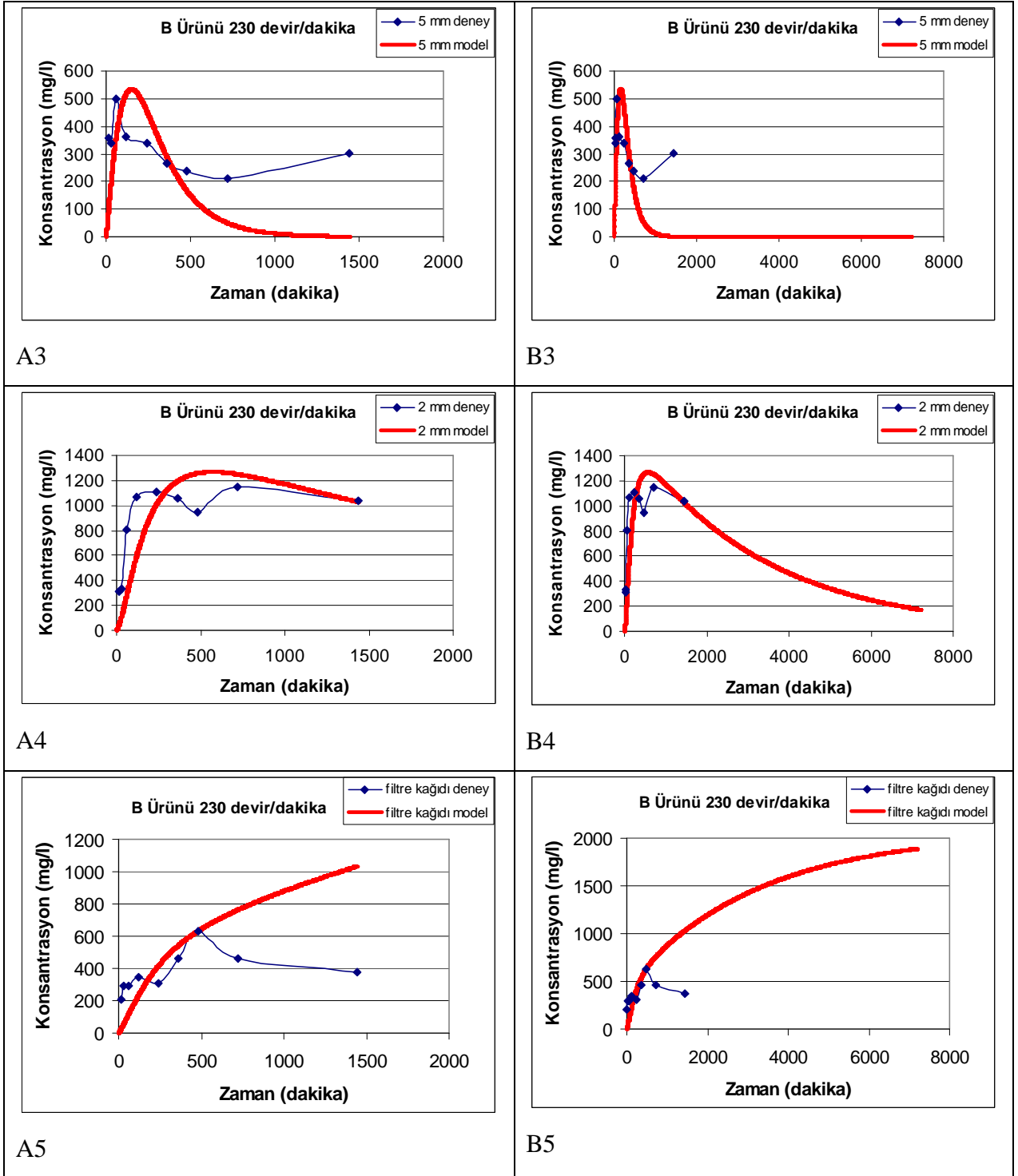
Tablo 4. 24'de ise modelleme yolu ile elde edilen dağılım katsayıları verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde ise ana kağıt parçalanırken büyük oranda yine büyük parçalar oluştuğu görülmektedir.

Tablo 4.24. B ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda modelleme yoluyla hesaplanan dağılım katsayıları (f)

Dağılım Yüzdeleri	12 mm	8 mm	5 mm	2 mm
8 mm	0,65			
5 mm	0,22	0,45		
2 mm	0,08	0,45	0,7	
0,45 μ m	0,05	0,1	0,3	1
Toplam	1	1	1	1



Şekil 4. 8. B ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri



Şekil 4.8. (Devamı) B ürününün kesikli reaktörde 230 devir/dakika karıştırma hızında parçalanması deneyinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada atık tuvalet kağıtlarının parçalanmaları üzerine matematiksel modelleme çalışması yapılmıştır. Tuvalet kağıtlarının parçalanma özellikleri yapılarına göre farklılık gösterdiğinden iki değişik kağıt numunesi ile çalışma gerçekleştirilmiştir.

Kağıtların parçalanmaları, içerisinde 1 L su bulunan bir beher içerisine bırakılarak, beherin farklı dönüş hızlarında karıştırılması ve belirli zaman aralıklarıyla numunelerin alınması ile deneysel olarak tespit edilmiştir. Bu deneysel çalışmalarla elde edilen veriler modelleme tahminleri ile birleştirilerek kağıtların parçalanmaları hakkında detaylı bulgular elde edilmiştir.

Deneysel veriler A ürününün B'ye göre daha geç zaman aralığında parçalandığını göstermiş olup, modelleme tahminleri de deneysel verileri doğrulamıştır. Bu durumda A ürününün daha mukavemetli olduğu gözlemlenmektedir.

Matematiksel modelleme yoluyla yapılan tahminler deneysel verilerle karşılaştırılarak her bir kağıt türü için özgün parçalanma sabitleri belirlenmiştir. Bu sabitlerin değerlerine bakıldığında büyük parça kağıtların daha hızlı parçalandığı, orta boylardaki parçaların birbirlerine yakın hızlarda parçalandığı ve küçük parçaların ise daha yavaş parçalandığı görülmektedir. Bu durum beklenen bir durum olup, büyük parçalardaki yüzey alanının genişliği nedeniyle daha fazla fiziksel kuvvetin kağıda etkide bulunduğunu göstermektedir. Küçük parçalar ise fiziksel kuvvetlerden daha az etkilenerek suyla birlikte daha kolay hareket ettikleri için daha küçük parçalanma sabitine sahip olmaktadır.

Kağıtların parçalanma sabitlerinin yanısıra, ana kağıdın parçalanması esnasında hangi miktarlarda küçük parçaların oluştuğunu belirleyen dağılım katsayıları da bu

çalışma sonucunda tespit edilmiştir. Bu dağılım katsayılarına (örneğin Tablo 4.24) bakıldığında ana kağıdın parçalanmasıyla ilgili mantıksal bir durum görülmektedir. Buna göre, ana kağıt parçalanırken kısa zaman aralığı içerisinde (5-15 dakika gibi) büyük oranda yine büyük parçalar (3-5mm gibi) oluşturmaktadır. Bu zaman aralığı içerisinde az miktarda çok küçük parçaların oluştuğu, ancak zamanın uzun döneme gitmesiyle tüm parçaların küçük parçalara dönüştüğü anlaşılmaktadır. Bu bulgular model tahminleri ile deneysel verilerin karşılaştırılması ve dağılım katsayılarının (f) değerlerinin incelenmesiyle elde edilmiştir. Dağılım katsayıları yukarıdaki hipotezi doğrulamaktadır.

Model ana parçacıkların oluşumunu ve daha sonra tekrar parçalanmalarını tahmin edebilmektedir. Elde edilen deneysel veriler ve model tahminlerinin uyuşması, fiziksel parçalanma teorisinin doğru bir yaklaşım olduğuna ve bu çalışmada doğru şekilde formulüze edildiğine işaret etmektedir.

Model ve deney sonuçları arasında bazı noktalarda görülen farklılıklar deneysel hatalardan kaynaklanabilir. Deneyler sırasında numuneler alınıp eleklerle döküldüğünde büyük parçacıklar büyük gözenekli eleklerde tutulmaktadır ve bu durumda bu eleğin gözenek çapı daralmaktadır. Bu durumda numunenin boşaltılması sırasında küçük çaplı parçacıkların büyük gözenekli eleklerde tutulma ihtimali bulunmaktadır. Bu durumda deneysel hatalar oluşacaktır.

Bir başka nokta ise, deney sürecinde oluşan parçacıkların çekim kuvvetlerinin etkisi ile bir araya gelerek topaklaşma göstermesi ve bu şekilde özellikle küçük eleklerde veya filtre kağıdında yapılan ölçümler sırasında hatalara neden olmalarıdır. Ancak bu durum çok zayıf bir ihtimaldir. Çünkü su içerisinde zayıf bağlarla topaklaşma yapan parçacıklar, suyun eleklerden geçirilmesi sırasında tekrar kırılarak eski durumlarına geleceklerdir. Bu nedenle bu olay deneysel hataya neden veremez.

Her iki ürünün filtre kağıtlarında biriken miktarları incelendiğinde genel olarak deney sonuçları ile model tahminleri arasında sadece 1440. dakikada bir farklılık mevcuttur. Burada modelleme sonuçlarına göre bir azalma olmaksızın belli bir süre sonunda tüm parçacıkların 0,45 µm boyut aralığına geçerek, filtre kağıdında toplanan

miktarın ana kağıdın başlangıç konsantrasyonuna ulaşacağı öngörülmektedir. Bu farklılık deneysel hatadan kaynaklanıyor olabileceği gibi kağıtların bu süre süreden sonra yapılarında bulunan suda çözünebilir durumdaki maddeleri suya bırakmış olmalarından kaynaklanıyor olabilir. Bu durum toplam çözülmüş madde deneyleri gerçekleştirilerek tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] SABAH, E., ERKAN, Z.E., Kağıt üretim teknolojisini değiştiren mineral: Kalsiyum karbonat (CaCO₃), 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, Mayıs 2004.
- [2] USTA, H., Kağıt Sektörü Profil Araştırması, İstanbul Ticaret Odası, 2004.
- [3] www.kagitsanayi.com/kagit-kagidi-kagitlari-ambalaj-matbaa-kutu-oluklu-mukavva.html, Şubat 2009.
- [4] www.1bilgi.com/basin-yayin/3957/kagit-yapimi.html, Şubat 2009.
- [5] <http://www.madehow.com/Volume-6/Toilet-Paper.html>, Şubat 2009.
- [6] ÜNER, B., ŞAHİN, H.T., Geri dönüşümde Yaş Pres ve kurutmanın lif özelliklerine etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri:A, Sayı:1, Sayfa:145-158, 2004.
- [7] FRIEDLER, E., BRAUN, D. M., BUTLER, D., A study of WC derived sewer solids. Water Science and Technology, 33(9), 17-24, 1996.
- [8] ALMEDÍA, M.C., BUTLER, D., FRIEDLER, E., At-source domestic wastewater quality. Urban Water 1, 49-55, 1999.
- [9] BUTLER, D., FRIEDLER, E., GATT, K., Characterising the quantity and quality of domestic wastewater inflows. Water Science and Technology, 31 (7), 13-24, 1995.
- [10] DEMİRÖZ, K., Hesaplamalı akışkanlar dinamiği bilgisayar modellemesi kullanarak anoksik tank hidroliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilimdalı, 2006.
- [11] KESTIOGLU, K., Atıksu Arıtımında Biyokimyasal Prosesler, Bursa, 2001.
- [12] İLERİ, R., Çevre Biyoteknolojisi, Değişim yayınları, Adapazarı, 2000.
- [13] ŞENGÜL, F., KÜÇÜKGÜL, E.Y., Çevre Mühendisliğinde Fiziksel-Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları, No :153, İzmir, 1995.

- [14] STEINFELD, J.I., JPSEPH, S., FRANCÍSCA, W., Chemical kinetics and dynamics, New Jersey, Pretice Hall, 1999.
- [15] AYDIN A., SEVINÇ V., ŞENGİL A., Temel Kimya, Aşiyen Yayınları, Adapazarı, 2001.
- [16] MONTGOMERY, J.M., Water Treatment Principles and Desing, New York, 1995.
- [17] URGUHART, L.C., Civil Engineering Handbook, 4th ed., McGraw-Hill Book Co., New York, 1962.
- [18] YOON, H.S., HİLL, D.F., BALACHANDAR, S., ADRIAN, R.J., Reynolds number scaling of flow in a Rushton turbine stirred tank. Part I— Mean flow, circular jet and tip vortex scaling, Chemical Engineering Science, 60.12.3169–3183, 2005.
- [19] ESCUDIE R., LINE, A., Experimental analysis of hydrodynamics in a radially agitated tank, A.I.Ch.E. Journal, 49, p. 585, 2003.
- [20] YOON, H.S., SHARP, K.V., HILL, D.F., ADRIAN, R.J., BALACHANDAR, S., M.Y., KAR, K., Integrated experimental and computational approach to simulation of flow in a stirred tank, Chemical Engineering Science, 56, p. 6635, 2001.
- [21] DERKSEN, J.J., DOELMANN, M.S., AKKER, H.E.A., Three-dimensional LDA measurements in the impeller region of a turbulent stirred tank, Experiments in Fluids, 27, p. 522, 1999.
- [22] LAMBERTO, D.J., ALVAREZ, M.M., MUZZIO, F.J., Experimental and computational investigation of the laminar flow structure in a stirred tank, Chemical Engineering Science, 54, p. 919, 1999.
- [23] KEMOUNO, F., LUSSEYRAN, B.A, MALLET, J., MAHOUSAT, M., Experimental scanning for simplifying the model of a stirred-tank flow, Experiments in Fluids, 25, p. 23, 1998.
- [24] DONG, L., JOHANSEN, S.T., ENGH, T.A., Flow induced by an impeller in an unbaffled tank—I, Experimental. Chemical Engineering Science, 49, p. 549, 1994.
- [25] KRESTA, S.M., WOOD, P.E, Prediction of the three-dimensional turbulent flow in stirred tanks, A.I.Ch.E. Journal, 37, 448–460, 1991.
- [26] YIANNESKIS, M., POPIOLEK, Z., WHITELAW, J.H., An experimental study of the steady and unsteady flow characteristics of stirred reactors, Journal of Fluid Mechanics, 175, p. 537, 1987.

- [27] DESOUZA, A., PIKE, R.W., Fluid dynamics and flow patterns in stirred tanks with a turbine impeller, Canadian Journal of Chemical Engineering, 50, p.15, 1972.

ÖZGEÇMİŞ

Cemile Dede, ilk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 1992 yılında başladığı İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü'nden 1996 yılında mezun oldu. 2000 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Biyoloji Bölümü'nde yüksek lisans eğitimini tamamlayarak uzman biyolog unvanını aldı. 1998-2005 yılları arasında İstanbul'da öğretmen olarak görev yaptı. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu'nda öğretim görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı bölümde görevine devam etmektedir. Mesleği ile ilgili ulusal ve uluslararası yayın ve bildirileri bulunan Cemile Dede iyi derecede İngilizce bilmektedir.