

**BOR MİNERALİ KRİTİKLİĞİNİN DİNAMİK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**DYNAMIC ASSESSMENT OF CRITICALITY OF BORON
MINERAL**

CİHAN MERMER

YRD. DOÇ. DR. HATİCE ŞENGÜL
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin
ÇEVRE Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2018

CİHAN MERMER'in hazırladığı "Bor Minerali Kritikliğinin Dinamik Değerlendirilmesi" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU
Başkan



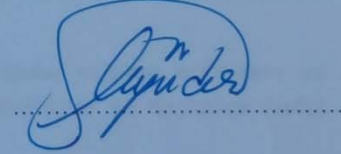
Yrd. Doç. Dr. Hatice ŞENGÜL
Danışman



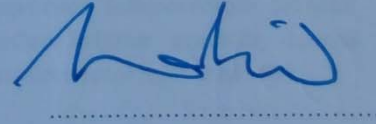
Doç. Dr. Merih ADINALP KÖKSAL
Üye



Doç. Dr. Tuba Hande BAYRAMOĞLU
Üye



Doç. Dr. Halil Murat AYDIN
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**
(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)
- Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**
(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)
- Tezimin/Raporumun 21/05/2018 tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**
- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

21 / 05 / 2018


(imza)

Öğrencinin Adı Soyadı

Cihan MERMER

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

CİHAN MERMER



ÖZET

BOR MİNERALİNİN KRİTİKLİĞİNİN DİNAMİK DEĞERLENDİRİLMESİ

CİHAN MERMER

Yüksek Lisans, Çevre Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hatice ŞENGÜL

Mayıs 2018, 98 sayfa

Doğal kaynak yönetimi çevre sorunlarının başında gelmesine rağmen diğer konulara göre daha az çalışmalar yapılan ve mevcut çalışmaların doğru yönetime yönlendirmekte yetersiz kaldığı bir çalışma alanı olarak göze çarpmaktadır. Doğal kaynakların sürdürülebilirliği kaynağın başta çevre kirliliği, piyasa dinamikleri, arz-talep dengesi, maden borsası, ulusal kaynak yönetimi politikaları, teknoloji dalgalarının seyri, maden tetkik ve arama olmak üzere birçok önemli ekonomik, sosyal, politik, teknolojik ve çevresel boyutlara sahiptir. Mevcut bilgi birikimi, simülasyon modellerinin ve araçlarının yetersizliği ve entegrasyon ihtiyacı nedeniyle tüm bu boyutların doğru bir şekilde bir arada değerlendirilememesi doğal kaynakların gelecekteki durumunun tahminini zorlaştırmaktadır.

Bor minerali diğer birçok doğal kaynak gibi sürdürülebilirliği tartışmalı bir mineraldir. Bu tartışmanın temelinde; farklı kurumlarca yapılan rezervlerin yeterliliği üzerine farklı tahminler, değişen piyasa şartları ve Ar-Ge çalışmaları sonucunda bor minerali

için yeni kullanım alanlarının oluşmasıyla tüketim eğrisinin nasıl gelişeceğini daha fazla belirsizlik kazanması bulunmaktadır.

Bor rezervlerinin etkin şekilde kullanılabilmesi ve maksimum fayda sağlanabilmesi için bor piyasasının dinamiklerini iyi anlamak önem arz etmektedir. Bu dinamikliği etkileyen parametreler arasından hangilerinin daha önemli olduğunun tespiti diğer türlü karmaşık olan bu problemin çözümünü kolaylaştırabilir. Bu amaçla, bor mineralinin sürdürülebilirliğini etkileyen sistemler bütünü oluşturan bor minerali madenciliği ve endüstrisine ait alt sistemleri iyi tanımlamak ve sistemi en iyi şekilde tanımlayacak bir model geliştirilmesi gereklidir.

Bu tez çalışması kapsamında ülkemiz için stratejik bir kaynak olan bor mineralinin gelecekte Dünya ölçeğinde içeriğinde bor bulunan ürünlerin kullanım miktarlarının nasıl değişebileceği ve bu doğrultuda bor rezervlerinin ne kadar süre toplum ihtiyaçlarını karşılamak amaçlı kullanılabileceği araştırılmıştır. Bu amaçla, nüfus, pazarlama etkinliği, küresel gayrisafi milli hasıla, bor mineralinin piyasadaki difüzyonu, pazardaki rekabet parametrelerine dayalı sistem dinamikleri yaklaşımıyla oluşturulan bir bor minerali sürdürülebilirlik projeksiyon modeli geliştirilerek bor minerali fiyatındaki zamanla değişim ve bor rezervinin tükenme süresi hesaplanmıştır. 100 yılı kapsayacak şekilde oluşturulan projeksiyon modeli 3 farklı difüzyon hızı senaryosunda çalıştırılmıştır. Yavaş difüzyon senaryosunda rezervler 100 yıllık süreçte tükenmemiş ancak bilinmeyen rezervler yaklaşık %93'lük bir azalma gösterirken, rezervler hızlı difüzyon senaryosunda 2061 yılında ve çok hızlı difüzyon senaryosunda 2051 yılında tükeneceği nicel olarak belirlenmiştir. Modelin geliştirilmesi için sistem dinamiği yazılımı olarak STELLA kullanılmıştır.

Bir kaynağın "kritik" olup olmadığı o kaynağın bir bölgedeki ekonomik önemi ve arz riski temel alınmaktadır. Dinamikliğin kritiklik çalışmasına entegre edilmesiyle borun sürdürülebilirliğini etkileyen en önemli parametrelerin değişiminin tükenme süresini nasıl etkileyeceği irdelenmiştir.

Simülasyon sonuçları bor mineralinin gelecek 100 yıllık projeksiyonuna ait yavaş difüzyon senaryosunda rezervin tükenmediği, yıllık tüketim 2017 yılında 1.755 kiloton B_2O_3 seviyesinden 2117 yılında 12.192 kiloton B_2O_3 seviyesine çıkarken, bilinen rezervin 2117 yılında 458.998 kiloton B_2O_3 seviyesine çıktığı gözlenmiştir. Yavaş difüzyon senaryosunda 2017 yılında bor fiyatı 1620 dolar/ton B_2O_3 iken uzak gelecekte bor fiyatların üçte bir oranında azalma olacağı görülmüştür. Bunda bilinen

rezervlerin 2078 yılına kadar artış trendinde olması ve tüketimi karşılayabilecek güçte olması etkilidir. Hızlı difüzyon senaryosunun gerçekleştiği senaryo 2 rezervlerin 2061 yılında tükeneceğini ve fiyatların 17.432 dolar/ton B₂O₃ seviyesine kadar yükselerek bu noktadan sonra düşüş trendine gireceğini ortaya koymuştur. Uygun piyasa şartları oluştuğunda kritik olmayan element konumundan yüksek kritiklik sınıfına geçeceği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bor, Sistem Dinamikleri, STELLA, Doğal Kaynak Yönetimi, Bass Difüzyon Modeli, Kritiklik Analizi

ABSTRACT

DYNAMIC ASSESSMENT OF CRITICALITY OF BORON MINERAL

CİHAN MERMER

Master Degree, Department of Environmental Engineering

Advisor: Ass. Prof. Hatice ŞENGÜL

May 2018, 98 pages

Although natural resources management is at the forefront of environmental problems, it is seen as a study area where less studies are conducted than other subjects and current studies are insufficient to direct the management. Sustainability of natural resources has many important economic, social, political, technological and environmental dimensions, including environmental pollution, market dynamics, supply-demand balance, mining stock, national resource management policies, technology trends, mineral exploration and exploration. The accumulation of available knowledge, the inadequacy of simulation models and tools, and the inability to integrate all these dimensions correctly due to the need for integration make it difficult to predict the future state of natural resources.

Boron mineral sustainability is a controversial mineral like many other natural sources. At the base of this discussion; different estimates on the adequacy of reserves made by different institutions, changing market conditions and R & D

studies have made it more uncertain how the consumption curve will evolve due to the creation of new areas for boron minerals.

It is important to understand the dynamics of the boron market in order to ensure effective use of the boron reserves and maximum benefit. Determining which of the parameters affecting this dynamic is more important can facilitate the solution of this otherwise complicated problem. For this purpose, it is necessary to develop a model that will best describe the sub-systems of the boron mineral and mining industry that constitute the whole system that affect the sustainability of the boron mineral and describe the system in the best way.

Within the scope of this thesis, it has been investigated how boron mineral, which is a strategic resource for our country, can change the usage amounts of boron-containing products in the world scale in the future and how long the boron reserves can be used to meet community needs. For this purpose, a boron mineral sustainability projection model was developed by using the population, marketing efficiency, global gross national product, diffusion of boron on the market dynamics based system dynamics approach and the change in the price of boron mineral with time and the depletion time of the boron reservoir were calculated. The projection model, which was constructed over a period of 100 years, was run in 3 different diffusion speed scenarios. Reserves were quantitatively estimated to be consumed in 2061 in the fast diffusion scenario and in 2051 in the very fast diffusion scenario, while reservoirs in the slow diffusion scenario showed a decrease of about 93% in the unused but unknown reserves over a 100 year period. STELLA was used as the system dynamics software for model development.

Whether a source is "critical" is based on the economic risk and supply risk in a region. By integrating dynamics into the criticality study, it is examined how the change of the most important parameters affecting the sustainability of the borrowing will affect the depletion time.

Simulation results show that the reserve does not run out in the slow diffusion scenario of the boron mineral for the next 100 years projection and the annual consumption is increased from 1,755 kilotons of B₂O₃ in 2017 to 12,192 kilotons of B₂O₃ in 2117 and 458,998 kilotons of B₂O₃ in 2117. In the scenario of slow diffusion, the price of boron will be 1,620 dollars / ton B₂O₃ in 2017, while boron

prices will decrease by one third in the distant future. This is because the known reserves are in a rising trend until 2078 and effective that it is able to meet consumption. Scenario 2, which is a scenario of fast diffusion scenario, shows that the reserves will be consumed in 2061 and the prices will rise to 17,432 dollars / ton B₂O₃ level and then decrease trend after this point. It has been observed that when appropriate market conditions occur, it shifts from non-critical element position to high criticality class.

Key Words: Boron, System Dynamics, STELLA, Natural Resources Management, Bass Diffusion Model, Criticality Analysis

TEŞEKKÜRLER

Çalışma boyunca bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, beni yönlendiren değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hatice ŞENGÜL 'e ve değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU, Doç. Dr. Merih ADINALP KÖKSAL, Doç. Dr. Tuba Hande BAYRAMOĞLU, Doç. Dr. Halil Murat AYDIN'a,

Yüksek lisans öğrenimim süresince lisansüstü çalıőmalarımı teşvik etmelerinden dolayı Ankara Büyükşehir Belediyesi'ndeki kıymetli amirlerime ve beni destekleyen iş arkadaşlarıma,

Desteklerini her zaman hissettiğim ve hep yanımda olan aileme, eőim Özlem'e

En içten teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	I
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜRLER	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ÇİZELGELER.....	XI
ŞEKİLLER	XII
TEZDE KULLANILAN TERİM TANIMLARI.....	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. Yapılan Çalışmanın Amacı.....	3
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Bor	5
2.1.1. Bor Minerali Terminolojisi.....	6
2.1.2. Bor ve Sağlık Etkileri	8
2.1.3 Bor Madenciliği	9
2.2 Bor Endüstrisi ve Tedarik Zinciri	12
2.2.1 Cam Sektöründe Bor	15
2.2.2 Seramik Sektöründe Bor.....	17
2.2.3 Tarım Sektöründe Bor	18
2.2.4 Deterjan ve Sabun Sektöründe Bor.....	19
2.2.5 Bor Sektöründe Fiyatlandırma ve Piyasa Yapısı	19
2.3. Karmaşık Sistemler Teorisi ve Terminolojisi.....	20
2.3.1 Kesikli Olay Simülasyonu	21
2.3.2 Sistem Dinamiği.....	23
2.3.3 Etmen Tabanlı Modelleme	26
2.4. STELLA / İTHINK Yazılımı	27
2.4.1. Birikimler (Stocks)	28
2.4.2. Akışlar (Flows)	30
2.4.3. Dönüştürücüler (Converters)	31
2.4.4. Bağlayıcılar (Connectors).....	31
2.4.5. Karar Süreci Elmasları (Decision Process Diamonds)	32
2.4.6. Pekiştirici Süreçler (Reinforcing Loops)	32
2.4.7. Dengeleyici Süreçler (Balancing Loops).....	33

2.5. Difüzyon Modelleri	34
2.5.1 Rogers Yeniliklerin Yayılması Modeli.....	34
2.5.2 Bass Difüzyon Modeli	35
2.5.3 Difüzyon Modellemesinde Yeni Yaklaşımlar	41
2.6. Minerallerin Sürdürülebilirliği Mevcut Geleneksel Değerlendirme Çerçevesi: Kritiklik Analizi ve Kullanıldığı Durum Değerlendirmeleri	42
3. MATERYAL VE METOD.....	52
3.1. Bor Piyasasının Modelde Reprerentasyonu	52
3.2. Sektörel Verilerin Derlenmesi	53
3.3. Bass Difüzyon Modelinin Uyarlanması	56
3.4. Nedensel Döngü Diyagramının Oluşturulması	60
3.5. STELLA Yazılımında Modelin Kurulumu	62
3.6. Duyarlılık Analizi	64
4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	65
4.1. Senaryo 1: Yavaş Difüzyon.....	65
4.1.1. Pazar Hacim Değişimleri.....	65
4.1.2. Sektörel Bor Kullanımları.....	66
4.1.3. GSH ve Kişi Başı Düşen Bor Miktarı Değişimi	67
4.1.4. Rezerv Değişimleri.....	68
4.1.5. Bor Fiyatı Değişimi.....	69
4.1.6. Senaryo 1 Genel Değerlendirmesi.....	70
4.2. Senaryo 2: Hızlı Difüzyon.....	71
4.2.1. Pazar Hacim Değişimleri.....	71
4.2.2. Sektörel Bor Kullanımları.....	72
4.2.3. GSH ve Kişi Başı Düşen Bor Miktarı Değişimi	73
4.2.4. Rezerv Değişimleri.....	74
4.2.5. Bor Fiyatı Değişimi.....	75
4.2.6. Senaryo 2 Genel Değerlendirmesi.....	76
4.3. Senaryo 3: Çok Hızlı Difüzyon	76
4.3.1. Pazar Hacim Değişimleri.....	76
4.3.2. Sektörel Bor Kullanımları.....	77
4.3.3. GSH ve Kişi Başı Düşen Bor Miktarı Değişimi	78
4.3.4. Rezerv Değişimleri.....	79
4.3.5. Bor Fiyatı Değişimi.....	80
4.3.6. Senaryo 3 Genel Değerlendirmesi.....	81
4.4. Duyarlılık Analizi Sonuçları	82

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR	92
ÖZGEÇMİŞ	98

ÇİZELGELER

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. : Ticari Bor Mineralleri.....	9
Çizelge 2.2. : Önemli Bor Minerallerinin Bulunduğu Yerler.....	10
Çizelge 2.3. : Havzalara Göre Türkiye Bor Rezerv Miktarları.....	11
Çizelge 2.4. : Dünya Bor Rezervleri.....	11
Çizelge 2.5. : Bor Ürünlerinin Kullanıldığı Sektörler	13
Çizelge 2.6. : ETİ MADEN Tarafından Üretilmekte Olan Konsantre Bor, Bor Kimyasalları Ve Eşdeğeri Ürünler	15
Çizelge 2.7. : Borosilikat Camlarda Kullanılan Rafine Borlar	16
Çizelge 2.8. : Farklı Boratların Tekstil Tipi Cam Elyafı Üretimindeki Avantajları.....	16
Çizelge 2.9. : Bazı Avrupalı Cam Üreticilerinin Cam Üretiminde Kullandıkları Bor Ürünleri	17
Çizelge 2.10. : Bitkilerde Bor Kullanımıyla Sağlanan Verim Artışları	18
Çizelge 2.11. : Kesikli Olay Simülasyonu ve Sistem Dinamiğinin Karşılaştırılması	22
Çizelge 2.12. : Etmen Tabanlı Modelleme ile Kesikli Olay Simülasyonunun Karşılaştırması	27
Çizelge 2.13. : Çeşitli Ürünlerin İnovasyon (p) ve İmitasyon (q) Katsayıları.....	40
Çizelge 2.14. : Tedarik Riski Parametreleri Ağırlık Oranları	45
Çizelge 2.15. : Küresel Tedarik Kırılganlığı Parametreleri Ağırlık Oranları	46
Çizelge 2.16. : Ulusal Tedarik Kırılganlığı Parametreleri Ağırlık Oranları.....	46
Çizelge 2.17. : Hammadde Kritikliği Üzerine Bazı Çalışma Özetleri.....	50
Çizelge 3.1. : Bor Mineralinin Kullanımının Artması Beklenen Sektörler	54
Çizelge 3.2. : 3 Farklı Senaryo İçin Model Başlangıç Değerleri.....	60
Çizelge 4.1. : Cam Pazarındaki Bor Kullanım Miktarı Üzerinden Sektörel Bor Kullanım Miktarı Değişkeninin Duyarlılık Analizi Tablosu	83
Çizelge 4.2. : GSH Değişimi Üzerinden Bor Fiyatı Değişkeninin Duyarlılık Analizi Tablosu	85

ŞEKİLLER

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. : Bor Simgesi.....	5
Şekil 2.2. : Bor Minerali.....	6
Şekil 2.3. : Sistem Dinamiği Modelleme Süreci	24
Şekil 2.4. : STELLA Yazılımındaki Birikim Simgesi	28
Şekil 2.5. : STELLA Yazılımındaki Taşıyıcı Simgesi	29
Şekil 2.6. : STELLA Yazılımındaki Kuyruk Simgesi.....	29
Şekil 2.7. : STELLA Yazılımındaki Fırın Simgesi.....	30
Şekil 2.8. : STELLA Yazılımındaki Bulut ve Akış Simgesi.....	30
Şekil 2.9. : STELLA Yazılımındaki Dönüştürücü Simgesi	31
Şekil 2.10. : STELLA Yazılımındaki Bağlayıcı Kullanımı ve Simgesi	31
Şekil 2.11. : STELLA Yazılımındaki Karar Süreci Elması Simgesi	32
Şekil 2.12. : Pekiştirici Süreçler.....	33
Şekil 2.13. : Dengeleyici Süreçler	33
Şekil 2.14. : Yeniliğin Yayılması	35
Şekil 2.15. : S Şekilli Eğri.....	36
Şekil 2.16. : Yeni Ürünü Benimseyenlerin Dağılımı	37
Şekil 2.17. : Yeni Benimseyenlerin Sayısının Zamana Göre Değişim Grafiği	38
Şekil 2.18. : p ve q Değerlerine Göre Difüzyon Hızı Değişim Grafiği.....	40
Şekil 2.19. : Kritik Hammaddelerin Tedarik Riski Ve Ekonomik Önemine Göre Karşılaştırılması.....	43
Şekil 2.20. : Üç Boyutta Değerlendirilen Kritiklik Analizi Şeması.....	44
Şekil 2.21. : Bor Kritiklik Analizi Sonuçları	47
Şekil 3.1. : Cam Elyaf Sektöründe Bor Talebi Değişimi Tahmini.....	53
Şekil 3.2. : Bir Yeniliğin Kullanıcılar Tarafından Benimsenme Dinamiği.....	57
Şekil 3.3. : Müşterilerin Zamanla Değişimi	58
Şekil 3.4. : Rekabet Etkisi Altında Yeniliğin Benimsenme Dinamiği	58
Şekil 3.5. : Rekabet Varlığında Müşterilerin Zamanla Değişimi	59
Şekil 3.6. : Modelin Nedensel Döngü Diyagramı	61

Şekil 3.7. : Bor Mineralinin Gelecek Projeksiyon Modeli Stella Sistem Diyagramı.....	63
Şekil 4.1. : Senaryo 1'deki Pazar Hacmi Değişimleri Grafiği	66
Şekil 4.2. : Senaryo 1'deki Sektörel Bor Kullanım Miktarları	67
Şekil 4.3. : Senaryo 1'e Göre Kişi Başı Bor Kullanım Miktarı ve Kişi Başı Düşen GSH Miktarı Değişim Grafiği	68
Şekil 4.4. : Senaryo 1'de Bilinen ve Tahmin Edilen Rezervlerin Değişimi	69
Şekil 4.5. : Senaryo 1'e Göre Bor Fiyatındaki Değişim	70
Şekil 4.6. : Senaryo 2'deki Pazar Hacmi Değişimleri Grafiği	72
Şekil 4.7. : Senaryo 2'deki Sektörel Bor Kullanım Miktarları	73
Şekil 4.8. : Senaryo 2'ye Göre Kişi Başı Bor Kullanım Miktarı ve Kişi Başı Düşen GSH Miktarı Değişim Grafiği	74
Şekil 4.9. : Senaryo 2'de Bilinen ve Tahmin Edilen Rezervlerin Değişimi.....	75
Şekil 4.10. : Senaryo 2'ye Göre Bor Fiyatındaki Değişim	75
Şekil 4.11. : Senaryo 3'deki Pazar Hacmi Değişimleri Grafiği.....	77
Şekil 4.12. : Senaryo 3'deki Sektörel Bor Kullanım Miktarları.....	78
Şekil 4.13. : Senaryo 3'e Göre Kişi Başı Bor Kullanım Miktarı ve Kişi Başı Düşen GSH Miktarı Değişim Grafiği.....	79
Şekil 4.14. : Senaryo 3'te Bilinen ve Tahmin Edilen Rezervlerin Değişimi	80
Şekil 4.15. : Senaryo 3'e Göre Bor Fiyatındaki Değişim	81
Şekil 4.16. Cam Pazarındaki Bor Kullanım Miktarı Üzerinden Sektörel Bor Kullanım Miktarı Değişkeninin Duyarlılık Analizi Grafiği.....	82
Şekil 4.17. : GSH değişimi Üzerinden Bor Fiyatı Değişkeninin Duyarlılık Analizi Grafiği.....	84
Şekil 4.18. : Yıllara Göre Dünya GSH Miktarı	86
Şekil 4.19. : Modelde Yıllara Göre Dünya GSH Miktarı	86

TEZDE KULLANILAN TERİM TANIMLARI

Kritiklik: Bir malzeme ya da materyalin temininde kaygı verici tehlikeli durum.

Sürdürülebilirlik: Ekolojik dengenin, ekonomik üretim ve endüstriyel işlemler sonrasında bozulmadan gelecek nesillere aktarılması yaklaşımıdır.

Oligopol Piyasa: Sadece birkaç firmanın faaliyet gösterdiği ve fiyatları kendi aralarında anlaşarak belirledikleri borsasız piyasa şeklidir.

Sistem Dinamiği: Karmaşık sistemlerin yapısının analiz edilmesi ve detaylarının ortaya konmasını sağlayarak istenen yönde değiştirmeye yönelik stratejiler belirlenmesi amacıyla kullanılan modelleme yöntemidir.

Doğal Kaynak: Doğada kendiliğinden bulunan ve oluşmasında insanoğlunun herhangi bir katkısı ya da etkisi bulunmayan kaynaklardır.

Cornucopian: Doğal kaynakların sürdürülebilirliği ile ilgili iyimser yaklaşım. Olumlu bir yaklaşım doğrultusunda yeterince kaynak olduğunu, olmasa da çözüm bulunacağını savunur.

Chicken Little: Doğal kaynakların sürdürülebilirliği ile ilgili kötümser yaklaşım. Olumsuz bir yaklaşım doğrultusunda yeterince kaynak olmadığını savunur.

Nedensel Döngü Diyagramı: Bir sistemdeki değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren ve sistem tanımlamasının daha rahat yapılmasını sağlayan diyagramlardır.

Difüzyon Modeli: Yeni bir ürünün, hizmetin veya teknolojinin pazardaki yayılma hızını tahmin edebilmek için yaygın olarak kullanılan modeldir.

Duyarlılık Analizi: Modeldeki belirlenen değişkenlerin değerlerinin değişmesinin sistemin diğer bir değişkeni üzerinde etkisinin incelenmesine imkan veren analizlerdir.

STELLA: Isee Systems firması tarafından geliştirilmiş güçlü bir sistem dinamiği modelleme yazılımıdır.

SİMGELER VE KISALTMALAR

B: Bor

B¹⁰: Bor İzotopu

B¹¹: Bor İzotopu

µg: Mikrogram

g: Gram

p: Bass Difüzyon Modelinde İnovasyon Katsayısı

q: Bass Difüzyon Modelinde İmitasyon Katsayısı

B₂O₃: BorOksit

ppm: Milyonda bir (parts per million)

REACH: Kimyasalların Tescili, Değerlendirilmesi, Yetkilendirilmesi ve Kısıtlanması
(Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)

BOREN: Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü

WHO: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)

TMMOB: Türkiye Maden ve Mühendisler Odası Birliği

ETM: Etmen Tabanlı Modelleme

1. GİRİŞ

Doğada kendiliğinden bulunan ve oluşmasında insanoğlunun herhangi bir katkısı ya da etkisi bulunmayan tüm kaynaklar genel anlamda doğal kaynak olarak tanımlanmaktadır. Doğal kaynakların bir kısmı “yenilenebilir”, bir kısmı “belli şartlarda yenilenebilir” ve “yenilenemez” olmak üzere 3 kategoride değerlendirilmektedir. Yenilenemeyen doğal kaynakların yönetimi bu kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Zira kaynağın kötü yönetimi doğal kaynaktan sağlanabilecek faydayı azaltır ve geri dönüş imkânı da mümkün olmamaktadır.

Doğal kaynaklar insanların ihtiyaçlarının sağlanması ve sağladıkları ekonomik katkı dolayısıyla büyük önem arz etmektedir. Doğal kaynakların sürdürülebilir tüketimi gelecek jenerasyonların kendi ihtiyaçlarını karşılama yetenekleriyle doğrudan bağlantılı olduğundan Birleşmiş Milletlerin sürdürülebilir kalkınma hedefindeki jenerasyonlar arasında eşitliğin sağlanması için elzemdir.

Yenilenemeyen doğal kaynakların birçoğu günümüz “modern yaşamı”nın olmazsa olmazlardandır. Bu durum doğal kaynakların gelecek nesillerin ihtiyaçları düşünüldüğünde ne kadar yeterli olduğu sorusunu sık sık gündeme taşımaktadır. Aynı zamanda, ürünlerin karmaşık ve sınırlar ötesi arz zincirleri ülkelerin mevcut doğal kaynak yönetim stratejilerini ve yol haritalarını, diplomatik ilişkilerini, ekonomik büyümelerini ve politik konumlarını da şekillendirmektedir.

Doğal kaynakların sürdürülebilirliği kaynağın arz-talep dengesi, ulusal kaynak yönetimi politikaları, teknoloji dalgalarının seyri, maden tetkik ve arama ve piyasası gibi birçok önemli boyuta sahiptir. Mevcut bilgi birikimi ve simülasyon modellerinin ve araçlarının yetersizliği ve yüksek hesaplama gücü ve entegrasyon ihtiyacı nedeniyle tüm bu boyutların doğru bir şekilde bir arada değerlendirilememesi doğal kaynakların gelecekteki durumunun tahminini zorlaştırmaktadır

Doğal kaynakların varlığı ve tüketim hızındaki belirsizlikler doğal kaynak yönetiminin en önemli kısıtıdır. Bu belirsizlikler doğal kaynakların sürdürülebilirliği ile ilgili biri olumlu diğeri olumsuz olmak üzere iki ayrı bakış açısının doğmasına sebep olmuştur. “Cornucopian” (olumlu, yeterince kaynak var olmasa da çözüm bulunacaktır) ve “Chicken Little” (olumsuz, yeterince kaynak yok) bu bakış açılarını popülerize eden ünlü Simon-Erhler bahsi, bahsin yapıldığı zamanda “Cornucopian”

bakış açısının kazanmasıyla sonuçlanmakla birlikte bahsin tekrar günümüze daha yakın bir zaman diliminde yapılmasında tam tersi sonuç elde edilmiştir.

Belirsizlikler öngörülerin yanlış olmasına ve öngörülere duyulan güvenin azalmasıyla sonuçlanmış ve her ulusun farklı bilgi ve öncelikler belirleyerek yönetişimin mekânsal ölçekte oldukça farklılaşmasıyla sonuçlanmıştır. Öngörülerin tutmadığı iki temel kaynak su ve fosil bazlı yakıtlardır. En önemli yenilenemeyen doğal kaynaklardan biri olan su için, geçmiş öngörülerle mevcut durum arasında ciddi farklılıklar bulunmaktadır. Geçmişte Türkiye “su zengini” ülke olarak nitelendirilirken 2016 yılında yayınlanan Birleşmiş Milletler Su raporuna göre sanılanın aksine Ülkemizin su zengini bir ülke olmadığı ve 2025 yılında su sıkıntısı çekeceği, 2040 yılında ise avantajlı konuma geçerek elindeki su rezervleri yüzünden kendisine savaş açılacağı spekülasyonları yapılmaktadır (1). Ürünlerin ithalat ve ihracatı ile ülkeler arası saklı su ithalat ve ihracatının bu dengede büyük rol oynadığı geçmişte pek önemsenmeyen ancak hâlihazırda yadsınamayacağı bilinen önemli bir faktördür.

Yenilenemeyen kaynaklar arasında yer alan bor minerali yakın zamanda teknolojik gelişmelerle birlikte ürün gamındaki artış kaynaklı talep artışı, oligopol piyasa yapısı ve eşitsiz mekânsal dağılımı nedeniyle arzının ulusal maden politikalarına önemli ölçüde bağlı olması gibi nedenlerle sürdürülebilirliği kolay öngörülemez minerallerden biridir. Bor mineralinin mevcut bilinen rezervinin %72,9'unu bulunduran ülkemiz için de bor mineralinin sürdürülebilirliğini etkileyen faktörlerin entegre modellerle irdelenmesi gerekmektedir. Her ne kadar ve farklı etmenlerin etkileşimi ve dinamikleri tam olarak tahmin edilemese de projeksiyonların doğruluğunun artırılması daha net bir öngörü edinmek bilgisayarların hesaplama gücünün artışı ile rol oynayan aktörlerin çeşitliliği ve davranışlarının daha detaylı model kurgularına yansıtılması ile mümkün olabilmektedir.

Bor minerali sürdürülebilirliği tartışmalı bir mineraldir. Bu tartışmada hem rezerv tahminlerinin farklı kurumlarca farklı yöntemler kullanıldığı için farklı rakamlar sunulması hem de yeni kullanım alanlarının açılmasıyla tüketim eğrisinin nasıl gelişeceğini tahmin edilememesinden kaynaklanır.

1980'li yıllarda nasıl ki Türkiye su zengini olarak görülüyorsa bugün de bor minerali açısından zengin görülmekte ve elindeki kaynakların uzun yıllar yeteceği

öngörülmektedir. Ankara Ticaret Odasının Bor ve Ötesi Raporunda sadece Türkiye'nin elinde bulunan bor rezervlerin Dünya ihtiyacını 500 yıl karşılayacağı belirtilirken (2), 2012 yılında dönemin Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürü Orhan YILMAZ'ın yaptığı açıklamaya göre Türkiye'de Dünya ihtiyacını 1000 yıl karşılayacak bor minerali olduğu belirtilmiştir (3). Benzer bir ihtilaf da Türkiye'nin sahip olduğu bor rezerv miktarında meydana gelmektedir. ETİ Maden'in 2016 yılı Bor Sektör Raporuna göre Türkiye Dünya Bor rezervinin %72,9'una sahip olduğu belirtilirken (4), Maden Mühendisleri Odası Türkiye Bor Potansiyeli makalesinde ise Türkiye Dünya Bor rezervinin yaklaşık %63'üne sahip olduğu belirtilmiştir (5). The Statics Portal'a göre bu oran %60,3 dür (6). Amerikan Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS) her yıl yayınladığı bor raporunda 2015 yılına kadar Dünya toplam bor rezervini 210.000.000 ton ve Türkiye Rezervini 60.000.000 ton gösterirken (7), 2016 yılında Dünya toplam bor rezervini 380.000.000 ton ve Türkiye Rezervini 230.000.000 ton olarak değiştirmiştir (8). Yani bir yıl sonra Türkiye'nin sahip olduğu rezerv miktarı tüm dünyanın sahip olduğu miktardan fazla bir değere çekilmiştir.

Görüldüğü üzere bahse konu kaynak stratejik özellikleri bulunduğu veri ve bilgi paylaşımları farklı boyutlar kazanmaktadır. Bor rezerv miktarı ve tükenme süreleri ile ilgili farklı görüşler bulunmaktadır.

Ülkemizin elinde bulunan büyük bor rezervlerinin en etkin şekilde kullanılabilmesi ve maksimum fayda sağlanabilmesi için bor piyasasının dinamiklerini iyi anlamak gereklidir. Ancak bu şekilde bor kaynakları için en etkin stratejiler belirlenebilir. Bu da karmaşık bir sistem olan bor endüstrisini iyi tanımlamakla mümkündür.

1.1. Yapılan Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın ana amacı; bor mineralinin gelecekte Dünya ölçeğinde kullanım miktarlarının nasıl değişebileceğini ve bu doğrultuda bor rezervlerinin ne kadar sürede tükenebileceğinin nüfus, pazarlama etkinliği, global gayrisafi hasıla, bor mineralinin piyasadaki difüzyonu, pazardaki rekabet parametrelerine dayalı bir bor minerali sürdürülebilirlik projeksiyon modeli geliştirilerek fiyat değişimlerinin sistem dinamiği yaklaşımıyla ortaya konmasıdır. 100 yıllık projeksiyonda üç farklı senaryo için rezervin ne kadar hızlı tükeneceği nicel olarak belirlenmiştir.

Sistem dinamiği yaklaşımı pek çok karmaşık sistemin modellenebileceği kullanışlı bir yontemdir. Bu yaklaşım ile karmaşık sistemlerin davranışlarının belirlenmesi ve bu davranışlar doğrultusunda politikalar geliştirilmesi amaçlanır.

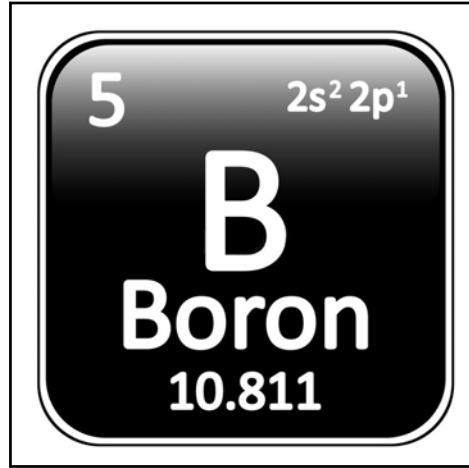
Dinamikliğin kritiklik çalışmasına entegre edilmesiyle borun sürdürülebilirliğini etkileyen önemli parametrelerin değişimini nasıl etkileyeceği irdelenmiştir. Çalışmada sistem dinamiği yazılımı olarak STELLA kullanılmıştır. Bor endüstrisi ile ilgili gerekli bilgiler STELLA yazılım diline göre uyarlanmış ve gerekli bağlantılar sağlanarak model oluşturulmuştur.

Modeldeki parametreler ve bunlar arasındaki bağlantılar ışığında bor mineralinin gelecek projeksiyonu ortaya konarak rezervlerin tükenme süreleri ve fiyat değişimleri belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Bor

Farsça burah (borak) kelimesinden türeyen bor, insanlar tarafından çok eski tarihlerden beri kullanılmaktadır. Bor ürünlerinin kullanımının, yaklaşık 4000 yıl önce Babil toplumu tarafından bilezik, yüzük ve muska yapımı için Himalayalar'dan getirilerek başladığı düşünülmektedir (9). Atom numarası 5, kimyasal sembolü B olan bor; periyodik sistemin üçüncü grubunun başında yer alan bir elementtir. Periyodik cetvelin 3A grubunda hidrojen, lityum ve berilyumdan sonra yer alır. Kaynama noktası 3660 °C ve erime noktası 2200 °C olan bor 2,34 g/cm³ yoğunluktadır. 1s²2s²2p¹ elektron düzeninde bulunur ve atom ağırlığı 10,811 g/mol'dür. Bor elementi, yerküreyi oluşturan 92 elementten birisi olarak, çevremizde toprak, su, bitki ve canlılarda belli oranlarda bulunabilir. Bor doğada serbest halde bulunmaz, diğer elementler ve oksijen ile birlikte genel olarak bor tuzlarını oluşturur (10). Yer kabuğunda yaygın olarak kristal ya da amorf yapıdaki bor bulunur. Topraklarda birkaç µg/g civarında ve deniz suyunda 4,6 µg/g civarında bulunmaktadır. Nehir ve göl gibi tatlı sularda bulunan bor miktarı bundan daha azdır (11) (12).



Şekil 2.1. Bor Simgesi

Bor zengin bir kimyaya sahip olması nedeniyle inorganik ve organik kimya ile metalürji ve malzeme bilimlerine dâhil ürün gruplarına sahiptir. Bor okso bileşikleri, Borhidrürler, Bor halojenürler, Bor-N bileşikleri, Bor-S ve Bor-Se Bileşikleri, Bor-P ve Bor-As Bileşikleri, Organobor Bileşikleri başlıca ürün gruplarıdır (11).

Bor elementi doğada B¹⁰ (doğada bulunma oranı %19,1-20,3) ve B¹¹ (doğada bulunma oranı %79,7-80,9) olarak tanımlanan iki ayrı kararlı izotoptan oluşmaktadır. Bor mineralleri bileşiklerinde değişik oranlarda Bor Oksit (B₂O₃) içerirler ve doğada 230'dan fazla bor minerali bulunur (13).



Şekil 2.2. Bor Minerali

Bor, yer kabuğunda bulunma sırasına göre 51. yaygın element olarak boratlar ve borosilikatlar halinde 3 ppm'lik konsantrasyon değerine sahip olup, oda koşullarında kararlıdır. 800 °C ve üstü sıcaklıklarda yükseltgenerek farklı oksitler oluşturur (14).

2.1.1. Bor Minerali Terminolojisi

Ticari bor ürünleri ve bor minerallerinin gruplandırılması hususunda literatürde net bir sınıflandırma yoktur. Borun Dünya ticareti ile ilgili kaynaklar da oldukça sınırlı olup bu konuda en dikkat çekici kaynaklardan biri 3 yılda bir Roskill tarafından yayımlanan "Boron: Global Industry Markets and Outlook" raporudur (15). Raporla bor mineralleri, bunlardan elde edilen zenginleştirilmiş bor cevherleri boratlar, rafine ürünler bor bileşikleri ve bor ürünleri olarak adlandırılmaktadır. Raporun ilerleyen bölümlerinde Tabii Boratlar ve Rafine Boratlar tanımlamaları da yer almaktadır. Tabii Boratlar; tinkal, kolemanit, üleksit gibi konsantre bor cevherlerini ifade etmektedir. Rafine Boratlar; tabii boratların rafinasyonu ya da kimyasal reaksiyonu ile elde edilen; boraks pentahidrat, boraks dekahidrat, susuz boraks, borik asit sodyum

perborat gibi rafine bor ürünlerini ifade etmek üzere kullanılmaktadır. Raporda ayrıca Özel Bor Kimyasalları olarak adlandırılan başka bir grup daha vardır. Bunlar Elementel Bor, Bor karbür, Bor Halidler, İnorganik Boratlar, Fluoroboratlar, Borik asit esterleri, Bor hidridler, Organobor bileşikleri, Bor-Azot bileşikleridir. Ürünleri örnekleri; Sodyum borhidrür, Çinko borat, Bortriklorür, Bortriflorür, Trimetilborat, Özel sodyum boratlar, Fluoborikasit olarak sayılmaktadır (15) (16).

Ülkemizde bor karbür, bor nitrür, çinko borat vb. ürünler ileri bor ürünleri olarak tanımlanmaktadır. Bor ürünleri açısından önemli bir diğer kaynak da Stanford Research Institute (SRI) tarafından hazırlanan Chemical Economics Handbook raporudur. Bu raporda Birincil Bor Kimyasalları ve Bor Türevleri sınıflandırması yapılmıştır. Birincil Bor Kimyasallar; Sodyum boratlar, Kalsiyum boratlar, Göl sularından elde edilen Boraks, Susuz boraks, Düşük konsantrasyonlu göl sularından elde edilen Ortoborik asit, Susuz Borik Asit olarak tanımlanırken Bor Türevleri; Elementer bor, Bor halidler İnorganik boratlar, Fluoroboratlar, Borik asit esterleri, Refrakter bor bileşikleri (Bor hidrürler, Boranlar, Organobor bileşikleri) olarak tanımlanmaktadır (16).

Bor konusunda bir diğer kaynak da Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma biriminin (USGS) yayınlarıdır. Bu yayınlarda da bor ürünleri Roskill raporuna benzer şekilde bor mineralleri ve bor bileşikleri şeklinde ayrılmıştır. Rafine bor ürünleri ise Sodyum boratlar ve Borik asit başlıklarına ayrılmıştır (8) (7).

Amerika Birleşik Devletlerindeki en büyük üretici olan US Borax şirketinin üretmekte olduğu sodyum boratlar ve borik asit gibi ürünleri Rafine Bor Ürünleri olarak tanımlar ve ürün gamında yer alan tüm ürünleri boratlar olarak nitelendirir. Amerika Birleşik Devletlerindeki ikinci en büyük üretici IMC ürünlerinde; Borik asit, Boraks pentahidrat, Susuz boraks, Boraks dekahidrat ifadeleri kullanılırken, Özel Bor Ürünleri ifadesi de Çinko borat, Amonyum pentaborat, Potasyum pentaborat, Özel borik asitler, Özel boraks dekahidrat, Disodyum oktaborat tetrahidrat gibi ürünler için kullanılmaktadır (16).

Genel olarak Dünya bazındaki bor tüketim ve üretim gibi veriler verilirken birim olarak içeriğindeki Bor Oksit (B_2O_3) kullanılmaktadır. Örneğin 2016 yılı için Dünya bor üretimi 4,2 milyon ton (2 milyon ton B_2O_3) olarak verilebilmektedir (4).

2.1.2. Bor ve Sağlık Etkileri

Avrupa Birliği Parlamentosu tarafından 18.12.2006 tarihinde kabul edilen ve 01.06.2007 tarihinde yürürlüğe giren bir tüzük olan REACH; (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) Avrupa'da kullanılan kimyasalların satışının yetkilendirilmesini, değerlendirilmesini, kaydının tutulmasını ve belli şartlar altında yasaklanmasını yönetir. REACH toplumun kimyasallar özellikleri hakkında daha fazla bilgilendirilmesini amaçlar ve kimyasalların meydana getirebileceği muhtemel zararların ve emniyet bilgilerinin kullanıcıya sağlanmasını sanayinin sorumluluğu olarak görür. Bu kapsamda Avrupa Birliği tarafından sodyum boratlar, borik asit ve bor trioksit üremeye toksik etkili maddeler olarak sınıflandırılmıştır. Bu değerlendirmeye karşı kararın iptali için ETİ Maden ve BOREN (Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü) tarafından Avrupa Birliği nezdinde dava açılmış ve açılan dava usul yönünden reddedilmiştir (11).

Toksikolojinin babası kabul edilen Paraselsus'a göre her şey zehirdir mühim olan dozdur. Avrupa Birliği bor için üremeye toksik etkili madde kararı almasında etkili olan çalışmalar; deney hayvanları, normal bir insanın maruz kalması mümkün olmayan düzeyde bora maruz bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde deney hayvanlarına ağız yoluyla çok yüksek miktarda ve uzun sürelerde bor verilmiş hatta bir çalışmada doğrudan vücuda enjekte edilmiştir. Normal şartlarda bir insan deri yoluyla veya temas yoluyla bora maruz kalması halinde hiçbir zaman deney hayvanlarına uygulanan miktarlara ulaşması mümkün olmayacaktır. Dortmund Üniversitesinden Prof. Dr. Hermann Bolt'un başında bulunduğu ve Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, BOREN, Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi'nden Prof. Dr. Nurşen Başaran, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi'nden Prof. Dr. Yalçın Duydu tarafından oluşturulan araştırma grubunun "Bor Maruziyetinin İnsanların Üreme Fonksiyonu Üzerindeki Toksik Etkilerinin Araştırılması" konulu çalışması 2010 yılında sonuçlanmış ve borların insan üremesi üzerinde olumsuz bir etkisi bulunmadığı saptanmıştır (17).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine bir insanın günlük alabileceği bor miktarı 1-13 mg B aralığı olarak belirlenmiştir. Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan National Academies Institute of Medicine verilerine göre yetişkin bir insanın alabileceği günlük maksimum bor miktarı 20 mg B olarak belirtilmiştir. Sağlıklı ve dengeli beslenen bir insan gün içinde tükettiği tahıl, meyve ve sebzelerden 1-3

mg/gün miktarında vücuduna bor almakta olup, vücuduna düşük bor diyeti (0,3-0,4 mg/gün) uygulanan insanlarda bor alımı günlük 3 mg değerine çıkarıldığında biyolojik fonksiyonlarında görülen olumsuzlukların düzeldiği gözlenmiştir (18).

2.1.3 Bor Madenciliği

Bor yataklarının bulunuşu ve işletilmesi Anadolu'da 13. ve 14. yüzyıllarda Romalılar devrine kadar dayanmaktadır. Bu bölgenin Osmanlı İmparatorluğu hâkimiyetine geçmesinden sanayi devrimine kadar olan uzun süreçte boraks yataklarına dokunulmamıştır (18). Doğada yaklaşık olarak 230 farklı bor minerali bulunur ancak bunlardan çok küçük bir kısmı sanayi için önem arz eder. Tinkal (boraks), tinkalkonit, üleksit, kolemanit, kernit, probertit ve szaybelit gibi borat grubuna dahil olan minerallerin ekonomik değeri vardır. Borat Minerallerini genel olarak sodyum ve kalsiyum boratlar, magnezyum boratlar ve borosilikatlar olarak 3 ana gruba ayırabiliriz (11).

Çizelge 2.1. Ticari Bor Mineralleri (13)

MİNERAL	FORMÜL	B₂O₃ İÇERİĞİ (Ağırlık Olarak %)
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50.8
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43.0
Tinkal	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	35.5
Kernit	Na ₂ B ₁₄ O ₇ .4H ₂ O	51.0
Pandermit	Ca ₄ B ₁₀ O ₉ .7H ₂ O	49.8
Hidroborasit	CaMgB ₆ O ₁₁ .6H ₂ O	50.5

Küresel ölçekte çok yaygın olmalarına rağmen ticari açıdan önem arz eden bor ve borat mineral ve madenleri 4 ana metalojenik bor bölgesinde toplanmıştır. Bu bölgeler Türkiye (Batı Anadolu), ABD (Kaliforniya), Güney Amerika (Arjantin, Şili, Peru ve And Dağları) ve Orta Asya (Kazakistan, Rusya, Çin) olarak sayılabilir. Borun ticari kullanım için en mühim kaynağı boraks (tinkal)'dır. Daha çok Türkiye, Arjantin ve ABD'de bulunmaktadır. Kolemanit ise borik asit ve kalsiyum borat üretiminde ana üretiminde ana üründür ve rezervleri çoğunlukla Türkiye'dedir. Szaibelyite ve datolit rezervleri Çin ve Rusya'da bulunmaktadır. Kuvaterner yaşlı bor oluşumları ise ABD ve Tibet'de playa gölleri ile tuz tavalarda ve And Dağlarındaki salarlarda bulunmaktadır (18).

Çizelge 2.2. Önemli Bor Minerallerinin Bulunduğu Yerler (19)

MİNERAL ADI	BULUNDUĞU ÜLKELER
TİNKAL	Türkiye - ABD - Arjantin
KERNİT	ABD - Arjantin
KOLEMANİT	Türkiye - ABD - Meksika
ÜLEKSİT	Türkiye - ABD
PROBERTİT	ABD
SZAYBELİT	Kazakistan - Çin
PANDERMİT	Türkiye
DATOLİT	Kazakistan - Rusya
SASOLİT	İtalya

Dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip olan yurdumuzda bor maden işletmeciliği 1960'lı yıllarda başladığı bilinmektedir. Türkiye'de bor yatakları işletme imtiyazı, 1861 yılında çıkarılan Maadin Nizamnamesi maddelerine dayandırılarak 1865 yılında bir Fransız şirketi olan Desmazures'e verilmiştir. 1887 yılında bir İngiliz şirketi olan Boraks Consolidated Ltd. bor madenleri işletme imtiyazı almış 1958 yılına kadar faaliyet göstermiştir. 1927 yılına gelindiğinde imtiyaz tanınmış yabancı şirket sayısı 624'e ulaşmıştır. 1935 yılında Etibank ve MTA gibi yerli kuruluşlar arama ruhsatı almışlardır. 1944 yılından sonra yeni yabancı şirketlere imtiyaz tanınmamış ve bazıları millileştirilmiştir. 1950'lerden itibaren Türk özel sektörü ve Etibank da işletmeye başlamıştır. 1978'de devletleştirme sonucu sadece Etibank tarafından işletilmeye devam edilmiştir. Etibank günümüzde Eti Maden Genel Müdürlüğü adını alarak işletmeye devam etmektedir (20). Türkiye'nin önemli bor yatakları Bursa(Kestelek), Eskişehir(Kırka), Kütahya(Emet) ve Balıkesir(Bigadiç)'de bulunmaktadır. Türkiye'de en çok bulunan bor mineraller tinkal ve kolemanit'dir. Kırka'da tinkal yatakları, Emet, Kestelek ve Bigadiç'de kolemanit yatakları bulunmakla beraber Bigadiç'te üleksit, Kestelek'de kolemanite ek olarak üleksit yan ürünü mevcuttur (4).

Çizelge 2.3. Havzalara Göre Türkiye Bor Rezerv Miktarları (4)

HAVZA ADI	MİNERAL BAZINDA MİKTAR (TON)
Emet (Kolemanit-Üleksit)	1.812.660.631
Kırka (Tinkal)	827.496.297
Bigadiç (Kolemanit-Üleksit)	629.788.478
Kestelek (Kolemanit)	5.254.923
TOPLAM	3.275.200.329

Türkiye Dünyanın en büyük bor rezervlerine sahiptir. Onu sırasıyla ABD, Rusya ve Çin izlemektedir.

Çizelge 2.4. Dünya Bor Rezervleri (4)

ÜLKE	SAHİP OLDUĞU TOPLAM REZERV (B₂O₃ olarak milyon TON)	YÜZDE (%)
Türkiye	952	72.9
ABD	80	6.1
Rusya	100	7.7
ÇİN	47	3.6
Peru	22	1.7
Arjantin	9	0.7
Bolivya	19	1.5
Şili	41	3.1
Kazakistan	15	1.2
Sırbistan	21	1.6
TOPLAM	1304	100

Türkiye'nin bilinen borat yataklarının tümü Batı Anadolu'da yer almaktadır ve volkanik aktiviteyle ilgili yataklar olarak sınıflandırılır. Günümüze dek saptanmış olan borat yatakları, Marmara Denizi'nin güneyinde, doğu-batı doğrultusunda yaklaşık 300 km'lik ve kuzey-güney doğrultusunda ise 150 km'lik bir alan içinde Bigadiç, Sultançayır, Kestelek, Emet ve Kırka bölgelerinde bulunmaktadır (21) (22).

Bor madeni işletmeciliğinde karada açık ocak madenciliği ve yer altı madenciliği olmak üzere iki yöntem uygulanabilmektedir. Sularda bulunan bor minerallerinin çıkarılmasında çözelti madenciliği adı verilen yöntem kullanılır. Hangi yöntemin uygulanacağı cevherin bulunduğu yer ve derinliğe göre değişmektedir. Bor madenciliğinde ülkemizde ve dünyada en çok kullanılan yöntem olan açık ocak işletmeciliği ile yapılır. Açık ocak yönteminde cevherin üzerinde bulunan örtü tabakası tabakanın fiziksel özelliklerine göre delme patlatma ile gevşetilir ve üzerindeki örtü tabakası alındıktan sonra cevher çıkarılır. Bu yöntem yer yüzeyine yakın tabakalarda oluşan bor mineralleri çıkarılmasında tercih edilmektedir. Türkiye'deki bor ocaklarında derinlik 250-300m kadar inerken, ABD California'daki Rio Tinto'ya ait bor yatakları yaklaşık 750m derinlikte işletilmektedir. Çıkarılan cevherler kırılıp yıkandıktan sonra büyüklüğüne göre ayrılıp yoğunlaştırılmış cevher olarak satılabileceği gibi kırılarak ve sonrasında öğütülerek zenginleştirilmesi de mümkündür. Türkiye yıllar içinde rafine ürün üretimine ve bor kimyasalları satışına yönelmiş ve bu doğrultuda parça cevher satışını azaltmıştır (18).

2.2 Bor Endüstrisi ve Tedarik Zinciri

Bor elementi geniş bileşik yapma kapasitesi ve nötron absorbe etme özelliği nedeniyle endüstri için vazgeçilmez bir hammaddedir. Metal ile ametal arası yarı iletken özelliğe sahiptir. Bor çeşitli sektörlerde genellikle bor kimyasalları şeklinde tüketilmekte olup konsantre bor olarak da tüketilebilmektedir (23).

Üretilen bor minerallerinin yaklaşık % 10'luk bir kısmı öğütme işleminden sonra ya da fiziksel sınıflandırma ile doğrudan mineral olarak kullanılmaktadır. Geri kalan kısımdan rafine ürünler elde edilerek tüketilir. Gelişen teknolojiler sayesinde bor mineralinin yeni kullanım alanları ortaya çıkmaktadır. Buna paralel olarak da farklı bor ürünlerinin üretimi gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır. Bor kimyasalları; alev geciktirme, leke çıkartma, anti-bakteriyel, asidite-alkanite dengeleme, düşük ergime sıcaklıkları, yüksel iletkenlik, anti-korozif, metabolizma üzerindeki etkileri, antiseptik gibi temel özellikleri nedeniyle geniş bir ürün yelpazesinde kullanılmaktadır. Bu nedenle "sanayinin tuzu" olarak da nitelendirilen bor mineralinin, toplam tüketiminin yaklaşık %80'lik kısmı cam, seramik, tarım ve deterjan olmak üzere 4 sektörde gerçekleşmektedir (18).

Çizelge 2.5. Bor Ürünlerinin Kullanıldığı Sektörler (18) (19)

KULLANILAN SEKTÖR	KULLANIM YERLERİ
Askeri & Zırhlı Araçlar	Zırh Plakalar, Seramik Plakalar, Ateşli Silah Namluları
Cam Sanayi	Borosilikat Camlar, Laboratuvar Camları, Uçak Camları, Borcam, Pyrex, İzole Cam Elyafı, Tekstil Cam Elyafı, Optik Lifler, Cam Seramikleri, Şişe, diğer Düz Camlar, Otomotiv Camları
Elektronik ve Bilgisayar Sanayi	Mikro çipler, LCD Ekranları, CD-Sürücüler, Akım Levhaları, Bilgisayar Ağlarında; Isıya-Aşınmaya Dayanıklı Fiber Optik Kablolar, Yarı İletkenler, Vakum Tüpler, Dielektrik Malzemeler, Elektrik Kondansatörleri, Kapasitörler, Gecikmeli Sigortalar, Bataryalar, Lazer Yazıcı tonerleri
Enerji Sektörü	Güneş Enerjisinin Depolanması, Güneş Pillerinde Koruyucu olarak, Hücre Yakıtları
Fotoğrafçılık ve Görüş Sistemleri	Kamera ve Mercek Camları, Fotoğraf Makinaları, Dürbünler, Banyo ve Film İmalatları
İlaç ve Kozmetik Sanayi	Dezenfekte Ediciler, Antiseptikler, Diş Macunları, Lens Solüsyonları, Kolonya, Parfüm, Şampuan
İletişim Araçlarında	Cep Telefonları, Modemler, Televizyonlar
İnşaat-Çimento Sektöründe	Mukavemet Artırıcı ve İzolasyon Amaçlı olarak
Kağıt Sanayi	Beyazlatıcı Olarak
Kauçuk ve Plastik Sanayi	Naylon, Plastik Malzemeler vb
Kimya Sanayi	Bazı Kimyasalların İndirgenmesi, Elektrolitik İşlemler, Flotasyon İlaçları, Banyo Çözeltileri, Katalistler, Atık Temizleme Amaçlı olarak, Petrol Boyaları, Yanmayan ve Erimeyen Boyalar, Tekstil Boyaları, Yapıştırıcılar, Soğutucu Kimyasallar, Korozyon Önleyiciler, Mürekkep, Pasta ve Cilalar vb.
Koruyucu	Ahşap Malzemeler ve Ağaçlarda Koruyucu olarak, Boya ve Vernik Kurutucularında

Makina Sanayii	Manyetik Cihazlar, Zımpara ve Aşındırıcılar Kompozit Malzemeler
Metalurji	Kaplama Sanayiinde Elektrolit Olarak, Paslanmaz ve Alaşımli Çelik, Sürtünmeye-Aşınmaya Karşı Dayanıklı Malzemeler, Kaynak Elektrotları, Metalurjik Flaks, Refrakterler, Briket Malzemeleri, Lehimleme, Döküm Malzemelerinde Katkı Maddesi olarak, Kesiciler Kompozit Malzemeler, Zımpara ve Aşındırıcılar
Nükleer Sanayi	Reaktör Aksamları, Nötron Emiciler, Reaktör Kontrol Çubukları, Nükleer Kazalarda Güvenlik Amaçlı ve Nükleer Atık Depolayıcı olarak
Otomobil Sanayi	Hava Yastıklarında, Hidroliklerde, Plastik Aksamda, Yağlarda ve Metal Aksamlarda, Isı ve Ses Yalıtımı Sağlamak Amacıyla, Antifrizler
Patlayıcı Maddeler	Fişek vb.
Seramik Sanayi	Emaye, Sır, Fayans, Porselen Boyaları
Spor Malzemeleri	Kayak Aksamları, Tenis Raketleri, Balık Oltaları, Golf Sopaları, Darbe Koruyucular
Tarım Sektörü	Biyolojik Gelişim ve Kontrol Kimyasalları, Gübreler, Böcek-Bitki Öldürücüler, Yabani Otlar
Tekstil Sektörü	Isıya Dayanıklı Kumaşlar, Yanmayı Geciktirici ve Önleyici Selülozik Malzemeler, İzolasyon Malzemeleri, Tekstil Boyaları Deri Renklendiricileri, Suni İpek Parlatma Malzemeleri
Tıp	Ostreopoz Tedavilerinde, Alerjik Hastalıklarda, Psikiyatride, Kemik Gelişiminde ve Artiritte, Menopoz Tedavisinde BNTC Terapi Yöntemiyle Beyin Tümörlerinin Tedavisinde, Manyetik Rezonans Görüntüleme Cihazlarında
Uzay ve Havacılık Sanayii	Sürtünmeye-Aşınmaya ve Isıya Dayanıklı Malzemeler, Roket Yakıtı, Uydular, Uçaklar, Helikopterler, Zeplinler, Balonlar

Bor mineralleri, yapılarında farklı miktarlarda B_2O_3 içeren doğal bileşiklerdir. Bor kimyasal ürünleri B_2O_3 içeriğine göre isimlendirilmekte olup B_2O_3 içeriği arttıkça ürünün değeri de artmaktadır (17).

Çizelge 2.6. ETİ MADEN Tarafından Üretilmekte Olan Konsantre Bor, Bor Kimyasalları Ve Eşdeğeri Ürünler (17)

	Ürün Cinsi	B_2O_3 İçeriği (%)
Bor Kimyasalları ve Eşdeğeri Ürünler	Boraks Dekahidrat ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)	37
	Borik Asit (H_3BO_3)	56
	Bor Oksit (B_2O_3)	97
	Boraks PH (Etibor 48) ($Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$)	48
	Öğütülmüş Kolemanit	42
	Susuz Boraks ($Na_2B_4O_7$)	68
Konsantre Bor Ürünleri	Konsantre Kolemanit	36-42
	Konsantre Üleksit	36-38
	Konsantre Tinkal	31-33
Özel Bor Ürünleri	Zirai Bor	67

Dünya yıllık bor tüketimi yaklaşık 2.000.000 ton B_2O_3 'dür. Bu miktarın %85,75'i 4 ana sektörde kullanılmaktadır. 1.150.000 tonu cam, 280.000 tonu seramik, 240.000 tonu tarım, 45.000 tonu deterjan ve 285.000 tonu diğer çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır (15).

2.2.1 Cam Sektöründe Bor

Borun günümüzdeki en önemli kullanım alanı cam sektörüdür. Camın kullanılacağı alana göre çeşitli miktarlarda bor içeren camlar geliştirilmiştir. Bunlar Borosilikat camları ve cam elyaf olarak ikiye ayrılmaktadır (11).

Borosilikat camlar ileri teknoloji ürünlerinde kullanılmaktadır ve bor ürünlerinin en önemli pazarıdır. LCD ekranlarda, laboratuvar malzemelerinde ve güneş enerji sistemlerinde kullanılabilir. Tipik borosilikat camın yaklaşık %13'ü B_2O_3 , %81'i silika, %2'si alüminyum ve %4'ü potasyum/sodyumdan oluşmakla beraber B_2O_3 içeriği %5 ile %30 arasında değişen değerlere ulaşabileceği uygulamalar yapılabilmektedir (24).

Çizelge 2.7. Borosilikat Camlarda Kullanılan Rafine Borlar (24)

ÜRÜN	B ₂ O ₃ (%)	KULLANILAN PAZAR
Boraks Pentahidrat	47.8	Yüksek sertliğe sahip borosilikat cam
Susuz Boraks	69.2	Yüksek sertliğe sahip borosilikat cam
Borik Asit	56.3	Ekran camları, yüksek sertliğe sahip borosilikat cam
Bor Oksit	100	Ekran camları

Borosilikat camlar kendi içerisinde yüksek bor içerikli borosilikat camlar (%15-25 B₂O₃), alkali toprak içermeyen borosilikat camlar (% 12-13 B₂O₃), alkali toprak içeren borosilikat camlar (%8-12 B₂O₃) ve alkali içermeyen alumino-borosilikat camlar (%5-10 B₂O₃) olmak üzere 4 gruba ayrılır. Başta Çin olmak üzere pek çok ülkede düşük kapasiteli borosilikat cam üreticileri bulunur. Bu üreticilerin büyük bir kısmı borat ve borik asit tüketmektedir (24).

Bor ürünleri için en büyük pazar cam elyaf pazarıdır. Dünya cam elyafı üretimi 2008 yılındaki küresel ekonomik kriz öncesinde 7,5 milyon ton ile en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Bor, cam elyaflarında cam hammaddelerinin erime noktalarını düşürerek etkili bir eritici olarak kullanılabilir (24). Bor içeren cam elyafları tekstil cam elyafı, yalıtım cam elyafı ve optik cam elyafı olmak üzere üç türü vardır. Kimyasal bileşimlerine göre çeşitli türlerde cam elyafı bulunmaktadır. Tekstil tipi cam elyafları en yaygın kullanıma sahiptirler. Bunlar A, B, C, D, E, R, S ve AR tipi camlardır. Uygulanacakları alana göre farklı formülleri ve bileşimleri mevcuttur (11).

Çizelge 2.8. Farklı Boratların Tekstil Tipi Cam Elyafı Üretimindeki Avantajları (24)

KOLEMANİT	BORİK ASİT
Daha düşük B ₂ O ₃ içeriği	Yüksek B ₂ O ₃ içeriği
Verimliliğin optimizasyonu	Düşük safsızlık
Kg başı cam üretiminde daha düşük maliyet	Üstün depolama ve işleme özellikleri
Fırın ömrünün uzatılması	Fırın stabilizesinin sağlanması
Fırında enerji verimliliği	Bor kazanımı için yüksek potansiyel

Bir İngiliz danışmanlık firması olan “Risk & Policy Analysts”, Avrupa’da bulunan 16 cam üreticisiyle cam üretiminde kullandıkları bor ürünleri ile ilgili araştırma yapmış ve bu sonuca göre en çok kullanılanın borik asit olduğu ortaya çıkmıştır (11) (25).

Çizelge 2.9. Bazı Avrupalı Cam Üreticilerinin Cam Üretiminde Kullandıkları Bor Ürünleri (11) (25)

BOR ÜRÜNÜ	CAM ÜRETİMİNDE KULLANIM ORANI (%)
Borik Asit	56
Boraks Pentahidrat	35
Kolemanit	8.2
Susuz Boraks	0.31
Bor Trioksit	0.08
Boraks Dekahidrat	0.07

2.2.2 Seramik Sektöründe Bor

Seramikler bor kullanımında en büyük ikinci pazardır. 2015 yılında dünya bor tüketiminin %12’si bu sektörde gerçekleştirildiği tahmin edilmektedir. Bu pazardaki uygulamaları borik asidin ve boratların sırlarda ve emaye kaplamalarda kullanımı şeklinde görülür. Fayans ve tuğlalarda da mukavemet arttırıcı olarak kullanılabilir. Sırlarda bor kullanımı malzeme ve cam arasında ısı uyumu sağlamak, ısıl genleşmeyi düzenlemek ve ergimenin ilk aşamasında cam oluşumunu sağlamak amacıyla gerçekleşir. Seramik sırlarında ağırlıkça %8-24 aralığında bor kullanılır. Bu sayede suya ve çizilmelere karşı daha dayanıklı hale getirir. Emayelerde doyunlaştırma ısını ve akışkanlığı azaltan bor oksit hammaddenin %17-32’sini oluşturur (24).

Seramiklerdeki borat tüketimindeki artış, Asya ve Güney Amerika’daki artan inşaat faaliyetleri ve gelir düzeyindeki artışa bağlıdır. Enerji tüketimini azaltmak ve rafine boratların ürün kalitesini artırmak için sodyum boratlardan sodyum olmayan malzemelere geçiş hızlanmıştır. Bunun bir göstergesi de büyük karo üreticisi ülkelerdeki sodyum olmayan doğal borat ithalatındaki artıştır (15).

2.2.3 Tarım Sektöründe Bor

Bor elementinin bitki gelişimi için gerekliliği 82 yıl önce belirlenmiştir fakat bitki bünyesindeki faaliyeti halen tam olarak aydınlatılamamıştır. Hücre duvarına katılarak bitkinin sağlam bir yapı ve doku ağına sahip olmasını sağlar. Hücrenin fiziksel fonksiyonları ve yapısal bütünlüğü üzerinde belirleyicidir. Eksikliğinde hücre membranı çok geçirgen bir hale gelmekte ve membran stabilitesi bozulmaktadır. Vejetatif büyümeden ziyade generatif büyümede etkindir. Tohum ve meyve büyümesi bor eksikliğinden ciddi şekilde etkilenmektedir. Azot fiksasyonunda etkin rol oynar (26).

Bor yüksek çözünürlüğü dolayısıyla topraktan kolayca uzaklaştırılabilir. Düşük miktarda organik madde bulunan topraklarda, asitli ve kumlu topraklarda yetersiz bor konsantrasyonu görülür. Topraktaki kalsiyum/bor oranı (Ca:B) çok önemlidir. Yüksek miktarda kalsiyum içeren topraklarda daha fazla bor gerekir. Düşük kalsiyum içeren topraklarda gereğinden fazla bor kullanımı bor toksisitesine neden olur (15).

Bor ürünlerinin tarım ve ormancılıkta gübre, herbisit, pestisit, ahşap koruyucu olarak kullanılmaktadır. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü katma değerli bor ürünlerinin ülkemizde üretilmesi yönünde gerçekleştirdiği Ar-ge çalışmaları nihayetinde; bitkilerde mikro besleyici şeklinde kullanılan Disodyum Oktaborat Tetrahidrat (Etidot-67) isimli ürünü piyasaya sürerek zirai bor üretimine başlamış ve söz konusu ürün ile verim artışı sağlanmıştır (24).

Ulusal Bor Araştırma Enstitüsünün geliştirdiği tarım bor ürününün bitki verimine olumlu etkisi gözlemlenmiştir (11).

Çizelge 2.10. Bitkilerde Bor Kullanımıyla Sağlanan Verim Artışları (11)

BİTKİ CİNSİ	VERİM ARTIŞI (%)	Uygulanan Bor miktarı (kgB/hektar)
Buğday	35	2.5
Sarımsak	22	2
Yonca	30	3
Domates	18	1.5
Fındık	19	2

2.2.4 Deterjan ve Sabun Sektöründe Bor

Deterjan ve sabun endüstrisi, bor tüketiminin gerçekleştiği en büyük 4. pazardır. Deterjan ve sabunlarda su yumuşatıcı ve jermisit (mikrop öldürücü) etkisi nedeniyle %10 oranında boraks dekahidrat, beyazlatıcı özelliği arttırmak için %10-20 miktarında sodyum perborat eklenmektedir. Sodyum perborat ilk olarak 1904 yılında Degussa firması tarafından deterjanlarda kullanılmıştır. Ancak yeterli başarıyı gösterememiştir. Daha sonra 1907 yılında Henkel firması tarafından daha başarılı bir pazarlama şekli ile sodyum perborat içeren deterjan Persil ismiyle piyasaya sürülmüş ve kullanıcı tarafından kabul görmüş olmakla beraber halen günümüzde kullanılmaktadır (24) (11).

Boratlar ve perboratlar alkalın tamponlama, pH kontrolü, su yumuşatma, yüzey aktif maddenin performansını artırma, kirin yeniden temizlenen yüzeye yapışmasını engelleme gibi özellikleri nedeniyle de temizleyicilerde aktif olarak kullanılmaktadır. Bu konuda ETİ Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Ar-ge çalışmaları sonucu ETİ MATİK isimli bor temizlik ürünü geliştirilmiş ve piyasaya sunulmuştur.

2.2.5 Bor Sektöründe Fiyatlandırma ve Piyasa Yapısı

Küresel ölçekte bor pazarı, 2000-2008 yılları arasında genel olarak büyürken 2008-2009 yıllarında küresel ekonomik kriz nedeniyle küçülme yaşamıştır. 2010 yılına gelindiğinde küresel ekonomik krizin etkisinin azalmasıyla büyüme eğilimi göstermiş, 2011 yılında ise 2010 yılına kıyasla büyüme eğilimindeki hızı yavaşlasa da devam etmiştir. 2012 yılında Dünya genelinde hedef pazarların daralması nedeniyle bor tüketimi azalmıştır. 2013 yılında yılın ilk yarısında talep düşük seyrederken, ikinci yarısında kısmen de olsa canlanarak 2012 yılına göre iyileşme göstermiştir. 2014 yılında Dünya bor üretim kapasitesinin yaklaşık %82'si kullanılarak 4,6 milyon ton (2,13 milyon ton B₂O₃) bor ürünleri üretilmiştir (23) (13) (24).

Bor rezervleri 4 bölgede (Türkiye, Güney Amerika, ABD ve Rusya,) yoğunlaşmış olduğundan bor sektörü oligopol bir yapıya sahiptir. Sektörün büyük kısmı Türkiye'den Eti Maden ve Amerikalı rakip firma tarafından şekillendirilmektedir. Bu gibi özellikleri bor piyasasını kendine has davranmasını sağlamaktadır. Fiyatlandırma işlemi borsasız olarak gerçekleştirilmektedir. Fiyatlar alıcı ve satıcılar arasındaki görüşmelere göre şekillenir. Dünyadaki genel ekonomik durum, hedef pazarlardaki büyüme veya daralma, satışa sunulan ürün maliyetleri, bor içerikli

ürünlere olan talep, sektördeki diğer oyuncuların politikaları, geliştirilen alternatif üretim teknolojileri gibi gelişmeler bor fiyatlandırmasını etkilemektedir (24).

2.3. Karmaşık Sistemler Teorisi ve Terminolojisi

Sistem kavramının bilimsel bir anlayışla ele alınması 20. yüzyılın ortalarında başlamış ve beraberinde genel sistem anlayışını getirmiştir. Bu dönemde her bilim dalında uygulanabilecek sistem teorisi geliştirilmiştir. Sistem teorisi, aynı neticeleri elde etmek için birbiriyle uyum içerisinde çalışan bir grup nesnenin analiz edilebileceği bir çerçevedir. Bu çerçeve bazen tek bir canlı olabileceği gibi bazen de bu canlıların oluşturduğu büyük bir toplum olabilir. Sistem teorisi düşüncesi, farklı disiplinler tarafından giderek daha yaygın şekilde kullanılmaya başlanmaktadır (27).

Gecikme ve geri beslemenin nedeninin birbiriyle olan ilişkilerinin doğrusal olmadığı sistemlere karmaşık sistemler denir (28).

Sistem tanımının pek çok farklı hali bulunmaktadır. Birbiriyle karşılıklı etkileşimde bulunan birimlerin bir bütün olarak faaliyet gösterme amacıyla birleşimi olarak tanımlanabildiği gibi (27), belirlenen sınırlar içinde parçaları ve ilişkileri olan herhangi bir şey olarak da tanımlanabilmektedir (28).

Sistemin yapısı; bir sistemdeki elemanların, değişkenlerin arasındaki ilişkilerin tümü olarak tanımlanır. Sistem kuramına göre, sistemin işleyişini belirleyen asıl faktör o sistemin yapısıdır. (Forrester, 1961; Sterman, 2000). Örneğin bir canlı türü ortam koşulları sertleştiği için değil, vücudunu yani iç yapısını sert ortam koşullarına adapte edemediği için yok olur. Buradan da anlaşılacağı gibi sistem analistleri ortamı suçlamak yerine iç yapının iyileşmesine odaklanırlar. İyi bir sistem modelinde ortamda soruna neden olan tüm bileşenlerin barındırılması gerekmektedir (29).

Sistem yaklaşımı, olayları tek tek incelemek kadar, bu olayları ve aktörleri birbirleriyle olan ilişkilerinin ve etkileşimin incelenmesinin önemini ortaya koymuştur. Sistemler açık sistemler ve kapalı sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sistem ile sistemin bulunduğu çevre arasında materyal, bilgi, enerji ve benzeri alışveriş varsa, bu tür sistemler açık sistemler olarak tanımlanır. Durağan değildirler. Çevrelerine uyum sağlama eğilimindedirler, değişim ve gelişime açıktırlar. Aksi takdirde kapalı sistem olarak adlandırılır. Bir sistem incelenirken sadece bu sistemin yapı ve fonksiyonları dikkate alınırken dış çevreden söz bahsedilmiyorsa bu sistem

kapalı bir sistemi ifade etmektedir. Kapalı sistemler açık sistemler gibi çevreleriyle uyumlu olmak zorunda değildir, kendi içlerinde uyumludur (30) (27).

Karmaşık sistemleri irdelemek için geliştirilen başlıca yaklaşımlar kesikli olay simülasyonu, sistem dinamiği ve etmen tabanlı modelleme olup ilerleyen bölümlerde detaylı olarak sunulmuştur.

2.3.1 Kesikli Olay Simülasyonu

Kesikli olay simülasyonu; sistemi, belirli bir zamandaki olayların işleyişini ayrı bir dizi olarak modeller. Zamanın belirli noktalarında, sistemdeki değişkenlerin değerleri değişmektedir. Yalnızca sistemdeki olaylar net olarak gerçekleştiğinde sistemin durumu değişir. Ardışık olaylar arasında sistemde herhangi bir değişiklik meydana gelmediği varsayılır ve bu sayede simülasyon bir olaydan diğerine zamanla doğrudan atlayabilir. Bir müşterinin kuyrukta bekleme zamanı gibi. Simülasyonda sistemin performansının tahmini için sistem durum değişkenlerinin takip edilmesi gereklidir (31).

Simülasyon sürekli olarak sistem dinamiklerini izler. Zaman küçük zaman dilimlerine bölünür ve sistem durumu zaman diliminde gerçekleşen etkinlik kümesine göre güncellenir. Kesikli olay simülasyonları her zaman dilimini simüle etmek zorunda olmadığı için sürekli simülasyona göre çok daha hızlı çalışabilirler (32).

Kesikli olay simülasyonu belirlenmiş zamanlara göre dizilmiş olay listesi üzerinden çalışır. Olaylar listeden alınarak işleme sokulur ve durum geçişlerine neden olan işlemleri yürütür. Alınan işlem sonuçlarına göre yeniden olayların planlanıp listeye eklenebilir ya da eski olaylar listeden kaldırılabilir. Olaylar her zaman sistemin kendi kontrolünde değildir. Çevre şartları da olaylara neden olabilir.

Kesikli olay simülasyonu yapısı nedeniyle rassallığa daha uygundur ancak sistemin dinamizminin değerlendirilmesi ve sistemin bir bütün olarak ele alınmasında sistem dinamiği yaklaşımı kadar etkin değildir. Sistem dinamiği yaklaşımıyla, bütün sistemin dinamizminin incelenmesi mümkündür. Sistem dinamiği modelini kurmadan önce nedensel ilişkilerin gösterildiği nedensel döngü diyagramlarının gösterilmesi gereklidir. Hem kesikli olay simülasyonu yaklaşımında hem de sistem dinamiği yaklaşımında kurulan model yinelemeli (iteratif) şekilde çalışır ve buna göre çıktılar değerlendirilir. Hangi yaklaşımın seçileceği araştırmacının bakış açısı ve sistemin yapısına uygunluğuna göre değişebilir (33) (34).

Çizelge 2.11. Kesikli Olay Simülasyonu ve Sistem Dinamiğinin Karşılaştırılması (33)

Kriterler	Sistem Dinamiği	Kesikli Olay Simülasyonu	Kaynak Çalışma
Modellenen Problem Türü	Stratejik	Operasyonel ve Taktiksel	Sweetser 1999, Lane 2000
Geri Besleme Mekanizması	Nedensel ilişkiler ve Geri Besleme Mekanizması (Dinamik)	Açık Döngü Yapısı ve Geri Besleme Önceliği Bulunmuyor (Statik)	Coyle 1985, Sweetser 1999, Brailsford ve Hilton 2001
Sistem Temsili	Bütüncül Bakış Açısı	Analitik Bakış Açısı	Baines 1998, Lane 2000
Karmaşıklık	Genel ve Soyut Olarak Geniş Bakış Açısıyla	Karmaşıklık ve Detaylara Dar Bakış Açısı	Lane 2000
Veri Girişi	Sistematik olmayan, Kalitatif ve Kantatif veri	Kesikli Proseslere Dayalı Kantatif Veri	Sweetser 1999, Brailsford ve Hilton 2001
Rassallık	Stokastik verilerden daha çok ortalama değerler kullanılır	İstatistiki rassal veriler ve istatistiki dağılımlar kullanılır	Meadows 1980
Model Sonuçları	Sistem Performansının Tüm Resminin Sergilenmesi	Sistem Performansının İstatistiksel Geçerlilikte Sergilenmesi	Meadows 1980, Mak 1993

Sistem dinamiği yaklaşımını bir başka modelleme yöntemi olan Ajan Temelli Simülasyon ile karşılaştıran Macal (2010)'a göre; iki yaklaşımın da doğrusal olmayan sistem modellemesine uygun olduğunu ancak sistem dinamiği yaklaşımında sistemin alt sistemlere ayrılarak sistemin değişkenleri arasındaki

ilişkiler incelenirken, ajan temelli simülasyonda sistemdeki bireysel oluşumlar arasındaki ilişkiler doğrultusunda modellendiği belirtilmiştir. Ajan temelli simülasyonda bireysel değişkenler modellenerek ajanlar arasındaki davranış değişiklikleri incelenebilir. Ajan temelli simülasyonda asıl amaç çevresel adaptasyon ve deneyimleyerek öğrenme iken sistem dinamiğinde asıl amaç geri beslemeler arayıcılığıyla sistemin durumunu değiştirmektir (34).

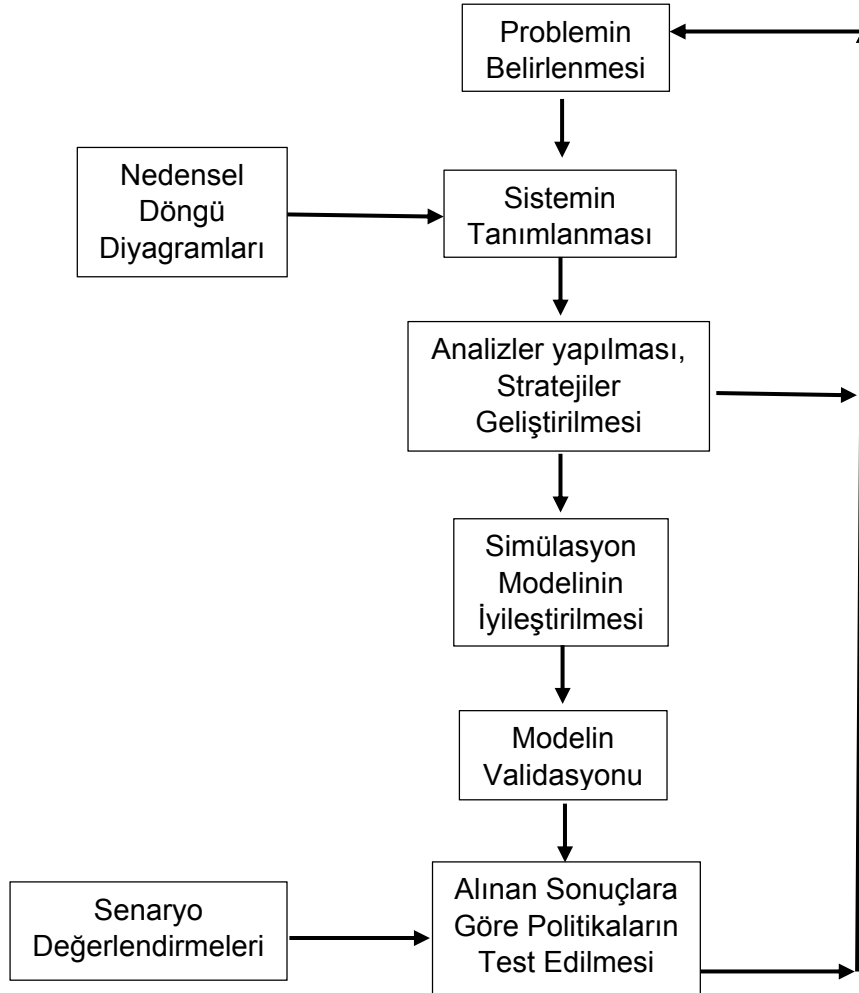
2.3.2 Sistem Dinamiği

Sistem düşüncesinde her etki, aynı zamanda hem sebep hem de sonuç olabilecek bir aksiyon olarak kabul edilir. Sistemin belli bir düzeyde faaliyette bulunabilmesi için çevresinden aldığı her şey girdi olarak tanımlanır. Girdiler teknolojik olarak işleme tabii tutularak ve dönüştürülerek çıktı halini alır. Burada gerçekleşen dönüşüm neticesinde oluşan bilginin tekrar sisteme veri olarak iletilmesi ile geri besleme gerçekleşir. Bu nedenle geri besleme eylemlerin birbirini dengeleyebileceğini veya güçlendirebileceğini gösteren bir kavramdır. Geri beslemenin, dengeleyen (negatif) ve pekiştiren (pozitif) olmak üzere iki tipi vardır (27).

Negatif Geri Besleme: Girdi-çıkıtı sürecinde dış ortamdan gelen bilgi ve uyarıları geri besleme gerçekleştirerek hedefler ile karşılaştırılması ve hedeften sapma nedenlerini ortadan kaldıracak şekilde faaliyetlerin yeniden düzenlenmesi sürecindeki geri besleme, negatif geri beslemedir. Girdideki her eksi artı ile karşılamak suretiyle sistemin mevcut durumunu koruyarak değişim eğilimini reddettiği için kargaşa durumuna olumlu bakmaz. Bu tür geri beslemeler istikrar (düzeni sürdürme) mekanizmasıdır. Veriler daha önceki sonuçların tersi yönünde bir etkiye sahipse bu negatif geri beslemedir (27).

Pozitif Geri Besleme: Bu tip geri besleme genellikle tesadüfi bir değişimdir ancak bir kez başladığında kartopu misali büyür. Sistemde sapma veya kararsızlık durumu, daha fazla kararsızlık ve sapmaya neden olacak şekilde artarak devam eder. Kendi kendini geliştirerek mevcut durumdan uzaklaşır ve sistemi kararsızlaştırarak sapmaları büyütür. Kargaşa durumu sadece pozitif geri besleme ile mümkündür ancak hep daha geniş bir geri besleme sistemini itmek suretiyle meydana gelir ve hep başka bir negatif geri besleme sistemince çekilir. Pozitif geri beslemeler büyümenin motorudur (27).

Sistem dinamiği basit tahmin yöntemleriyle çözümlenemeyecek kadar karmaşıktır. Bunun nedeni, doğal sezgilerimizin sistemde yer alan ve sistem davranışını etkileyen döngüler ve geri bildirimlerin kavranmasında yetersiz kalışdır. Sistem davranışlarını iyileştirmek için sezgiler doğrultusunda alınan kararlar, istenmeyen ve bu sezgilere aykırı sonuçlar ortaya çıkarabilirler. J. W. Forrester'ın Kent Dinamiği Modeli (Forrester, 1969) Amerika Birleşik Devletlerinin o yıllarda ekonomik resesyona giren şehirlerinde, konut üretimini arttırmanın beklenenin aksine ekonomik durgunluğu daha da arttırdığını göstermiştir. Forrester deneylerinde zaman içinde eskiyen konutların yıkılmasıyla elde edilecek arsaların yeni iş kollarına tahsis edilmesiyle ekonominin canlanabileceğini ortaya koymuştur (29).



Şekil 2.3. Sistem Dinamiği Modelleme Süreci (27)

Sistem dinamiği yönteminde ilk olarak sistemde öne çıkan problemler belirlenir. Problem belirlendikten sonra, ilgilenilen sistemin sınırları, alt sistemler ve değişkenleri tanımlanır. Sistemin sınırlarının belirlenmesi oldukça önemlidir çünkü bu aynı zamanda modelin kapsamını da belirler. Nedensel döngü diyagramları sistemdeki değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren bir diyagramdır ve sistem tanımlamasının daha rahat yapılmasını sağlar. Bir sonraki aşamada sistemin neden sonuç ilişkileri üzerine detaylı incelemeler yapılır. Bu noktada problemlere çözümler üretilebilir. Eğer sorunlara çözüm bulunamazsa sistem içerisindeki stok değişkenleri arasındaki akışları gösteren değişkenler belirlenir. Stok ve akış değişkenleri Nedensel döngü diyagramına uygun şekilde simülasyon modeline aktarılır. Değişkenler arasındaki matematiksel formüller girilir. Başlangıç şartları modele aktarılır ve model çalıştırılır. Modelin parametrelerin değişiminden ne şekilde etkilendiği, amacı doğrultusunda çalışıp çalışmadığı, esnekliği gibi özellikleri araştırılır. Bu modelin geçerliliğini belirler. Modelde parametreler değiştirildiğinde sistem davranışını nasıl etkilediği gözlemlenir ve duyarlılık analizi yapılarak sistemin davranışı tahmin edilir. Bu değişik durumlarda sistemin davranışlarına göre stratejiler yeniden gözden geçirilir ve düzenlenir (35).

Karmaşık sistem davranışını anlamak demek bir model kurmak demektir. Zihinsel bir modele göre sistem dinamiği modeli çok daha sistematiktir. Birikimler, ilişkiler ve akışlar kullanılarak akılda tasarlanan model görünür hale getirilerek doğrulanabilir, tartışılabilir ve denenebilir bir model ortaya konulur. Bu model karmaşık bir sistemin davranışlarını analiz etmede ve istenen yönde değiştirmeye yönelik müdahalelerin belirlenmesinde kullanılır. Ne yapılırsa veya ne yapılmazsa karşılığında ne olacağı ile ilgili politikalar geliştirilebilir. Karmaşık sistemler yapısı nedeniyle kolay anlaşılmadığından zihinsel modeller karmaşık sistemleri analiz etmede yetersiz kalırlar. Karmaşık sistemler kullanılarak değişik senaryolarda denenerek sistemin nasıl davranacağı bulunabilir. Deneme ve yanılgılar sistem üzerinde çok kısa zamanda ve maliyetsiz olarak gerçekleştirilebilir. Bu sayede model etkili bir strateji geliştirme ve kararlara yön verme aracına dönüşür. Model üzerindeki birikimler integral olarak akışlar ise türev olarak modellenir ancak bir arayüz aracılığı ile bu matematiksel işlemler gerçekleştirildiğinden denklemler görülmez. Modeli kullanan kişi simgeler ile çalışarak gerekli verileri girer ve bilgisayar yazılımı denklemleri uygulayarak sistemin davranışlarını istenen zaman aralığında raporlar (28).

Dinamik benzetim modelleri değişkenler ve bu değişkenler arasındaki matematiksel ilişki bağlarıyla kurulur. Bu modellerin benzetimi için çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir. Sistem dinamiği modellemesinde önde gelen yazılımlar; Powersim (Powersim Corp. 1996), Anylogic (XJ Technologies Company 1992), Stella ve Ithink (isee systems inc. 1996 ve 1999), ve Vensim'dir. (Ventana 1996) (29).

2.3.3 Etmen Tabanlı Modelleme

Etmen Tabanlı Modelleme (ETM) ilk olarak 1940'lı yıllarda ortaya çıkmış olsa da karmaşık bilgisayar hesaplamalarına ihtiyaç duyulduğundan bilgisayarların yaygınlaşmaya başladığı 1990'lı yıllara kadar yaygınlaşmamıştır (36).

Etmen Tabanlı Modelleme karmaşık sistemlerin modellenmesinde kullanılan birbiriyle etkileşim içindeki otonom etmenlerden oluşur. Problem çok geniş bir alanı kapsıyorsa problemi daha küçük parçalara bölmeyi önerir. Sistem bu tip bir dağıtık yapıda modellendiğinde; sistemin bir noktasındaki problem genele yayılmaz, söz konusu noktada hata oluşur. Hızlı bir çözüme ihtiyaç duyulduğu durumlarda; etmenler birbiriyle senkronize olarak hareket etmediklerinden dolayı başka etmenlerin kararlarını da beklemek zorunda kalmayacaklarından hızlı bir çözümlenme sağlanır (37) (38).

Etmen tabanlı Modellemeyi, sistem dinamiği ve kesikli olay simülasyonu yaklaşımından ayıran özellikleri; kendi kendini örgütleyebilme ve sistemdeki heterojen etmenlerin modellenenebilmesidir (39).

Sistem çerçevesi, sistemde modellenen kısım, ilgilenilen değişken ve alt sistem sayısı gibi parametreler doğrultusunda kullanılacak yaklaşım seçimi gerçekleştirilir. Çizelge 2.12'de Etmen Tabanlı Modelleme ile Kesikli Olay Simülasyonu karşılaştırılarak yedi madde üzerinden aralarındaki farklar belirtilmiştir.

Çizelge 2.12. Etmen Tabanlı Modelleme ile Kesikli Olay Simülasyonu Karşılaştırması (40)

Etmen Tabanlı Modelleme	Kesikli Olay Simülasyonu
Birey Tabanlıdır. Odak noktası değişkenler ve aralarındaki ilişkidir.	Odak noktası sistemin detaylı olarak modellenmesidir
Aşağıdan yukarı modelleme yaklaşımı vardır	Yukarıdan aşağıya modelleme yaklaşımı vardır
Her etmenin kontrolü kendi biriminde yürütülür. Özerktir	Kontrol merkezi olarak sağlanır
Varlıklar aktiftir ve inisiyatif alabilir	Varlıklar pasiftir ve sistem doğrultusunda hareket eder
Kuyruk diye bir kavrama sahip değildir	Kuyruklar anahtar elemandır
Akış kavramı yoktur. Genel davranış modellenmez	Değişkenlerin sistem doğrultusunda genel davranışı modellenir
Girdi dağılımları öznel veri ve teorilere dayalıdır	Girdi dağılımları hedeflenen veriye dayalıdır.

2.4. STELLA / iTHINK Yazılımı

Bu tez çalışması kapsamında sistem dinamiği yöntemi STELLA yazılımı kullanılarak geliştirildiğinden STELLA program dili bu bölümde sunulmuştur. STELLA ve iTHINK yazılımlarının her ikisi de Isee Systems firmasına aittir ve kullanılan dil aynıdır. STELLA'nın temel bileşenleri; Birikimler (Stocks), Akışlar (Flows), Dönüştürücüler (Converters), Bağlayıcılar (Connectors) ve Karar Süreci Elması (Decision Process Diamond) oluşturmaktadır. Bu çalışmada STELLA yazılımı kullanılmıştır.

2.4.1. Birikimler (Stocks)

Birikim, sistemin o anki durumunu gösteren değişkendir. Birikimlerin ne durumda olduklarına bakarak sistemdeki diğer elemanların ne durumda oldukları anlaşılabilir. Yazılımdaki şekli dikdörtgendir. Akümülatör çalışma prensibi gibi görev alırlar. Modelde kendilerine doğru akan her şeyi biriktirirler. Birikimler hesabınızdaki para gibi maddi ya da zihnimizdeki düşünce gibi manevi büyüklükleri ifade edebilirler.



Şekil 2.4. STELLA Yazılımındaki Birikim Simgesi

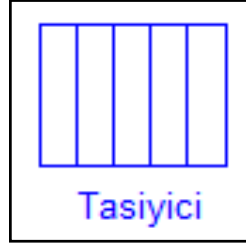
Birikimler bir sistemin ne halde olduğunu anlatır çünkü sistemdeki diğer öğelerin durumu birikimlere bakarak anlaşılabilir. Özel bazı durumlar haricinde sistemdeki tüm faaliyet dursa bile birikimlerin seviyesi sıfıra inmez. Bir diğer sistem değişkeni akışlar sistemdeki doldur-boşalt görevini yerine getirirler ancak bu görevleri sırasında sistemde dengesizlik oluştururlar. Birikimler bu dengesizlikleri dinamik bir davranışla ortadan kaldırırlar. Birikimler ayrıca tüketilebilir kaynaklar (yakıt, yemek) ve üretken kaynak (makine, sevgi) olmak üzere iki tip kaynak olarak da kullanılabilir. Kullanım ihtiyaçlarına göre dört tip birikim vardır. Bunlar fırınlar (ovens), taşıyıcılar (conveyors), kuyruklar (queues) ve sarnıçlardır (reservoirs) (27).

2.4.1.1 Sarnıçlar (Reservoirs)

Sarnıçlar STELLA yazılımındaki varsayılan birikim türüdür. Diğer birikim tipleri içinde en çok kullanılanlardır. Diğerleri özel durumlarda kullanılan özel birikimlerken, sarnıçlar normal birikimleri ifade eder. Simgesi birikiminki gibi içi boş dikdörtgendir. Aynı sıvı ile doldurulan kaplar sarnıçların birikimlerine örnek gösterilebilir. Örneğin bir benzin deposunda benzinin hangi kısmının önce girdiği veya deponun neresinde bulunduğu, içine girenin birbirine karıştığı, boşaltma esnasında önce hangisinin çıkacağının önemsiz olduğu bu gibi ortamlar sarnıçlar ile modellenir (27).

2.4.1.2. Taşıyıcılar (Conveyors)

Taşıyıcı birikimlerde, taşıyıcıya gelen malzeme bir süre taşıyıcı içinde kalır ve sonra da çıkar. Burada ilk gelen ilk çıkar prensibi bulunur. Taşıyıcıya giren malzemeler birbiriyle karışmaz.

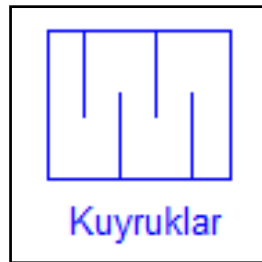


Şekil 2.5. STELLA Yazılımındaki Taşıyıcı Simgesi

Taşıyıcıların, içlerine aldıkları malzemelerin içlerinde ne kadar kalacakları geçiş süresi (transit time) ile belirlenir. Geçiş süresi sabit ya da değişken olabilir. Taşıyıcılar çalışırken askıya alınabilir. Tek yönlü olmaları şartıyla, taşıyıcılarda çoklu akışlar kullanmak mümkündür. Taşıma kapasiteleri ve dolduran akışları sınırlandırılabilir (27).

2.4.1.3 Kuyruklar (Queues)

Kuyruklar sistemdeki tıkanma ve birikmeyi önlemek için kullanılan bir birikim tipidir. Gişe önünde sıra bekleyen insanlar gibi. Kuyruklar da taşıyıcılarda olduğu gibi önce giren prensibine ve gelen malzeme farklılığına duyarlı şekilde çalışırlar.

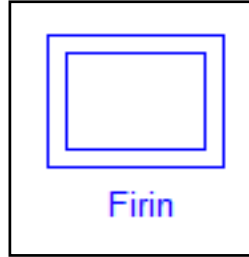


Şekil 2.6. STELLA Yazılımındaki Kuyruk Simgesi

Çoklu akış bulunduğu yazılım, belirli bir sıra içerisinde her akış ayrı olarak ele alınır ve böylece akışlardan gelen malzemeler bir diğeri ile karışmazlar. Tek yönlü olmaları şartıyla, kuyruklarda da çoklu akışlar kullanmak mümkündür. Kendilerini dolduran akışları kontrol edemezler. İçlerindeki malzemenin tamamını dışarı akıtmak isterler. Kuyruklarda birden fazla boşaltan akış oluşturulduğunda bunlardan bazılarının taşma akışı olarak tanımlanması bazı hataları önlemek açısından önemlidir (27).

2.4.1.4 Fırınlar (Ovens)

Fırınlar isminde de anlaşılacağı gibi modelde bir fırın gibi hareket eder. Kapılarını açarak malzemeyi alırlar ve pişirerek çıkartırlar. Diğer değişkenler tarafından faaliyetleri yönlendirilir. Fırınlar kapasiteleri veya belli bir süre boyunca madde alırlar. Bu şartlardan biri doygunluk seviyesine geldiğinde madde kabul etmeyi bırakırlar. Daha sonra pişirme, yani işlem yapma sürecine başlarlar.

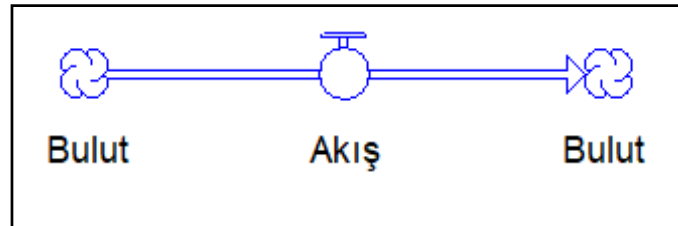


Şekil 2.7. STELLA Yazılımındaki Fırın Simgesi

Malzeme fırın içerisinde tanımlanan “pişirme süresi” boyunca kalır, daha sonra çıkarılır ve yeniden malzeme kabulü, işleme ve çıkarma işlemi döngüsü başlar. Fırınların çalışması da askıya alınabilir. Fırınlar bir kuyruk, sarnıç veya bulut tarafından doldurulabilir. Tek yönlü ve tek bir akış tarafından doldurulur. Çoklu akışlar kullanılamaz (27).

2.4.2. Akışlar (Flows)

Akışlar birikimlerin tamamlayıcısıdır. Birisi olmadan diğeri olmaz. Birikimlere malzeme akışını sağlayan yani onları dolduran veya boşaltan değişken akışlardır.

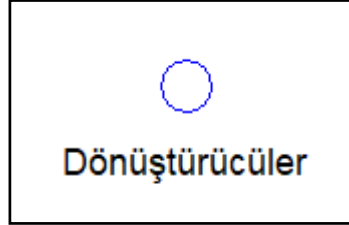


Şekil 2.8. STELLA Yazılımındaki Bulut ve Akış Simgesi

Bir akış varsa tükenme ya da artma söz konusudur. Akışlarda malzeme ok yönünde akar ve akan maddenin pozitif büyüklüğe sahip olduğunu ifade eder. Modelin sınırlarının belirlenmesi çok önemli bir aşamadır ve bulutlar bu sınırları belirler. Akışlar bir birikimden çıkmıyor da bir buluttan geliyorsa sınırsız bir kaynak söz konusudur (27).

2.4.3. Dönüştürücüler (Converters)

Dönüştürücüler modelde yardımcı görevindedirler. Grafik fonksiyonların kullanılması, matematiksel formüller ile ilişkiler kurulması gibi modeldeki önemli işlemler dönüştürücülerden gerçekleştirilir. Girdileri çıktılara dönüştürdükleri için bu isimle anılırlar.

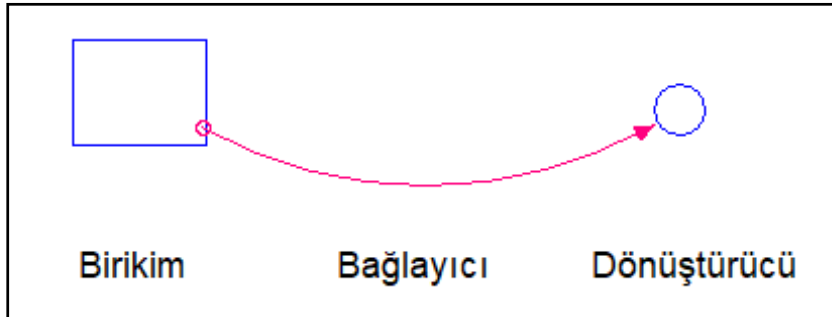


Şekil 2.9. STELLA Yazılımındaki Dönüştürücü Simgesi

Dönüştürücüler hem malzeme hem de bilgi büyüklüklerini gösterebilirler ancak içlerinde sadece bilgi saklarlar. Bazı işlemlerin sonuçları bu değişkende tutulur. İçlerinde sakladıkları bilgiler farklı kaynaklardan geliyor olabilir. Birikimlerden farklı olarak, birikimler gibi sadece malzeme değil bilgi de barındırırlar. Ancak birikimlerin aksine hafızaları yoktur (27).

2.4.4. Bağlayıcılar (Connectors)

Değişkenleri birbirine bağlayarak sistemdeki nedensellik ilişkilerini modele aktarmaya yarayan bir nesnedir. Bağlayıcılar, diğer nesnelere arasındaki etkileşimleri gösterirler ancak tek görevleri bu değildir. Aynı zamanda bu etkileşimler için gerekli olan bilgileri de taşırlar.



Şekil 2.10. STELLA Yazılımındaki Bağlayıcı Kullanımı ve Simgesi

STELLA dilinde hareket bağlayıcıları ve bilgi bağlayıcıları olmak üzere iki tür bağlayıcı vardır. Birikimleri dönüştürücülere, Birikimleri akış ayarlayıcılarına, birikimleri karar süreci elmasına, akış ayarlayıcılarını dönüştürücülere, akış ayarlayıcılarını akış ayarlayıcılarına, akış ayarlayıcılarını karar süreci elmasına, dönüştürücüleri akış ayarlayıcılarına, dönüştürücüleri dönüştürücülere,

dönüştürücüleri karar süreci elmasına, karar süreci elmaslarını akış ayarlayıcılarına ve Karar süreci elmaslarını dönüştürücülere bağlayabilirler (27).

2.4.5. Karar Süreci Elmaları (Decision Process Diamonds)

Modelin istenilen detayda olmasını sağlayarak anlaşılabilirliğini kaybetmeden çizim yapılabilmesini mümkün kıla nesneye karar süreci elması denmektedir. Modelimiz gittikçe karmaşıklaştığında işimizi kolaylaştırabilmektedir.

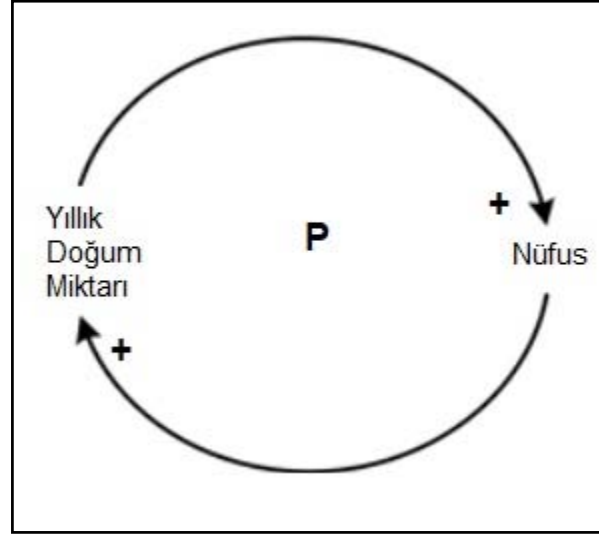


Şekil 2.11. STELLA Yazılımındaki Karar Süreci Elması Simgesi

Karar alma bir seçimdir ve karmaşık işlemler gerektirir. Bu karmaşık süreçte modelin anlaşılabilirliğini engellemeden modele katmanın yolu karar süreci elmaslarını kullanmaktır. Bunu yapmak için modelin karar almayı gerektiren kısımlarını karar süreci elmasına alınması sağlamak yeterlidir. Bu sayede gerektiğinde karar mekanizmasının detayına inceleme olanağına sahip olunabileceği ve detaylarda kaybolmadan çalışma imkanı bulunabilecektir. Karar alma sürecini modelde kullanmak oldukça kolay bir işlemdir (27).

2.4.6. Pekiştirici Süreçler (Reinforcing Loops)

Sistemde pozitif geri beslemeleri içeren pekiştirici süreçler, büyümenin ana unsurudur. Ancak pekiştirici süreçlerden ortaya çıkan davranış sürekli artan bir büyüme ya da küçülme olacaktır. Bu nedenle pekiştirici süreçler iki farklı yapıda bulunabilmektedir. Bunlardan büyümeyi artıran verimli döngü, küçülme sağlayan ise kısır döngü olarak nitelendirebiliriz.

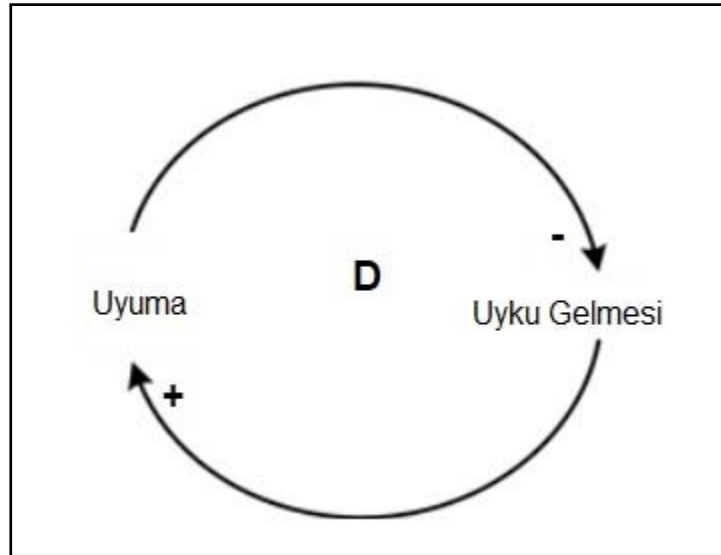


Şekil 2.12. Pekiştirici Süreçler

Pekiştirici süreçler genellikle çok hızlı gelişirler ve sistemdeki diğer elemanların bu değişimin farkına varması zordur. Sistem tarafından fark edildiğinde ise çözüm üretimi için geç kalınmış olabilir. Pekiştirici süreçlerdeki kısır döngülerin geç fark edilmesi sistemin iflasına neden olabilmektedir (27).

2.4.7. Dengeleyici Süreçler (Balancing Loops)

Dengeleyici süreçler genellikle büyüme ve gelişmeyi limitlendiren kuvvetler olarak karşımıza çıkarlar. Dengeleyici süreçler hemen hemen doğadaki tüm süreçlerde var olan, problemleri çözen, dengeyi devam ettiren bir mekanizmadır. Aslında sistemin doğal sınırlarını belirleyerek, sistemin bu sınırlar dışına çıkmadan çalışmasını sağlarlar.



Şekil 2.13. Dengeleyici Süreçler

Dengeleyici süreçler içlerinde kendi kendini düzeltmeye ve belirli hedefleri korumaya çalışan bir mekanizma içerirler. Bu nedenle sürekli olarak sistemi dengede tutmaya çalışırlar. Sistemin herhangi bir andaki durumu sürecin sınırlarının dışına çıktığında, dengeleme süreci devreye girerek sistemi yeniden sınırlar içine taşımak üzere baskı oluşturur. Sistemin dengesizleşme eğiliminin büyüklüğü ölçüsünde baskının şiddeti de artacaktır. Sistemdeki problemin çözümü için dengeleyici sürecin oluşumunu anlamak büyük öneme sahiptir (27).

2.5. Difüzyon Modelleri

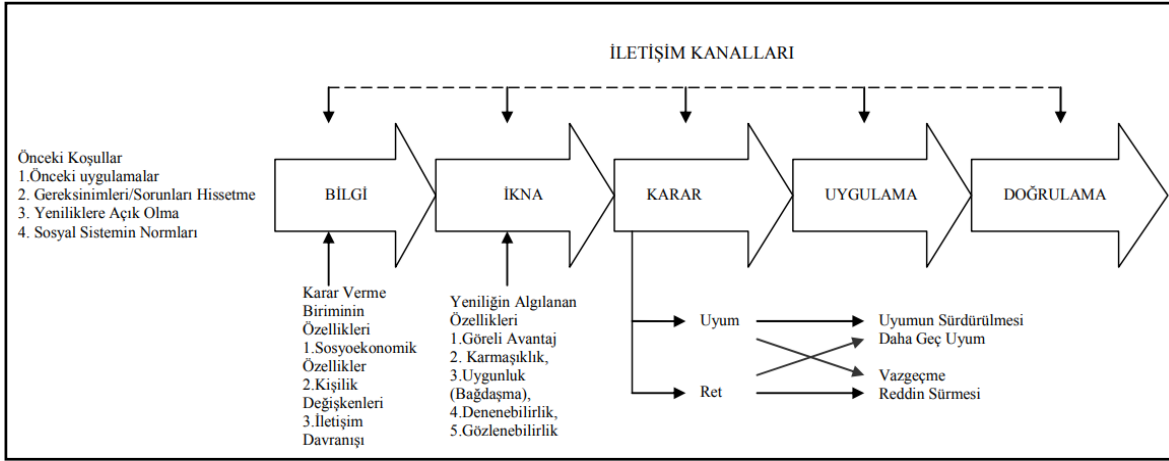
Yeni bir ürünün, hizmetin veya teknolojinin kullanıcılar tarafından benimsenme hızları difüzyon oranı olarak tanımlanan bir parametre ile saptanır. Difüzyon ise bu yeni ürünün, hizmetin veya teknolojinin pazardaki kabul görme süreci olarak tanımlanabilir. Zamanla yayılma hızının boyutu ve kullanıcı sayısının değişiminin hesaplanmasında çoğunlukla difüzyon modelleri kullanılmaktadır. Yeni ürünlerin benimsenme sürecini inceleyen çeşitli difüzyon modelleri geliştirilmiştir (Bass, 1969; Eurostat, 2007; Dolan and Jeuland, 1981; Rogers, 1962; Jeuland, 1981; Kalish, 1983; Horsky, 1990). Bu modeller difüzyon sürecini farklı açılardan incelediğinden modelin deterministik yapısı, modeldeki iç ve dış değişkenler gibi unsurlara göre model seçimi yapılmalıdır.

2.5.1 Rogers Yeniliklerin Yayılması Modeli

Yayıma en temel anlamıyla yeni bir fikir, ürün veya hizmetin bazı kanallar vasıtasıyla belli bir zaman içerisinde hedef kitle tarafından kabul görmesi olarak tanımlanabilir. Yayıma anlık bir olay olarak değil, bir takım karar alma ve değerlendirme süreci olarak kabul edilmelidir. Bir şeyin yeni olması belli oranda bir belirsizlik anlamına gelmektedir. Bu belirsizlik halinin ortadan kalkmasında iletişim önemli bir faktördür.

Rogers'ın Yeniliklerin Yayılması Modelinde yenilik; bir toplum, grup ya da birey tarafından yeni gibi algılanan fikir nesne veya uygulama olarak tanımlanmaktadır (41). Bu modelde difüzyon; yenileşme, iletişim kanalları, zaman ve sosyal sistem olmak üzere 4 ana kısımda incelenir.

Yenileşme; yeni olanın bilgisinin alınması ile başlar ve yeniliği kabullenme veya reddetme ile sonuçlanır. Kabullenenler arasındaki bilgi akışı yenileşmenin var oluşuna ilişkindir (42).

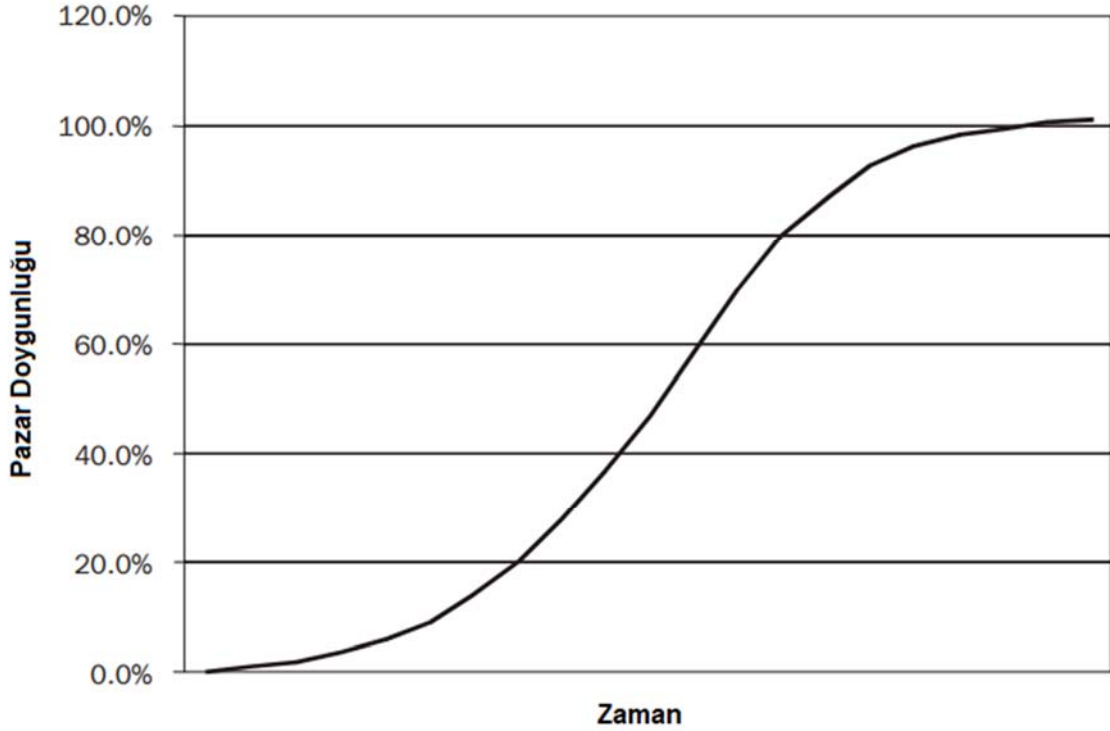


Şekil 2.14. Yeniliğin Yayılması (43)

2.5.2 Bass Difüzyon Modeli

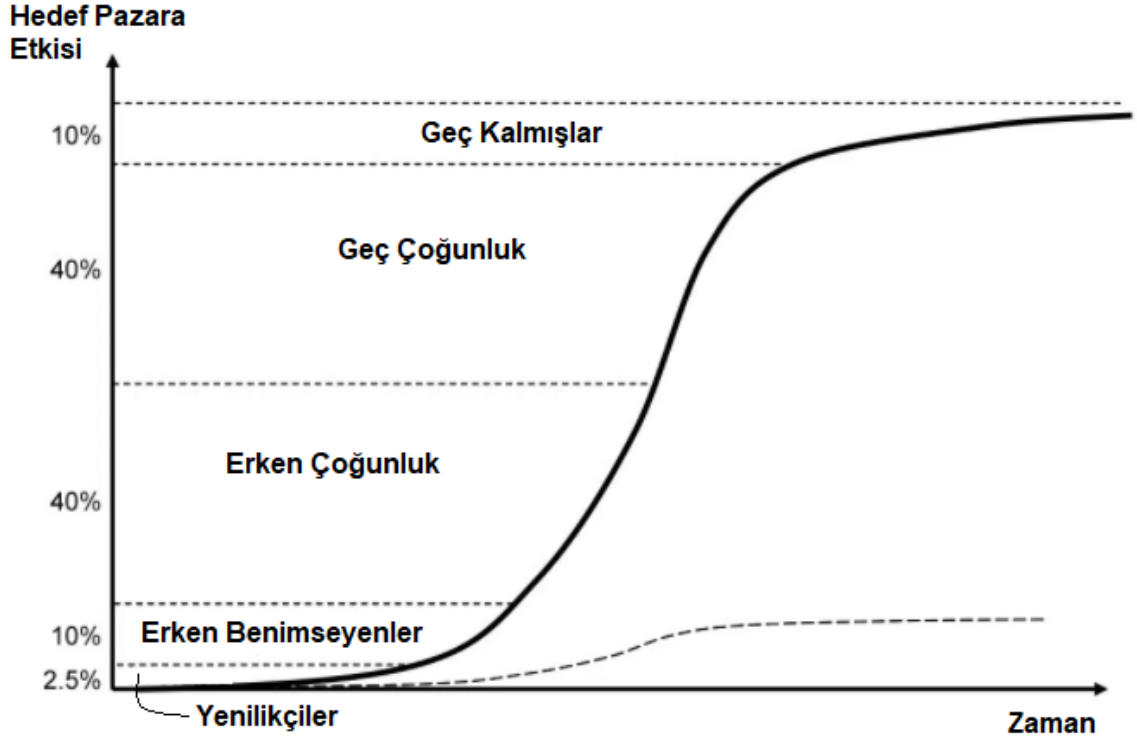
Literatürde yeni ürünün, hizmetin veya teknolojinin pazardaki difüzyonu için en yaygın kullanılan model Bass Difüzyon Modelidir (44). Bass difüzyon modeli Prof. Dr. Frank M. BASS (1926-2006) tarafından ortaya konmuştur. Orijinal formdaki ilk model 1969 yılında yayımlanmıştır (Bass, 1969). Bu tarihten sonra pek çok modifikasyon ve iyileştirme yapılsa da pek çok araştırmacı ve uygulama için hala popüler bir referans noktasıdır (45).

Bass difüzyon modeli, piyasada birbirine rakip alternatifler bulunmayan bir yeniliğin (daha genel olarak, yeni bir ürünün) benimsenmesini (ilk satın alınımını) tahmin edilmesi için çok yararlı bir araçtır. Modelin en önemli özelliği, yenilikleri benimsemiş olanlar ile henüz yeniliği benimsemeyenler arasında yayılmasını karakterize etmek için bir "bulaşıcılık süreci" içeriyor olmasıdır. Model, yeni teknolojilerin ve yeni dayanıklı ürünlerin uzun vadeli satış biçimini iki tür koşula bağlı olarak öngörebilir. Ya firma kısa bir süre önce ürün veya teknolojiyi tanıtmış ve satışlarını birkaç dönem gözlemlemiştir veya firma ürün veya teknolojiyi henüz tanıtmamıştır; ancak pazar davranışının, sahiplenme şekli bilinen bazı mevcut ürünlere veya teknolojilere benzer olması muhtemeldir. Model, kaç müşterinin yeni ürünü alacağını ve ne zaman sahipleneceğini tahmin etmeye çalışır. Ne zaman sorusu önemlidir, çünkü bu soruya verilen cevaplar, firmanın inovasyonunun pazarlamada kaynak dağıtımında yol gösterici olmasını sağlar (46).



Şekil 2.15. S Şekilli Eğri

Literatürdeki pazarlama üzerine araştırmalar, ürün satış ömrü döngülerinin S eğrisi modelini izlediğini göstermektedir. S eğrisi örüntüsü, yeni ürün satışlarının başlangıçta hızlı bir oranda arttığını, ancak daha sonra büyüme hızının azaldığını ve zamanla azaldığını ifade etmektedir. Pazarlamada, iletişim kanallarının hem kitle iletişim araçlarını hem de kişiler arası iletişim içerdiği düşünülmektedir. Bir sosyal sistem üyeleri, yenilik hakkında bilgi ararken kitle iletişim araçlarına ya da kişiler arası kanallara yönelmek gibi farklı eğilimler gösterirler. Bu durumda bir S-şekilli eğri modelin hızını ve şeklini belirlemede önemli bir etkiye sahiptir. (Mahajan ve diğerleri, 2000). Ürünün tüketiciler tarafından benimsenme süresine göre bireyleri; yenilikçiler, erken benimseyenler, erken çoğunluk, geç çoğunluk ve geç kalmışlar olarak kategorize eder (47).



Şekil 2.16. Yeni Ürünü Benimseyenlerin Dağılımı (48)

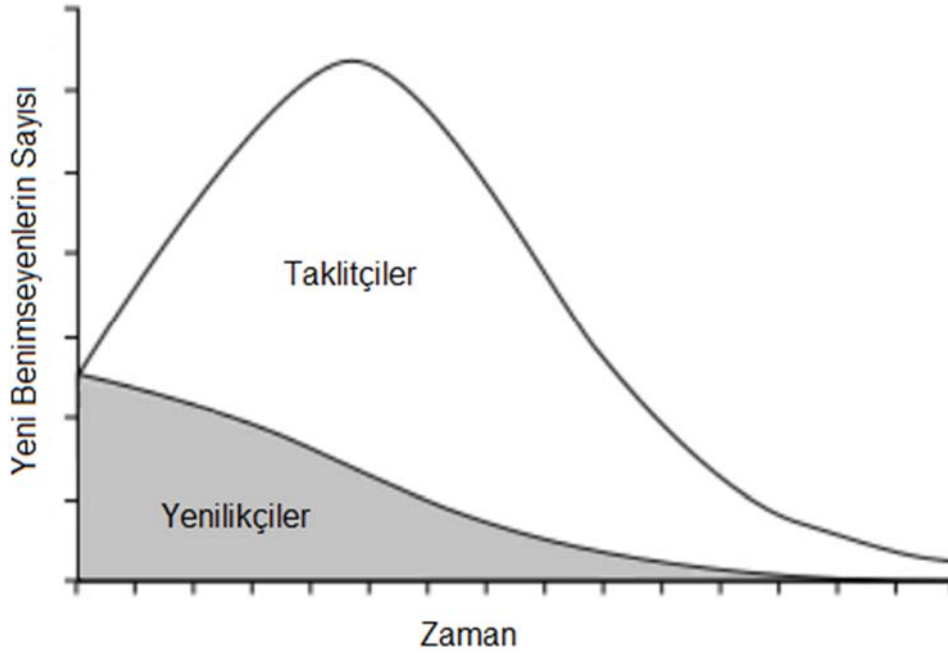
Yenilikçiler, yeni ürün ve hizmetleri ilk alan ilk kişilerdir. Bunlar, yeni ürün, hizmet veya teknoloji konusunda meraklıdır. Yeni oyuncaklarıyla neler yapabildiklerini öğrenmek için denemeler yaparak oynamayı severler. Yenilikçiler genellikle hedef kullanıcı tabanının yüzde birkaçını temsil eder (48).

Erken benimseyenler, teknoloji uzmanı değildirler ancak yeni teknolojiler konusunda daha önce yatırım yaparlar, somut sorunlarına çözüm bulmaya çalışırlar. Genellikle hedef nüfusun yaklaşık % 10'unu temsil eder (48).

Erken çoğunluk; kullanıcıların ve teknik standartların, ana akışının ilk uygulayıcılarının etkisi altında gerçekleşene kadar beklemekten mutluluk duyar. Ancak o zaman somut ihtiyaçları karşılamak için yeniliklere yatırım yapmaya hazır olurlar. Genellikle hedef pazarın % 40'ını temsil ederler. Kurumsal hayatta bunlar bütçe ayırmadan önce, referanslarla ikna edilmesi gereken karar vericilerdir (48).

Geç çoğunluk, riskten kaçınmak ve yenilikleri geliştirme becerileri konusunda belirsizlik olması dışında erken çoğunlukta olanlarla benzer özellikleri ve beklentileri vardır. Sonuç olarak, ürünler kitleler için daha da geliştirilip tasarlanıncaya kadar

beklemeyi tercih eder ve önceki nesillere kıyasla kullanıcı dostu olma düzeyini artırır. Geç çoğunluk takipçilerden oluşur ve hedef pazarın % 30-40'ını temsil eder. Geç kalmışlar, teknolojiye karşı isteksizdirler ve kullandıklarını değiştirme konusunda direnç gösterirler. Teknoloji çok yaygınlaşıp kullanmama gibi şansları kalmadığında ancak teknolojiyi satın alırlar. Pazarda düşük fiyatlı ürünleri tercih etmeleri ve çok fazla destek istemeleri nedeniyle kârlılıkları düşüktür ve bu nedenle satıcılarla sınırlı bir iletişimleri vardır. Geç kalmışlar pazarın yaklaşık % 10'unu oluşturur (48).



Şekil 2.17. Yeni Benimseyenlerin Sayısının Zamana Göre Değişim Grafiği

Yeni bir ürünün, hizmetin veya teknolojinin tüketiciler arasında benimsenmesi Şekil 2.17'deki gibi gerçekleşir. İlk olarak ürün tüketimi yenilikçiler (inovators) tarafından gerçekleştirilir. Bunların sayıları zamanla azalırken kulaktan kulağa tavsiye veya reklam gibi unsurlarla taklitçilerin (imitators) sayıları artar. Pazar doyuma ulaştığında her iki tüketici tipinde de yeni benimseyen sayıları azalarak devam eder.

Klasik Bass Difüzyon Modeli aşağıdaki formül ile ifade edilir (45).

$$N(t) = m. \left(\frac{1 - e^{-(p+q).(t-t_0)}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q).(t-t_0)}} \right)$$

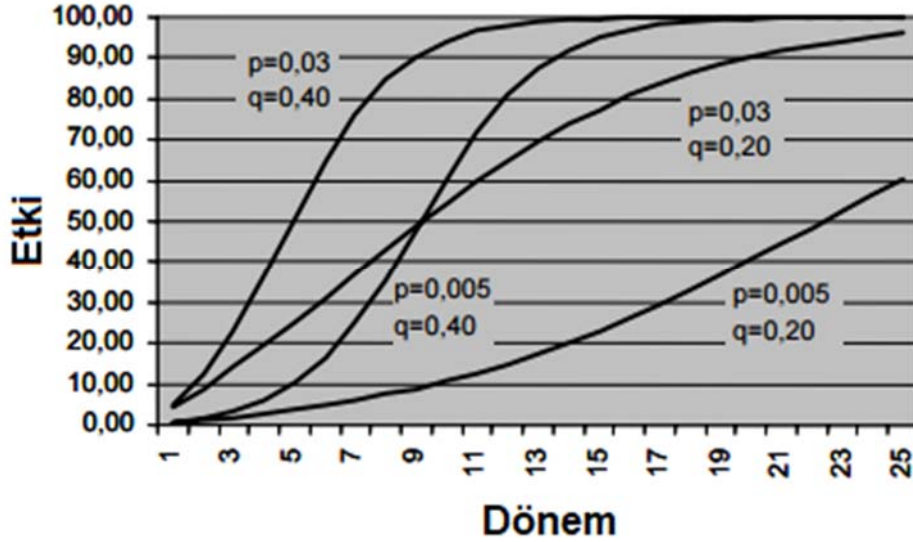
m (Pazar potansiyeli): Sonunda ürünü kullanacak toplam kişi sayısı.

p (inovasyon katsayısı): Ürünü henüz kullanmayan birinin, medya tarafından veya diğer dış etkenlerden dolayı onu kullanmaya başlaması olasılığı.

q (imitasyon katsayısı): Ürünü henüz kullanmayan birinin, ürünü kullananlardan gelen diğer etkiler nedeniyle kullanmaya başlama ihtimali.

t zamanında yeni bir ürünün benimsenme ihtimali henüz kabul edilmediği için doğrusal olarak iki kuvvet üzerinde değişir. Literatürde p katsayısı ile temsil edilen ilk kuvvet, önceki benimsenenlerin sayısından bağımsızdır.

P ve q parametreleri, bize difüzyon hızı hakkında bilgi verir. Yüksek bir "p" değeri hızlı bir difüzyon başlangıcını ve hızın zamanla azalacağını gösterir. Yüksek bir "q" değeri ise difüzyonun başlangıçta yavaş olduğunu ancak zamanla hızlanacağını ifade eder. Tabii ki, yeni benimseyenlerin sayısının zamanla belli bir noktada azalmaya başlaması gerekir çünkü henüz benimsemeyenlerin sayısı $[m - N(t)]$ giderek küçülür. Bass modeli, difüzyon modellerine bakmak için kullanışlı bir araçtır. Dahası, meta analizin niceliksel "en iyi tahminleri", ürün henüz piyasaya sürülmeden bile gelecek benimsenme tahmininde yararlı olabilir (49).



Şekil 2.18. p ve q Değerlerine Göre Difüzyon Hızı Değişim Grafiği

Sultan, Farley ve Lehmann tarafından 1990 yılında bazı ürün grupları için inovasyon katsayıları ve imitasyon katsayıları üzerine yapılan çalışmada aşağıdaki değerler ortaya konmuştur (50).

Çizelge 2.13. Çeşitli Ürünlerin İnovasyon (p) ve İmitasyon (q) Katsayıları (50)

ÜRÜN	p	q
Siyah Beyaz Televizyon	0.028	0.025
Renkli Televizyon	0.005	0.84
Klima	0.010	0.42
Giysi Kurutma Makinası	0.017	0.36
Su Yumuşatıcılar	0.018	0.30
Kayıt Cihazı	0.025	0.65
Cep Telefonu	0.004	1.76
Buharlı Ütü	0.029	0.33
Motel	0.007	0.36
McDonald's	0.018	0.54
Melez Mısır	0.039	1.01
Elektrikli Battaniye	0.006	0.24
CD çalar	0.028	0.368
Kişisel Bilgisayar (PC)	0.03	0.253

Çizelge 2.13'deki p ve q değerleri incelendiğinde bu tablodaki ürünlerin hayatımıza ne hızda giriş yaptıkları Şekil 2.18'deki grafik yardımıyla anlaşılabilir.

2.5.3 Difüzyon Modellemesinde Yeni Yaklaşımlar

Difüzyon teorisinin tanımı ve kullanımı her türden ürün, hizmet, yenilik veya toplumsal kullanımı kapsayacak şekilde genişletilmektedir. Yeni difüzyon modelleme yaklaşımları; çevrimiçi sosyal ağlar, gelişmekte olan ekonomilerdeki yeni açılacak pazarlar, internet tabanlı hizmetler gibi eğilimleri tanımlamada yeni imkânlar sunacaktır. İnsanların birbiri ile iletişiminin arttığı bir zamanda temel tüketici ürünlerinde yayılım farklı bir dinamizm gösterebilir. Son zamanlarda ilgi çeken iki ek sosyal etki, sosyal sinyaller ve ağ dışsallıklarıdır (Peres, Muller ve Mahajan, 2010). Sosyal sinyaller, bireylerin başkaları tarafından bir yeniliğin benimsenmesini sağladığı sosyal bilgilere ilişkindir. Sosyal ağlar, benimseyenlerin etkilerini arttırmak için çevrimdışı reklamcılığın yerini almışlardır. Bass modeli ve genel olarak toplam dağılıma modellerinden farklı olarak, sosyal ağlar ne homojendirler, ne de tam olarak birbirlerine bağılıdır. Çeşitli uygulamalar için difüzyon modellemesinin kullanımı ile ilgili literatürde sayısız örnek bulunmaktadır. Rao & Kishore'a (2010) göre, Mahajan ve Petersen, difüzyon modellerinin normatif, açıklama ve tahmin uygulamaları olmak üzere üç tipik kullanımını vurgular. Difüzyon modelleri arasında, Bass modeli, çeşitli difüzyon analizi türleri için yaygın olarak kullanılmıştır. Bass (2004), Bass modelinin yüzlerce uygulaması vardır. Difüzyon modeli uygulamaları genel olarak yeni teknolojinin genel yenilenmesi, fiyatlamanın bir difüzyon değişkeni olarak incelenmesi ve tahmin amaçları talep edilmesi olarak 3 tiptedir. (Rao ve Kishore, 2010). Difüzyon modelleri son 40 yıldır kapsamlı bir şekilde araştırılmış olmasına rağmen, bu çalışma alanının mevcut piyasa eğilimlerini tanımlama ve dahil etme açısından sunabileceği halen çok şey vardır (51).

Yeni yaklaşımların kapsamı ve çeşitleri artsa da akademik alanda Bass Difüzyon Modeli, inovasyonun yayılması ve yeni ürün talebini ön raporlayabilen başarılı bir yaklaşım olarak kabul görmüştür. Bass Difüzyon Modeli erken satış verileri ile satış eğrisinde ürünün benimsenmesindeki tepe noktasının belirlenmesinde ve difüzyon kalıplarını tahmin etmede başarılı olmuştur. (Mahajan ve Peterson, 1978) Bass Difüzyon Modeli yapısal sağlamlığı ve yeniliğin pazarlanmasında iyi bir raporlama aracı olması özellikleri onu tarihsel verilere uygunluk noktasında başarılı kılmıştır. (Heeler ve Hustad, 1980) Bu doğrultuda Bass Difüzyon Modeli halen akademik çalışmalarda tercih edilen kendini ispatlamış bir model olarak büyük global şirketlerce de kullanılmaktadır (52).

2.6. Minerallerin Sürdürülebilirliği Mevcut Geleneksel Değerlendirme

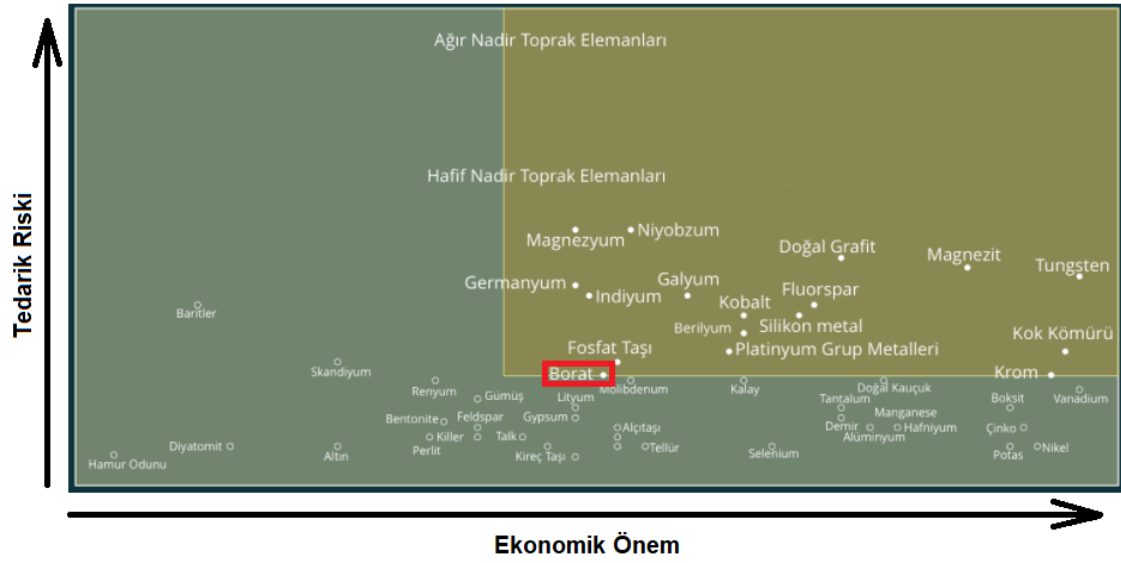
Çerçevesi: Kritiklik Analizi ve Kullanıldığı Durum Değerlendirmeleri

Minerallerin sürdürülebilirliği stratejik öneme sahip olduğu için durum değerlendirme çerçeveleri geliştirilmiştir. Konvansiyonel olarak bu değerlendirmelere kritiklik analizi adı verilmektedir (53). Hâlihazırda bir tükenen kaynağın durumunu değerlendirmek için yaygın olarak bu değerlendirme çerçeveleri kullanılmaktadır.

Bir malzemenin ekonomi için önemi ve piyasaya arzında kısıtlılık riski ne kadar fazlaysa o materyal o kadar “kritik” olarak sınıflandırılır. Bazı hammaddeler için tedarik sorunu yaşanmazken bazı diğer hammaddeler için üreticilerin kısıtlayıcı politikaları veya doğal rezervlerin kısıtlı olması gibi durumlardan ötürü bu hammaddelerin sağlanabilmesine ilişkin kaygı artmaktadır. Sahip olduğu doğal kaynaklar nedeniyle tedarik zincirini elinde tutan ülkelerin, endüstride kullanılan nadir toprak elementleri ve kritik metallere erişim noktasında uyguladıkları stratejiler büyük önem kazanmaktadır. Çin gibi gelişmekte olan ülkelerin kendi iç taleplerini karşılamak adına uyguladığı ihracat sınırlamaları arz talep dengesini bozabilmektedir. Bu gibi durumlar da hammaddelerin fiyat dengesi ve tedarik edilebilme güvenliği gibi konuları gündeme getirmektedir. Zira Çin, Dünya nadir toprak elementleri ihtiyacının %96’sını karşılamaktadır (Davies, 2011). Stratejik öneme sahip materyallerin sağlanmasında yaşanan kaygı ve endişeler yeni kaynak arayışlarını ve alternatif materyallere yönelmeyi hızlandırmaktadır (53).

Endüstrinin ilk basamağını oluşturan hammaddelerin tedarik edilebilme riski ve ekonomik önemi arasındaki bağlantı sürdürülebilir kalkınma için hayati önem arz etmektedir. Bu hammaddelerin kritikliklerinin belirlenmesi çalışmaları, pek çok farklı faktörün analizi ile gerçekleştirilmektedir. Kritik hammaddelerin yönetimi; uzun vadeli politikalar, tedarik edilebilme riskinin azaltılması, doğal kaynakların kullanımı gibi faktörlere göre şekillendirilmektedir (54).

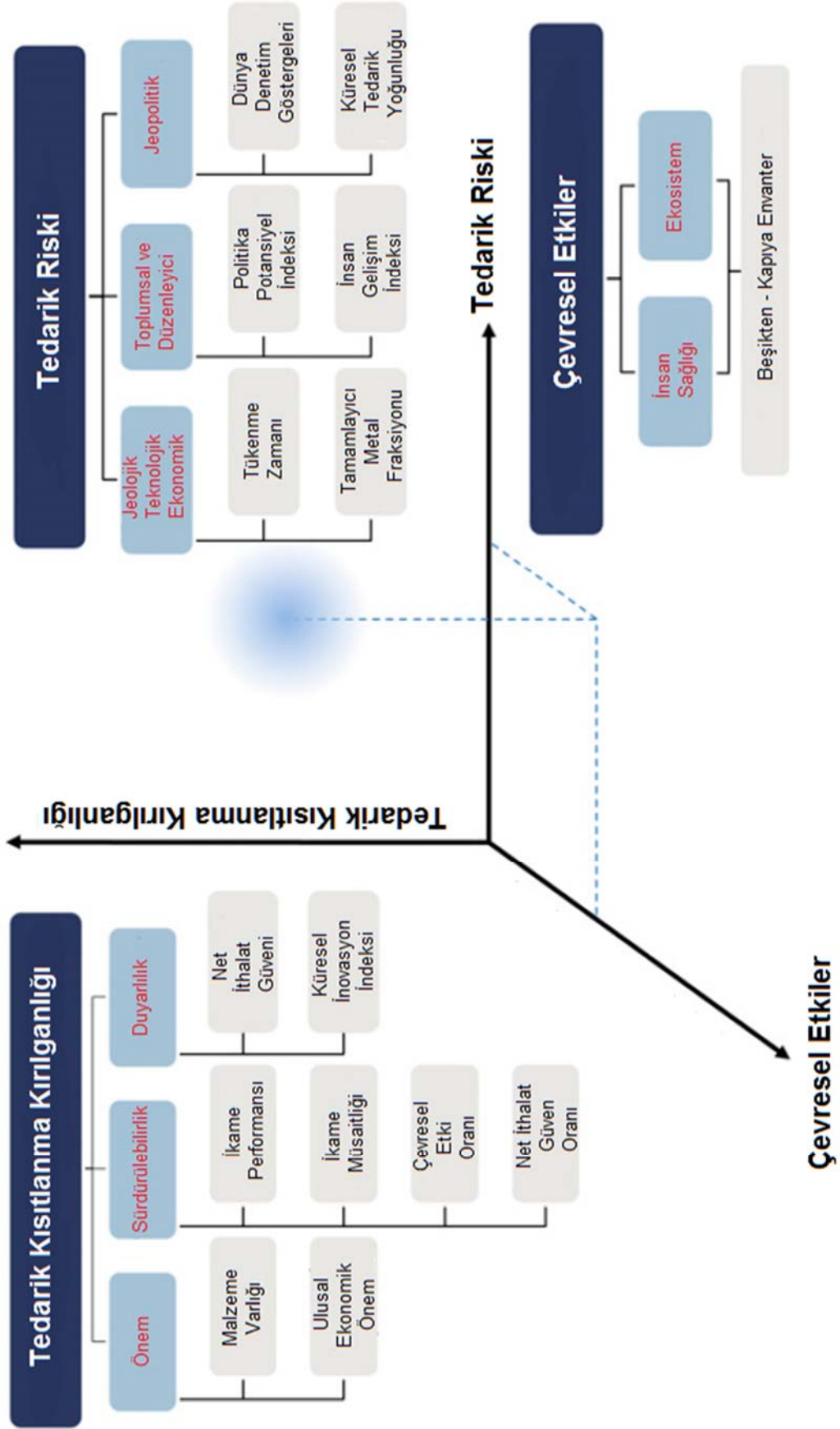
Kritiklik mekânsal olarak değişen bir parametredir. Avrupa Komisyonu tarafından Avrupa geneli için hazırlanan kritik hammaddelerin ekonomik önem ve tedarik risklerini içeren 2013 yılına ait verilerin işlendiği rapordaki tabloda, kahverengi alan içerisinde kalanlar kritik metal olarak adlandırılmakta olup, boratlar da bu alanda yer almaktadır (55).



Şekil 2.19. Kritik Hammaddelerin Tedarik Riski Ve Ekonomik Önemine Göre Karşılaştırılması (55)

Şekil 2.19’da kritik olarak belirtilen hammaddelerin piyasa taleplerinde artan petrol ihtiyacına da bağlı olarak büyük bir artış beklenmektedir. Dünyada hammadde tüketimleri yıllık yaklaşık %3-5 oranında artmaktadır. Birincil kaynaklar üzerindeki bu üretim baskısının azaltılması için madencilikte verimlilik artışı oluşturması beklenmektedir (56).

Avrupa Komisyonunun bu değerlendirmesi tedarik riski ve ekonomik öneme göre 2 boyutta değerlendirmeye dayanmaktadır. Ancak bu iki boyutlu değerlendirmenin durumu tamamen ortaya koyamadığı düşüncesi ile yeni çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan en önemlisi ve belki de en popülerleri; Amerika Yale Üniversitesi Profesörü T. E. Graedel ve grubu tarafından geliştirilen metallerin kritiklik derecesini ölçmek için kapsamlı bir değerlendirme çerçevesi ve bu değerlendirme çerçevesi kullanılarak yapılan çalışmalardır. Bu yöntemle göre kritiklik; tedarik riski, çevresel etkiler ve tedarik kısıtlanma kırılganlığına karşı savunmasızlığı içermektedir. Bu üç boyutun her biri detaylı alt kategorilere ayrılmış ve her kategorinin detaylı değerlendirilmesiyle bir skor elde edilerek incelenen metal ya da mineralin kritiklik skoru belirlenebilmektedir. Tedarik riski orta vade ve uzun vade olmak üzere iki ayrı zamanda değerlendirilirken, tedarik riski kısıtlanma kırılganlığı da küresel ve ulusal olmak üzere iki farklı ölçekte değerlendirilmektedir (57).



Şekil 2.20. Üç Boyutta Değerlendirilen Kritiklik Analizi Şeması (58)

İlgili formüller ve bilgiler kullanılarak bir metalin veya elementin ne kadar kritik olduğu belirlenebilmektedir. Şekil 2.20’de bu üç boyutta değerlendirilen kritiklik analizi şematize edilmiştir. Değerlendirmede kullanılan parametrelerin her birinin sonuca etkisi aynı oranda değildir.

Değerlendirmede kullanılan parametrelerin ağırlıkları Çizelge 2.14, Çizelge 2.15 ve Çizelge 2.16’de detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 2.14. Tedarik Riski Parametreleri Ağırlık Oranları (57)

	AĞIRLIK	BİLEŞENLER	AĞIRLIK	GÖSTERGELER	
TEDARİK RİSKİ (ORTA VADE)	1/3	JEOLJİK, TEKNOLOJİK Ve EKONOMİK	1/2	Tükenme Zamanı	
			1/2	Tamamlayıcı Metal Fraksiyonu	
	1/3	Toplumsal Ve Düzenleyici	1/2	Politika Potansiyel İndeksi	
			1/2	İnsan Gelişim İndeksi	
	1/3	Jeopolitik	1/2	Dünya Denetim Göstergeleri	
			1/2	Küresel Tedarik Yoğunluğu	
	TEDARİK RİSKİ (UZUN VADE)	1/3	Jeolojik, Teknolojik Ve Ekonomik	1/2	Tükenme Zamanı
				1/2	Tamamlayıcı Metal Fraksiyonu

Çizelge 2.15. Küresel Tedarik Kırılğanlığı Parametreleri Ağırlık Oranları (57)

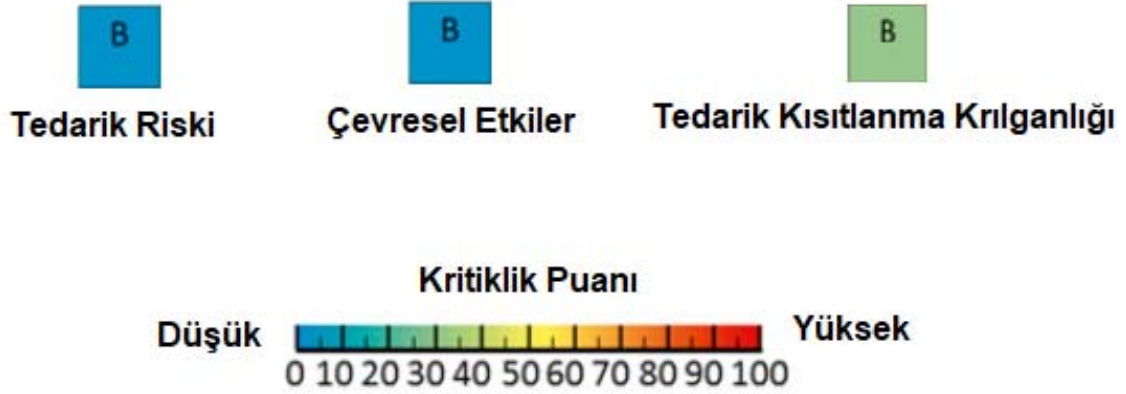
TEDARİK KISITLANMA KIRILGANLIĞI (KÜRESEL)	AĞIRLIK	BİLEŞENLER	AĞIRLIK	GÖSTERGELER
	1/2	Önem	1	Malzeme Varlığı
1/2	Sürdürülebilirlik	1/3	İkame Performansı	
		1/3	İkame Müsaitliği	
		1/3	Çevresel Etki Oranı	

Çizelge 2.16. Ulusal Tedarik Kırılğanlığı Parametreleri Ağırlık Oranları (57)

TEDARİK KISITLANMA KIRILGANLIĞI (ULUSAL)	AĞIRLIK	BİLEŞENLER	AĞIRLIK	GÖSTERGELER
	1/3	Önem	1/2	Malzeme Varlığı
1/2			Ulusal Ekonomik Önem	
1/3	Sürdürülebilirlik	1/4	İkame Performansı	
		1/4	Maden Çıkarılan Fraksiyon	
		1/4	İkame Müsaitliği	
		1/4	Çevresel Etki Oranı	
1/3	Duyarlılık	1/2	Net İthalat Güveni	
		1/2	Küresel İnovasyon İndeksi	

T. E. Graedel ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptıkları çalışmada bu metodoloji kullanılarak bor elementinin de dahil olduğu periyodik tablodaki 62 element için

kritiklik analizleri yapılmıştır. Buna göre bor elementinin tedarik riski ve çevresel etki kategorilerindeki puanı düşük kritiklik seviyesinde, tedarik riski kırılabilirlik kategorisindeki puanı ise nispeten yüksek çıkmakla birlikte yine de düşük kritiklik seviyesinde çıkmıştır. Bor elementinin bu metodolojiye göre kritik bir element olmadığı ortaya konulmuştur (58).



Şekil 2.21. Bor Kritiklik Analizi Sonuçları (58)

Avrupa Komisyonunun yalnızca tedarik riski ve ekonomik öneme göre iki boyutta yaptığı değerlendirmeye göre T. E. Graedel ve arkadaşlarının oluşturduğu tedarik riski, çevresel etkiler ve tedarik kısıtlanma kırılabilirliğine dayanan üç boyutlu kritiklik analizi daha kapsamlıdır. Elementin mevcut durumunu detaylı bir şekilde ortaya koysa da pazardaki değişim, elementin yeni bir kullanım alanı meydana geldiğinde bunun difüzyonu, gelecek projeksiyonu gibi konularda detaylı bir inceleme sağlamamaktadır.

Literatürde çeşitli bölgelerde çeşitli amaçlarla yapılmış pek çok kritiklik değerlendirmesi mevcuttur. Birçok kurum ve kuruluş, gelecek politika ve stratejilerini geliştirmek için ilgi duydukları maden ve minerallerin kritiklik düzeyi ile ilgili araştırma yapmaktadır.

Hammadde tedariki güvenliğiyle ilgili endişelerin ortaya çıkması nedeniyle, geçtiğimiz yıllarda ulusal düzeyde arz risklerinin ve malzeme kritikliğinin ölçülmesiyle ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle çok sayıda hammaddeyi analiz eden ve bir ekonomi için en kritik olanları belirleyen, gösterge bazlı statik tarama yöntemleridir. Bu tarama yöntemlerinin çoğu, geçici değişiklikleri hesaba katmadan bir baz yıl boyunca arz risklerini ve zayıflıklarını ölçmektedir. Son zamanlarda spesifik hammaddeler için dinamik yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Ancak

bu yaklaşımlar daha fazla sayıda malın taranmasını sağlamaya yönelik değildir. İnovasyon ekonomisinden elde edilen yöntemlerle, ülke düzeyinde hammadde kritikliğini değerlendirmek için basit bir dinamik tarama yaklaşımı sunularak yaklaşımın uygulanmasının nispeten kolay olmasını sağlayan geniş çaplı üretim ve ticaret verilerine dayanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Almanya ve Japonya örneğinde, yüksek uzmanlık gerektiren endüstriler ve düşük yerli hammadde depozitleri olan iki ekonomiyi ve dolayısıyla yüksek ithalat bağımlılığını test edilmiş ve sonuçlar önceden yürütülen çoklu gösterge tabanlı statik tarama yöntemleriyle karşılaştırılmıştır (89).

Son on yılda, kritiklik riskinin doğası ve itici güçlerine dair anlayış önemli ölçüde olgunlaşmıştır. Pek çok gelişmiş enerji teknolojisi, temel olarak malzemenin bir kısmına veya doğrudan malzemeye bağımlıdır. Son yıllarda toplumun materyallere olan akut bağımlılığı, teknolojilerin periyodik tablonun daha geniş bir yelpazesine yayılması ve daha karmaşık tedarik zincirlerine girmesiyle artmıştır. Bunun sonucunda enerji ve güvenlik çıkarları için stratejik malzemelerin tedariği konusundaki endişeler, kritikliği değerlendirmek için kullanılan bir dizi sistemin geliştirilmesine yol açmıştır. Kritiklik riskinin değerlendirilmesi ile ilgili olarak iki temel hedefi yerine getirilmiştir. Birincisi çok sayıda kritiklik ölçütü değerlendirmesinin gözden geçirilmesiyle, gelecekteki üretim ve tüketimin değerlendirmesini içeren ölçümlerin tanımlanması, ikincisi ise piyasa fonksiyonunun içsel olarak modellenerek malzeme izdüşümü yöntemleri, malzeme akışını yansıtan ekonomik davranışı ve bunun malzeme akışları üzerindeki etkisini açık bir şekilde simüle etmek olarak sınıflandırılmasıdır (88).

Gelecekte temiz enerji teknolojilerinin geniş çaplı uygulanması için potansiyel kaynak kısıtlamaları konusundaki son tartışmalar, büyük bir endişeye yol açmıştır. Bu endişenin nedeni, kaynak kritikliği alanında gerçekleştirilen araştırmaların ardında yatıyor. Mevcut kaynak kritikliği değerlendirme metodolojilerinin gözden geçirilerek, mevcut metodların karakterize edildiği, analiz edildiği ve enerji sistemlerinin geliştirilmesi alanında strateji oluşturmak için yöntemlerinin yeterliliğinin tanımlandığı çalışmada, tanımlanan kaygıların geçerliliği, doğrudan tahrikli rüzgar türbinleri teknolojisinin kaynak kritikliği değerlendirmesinde kullanılmış ve iki önemli kaygı ortaya konmuştur. Birincisi, arz riski boyutunda dinamik bir bakış açısına duyulan ihtiyaçtır. Jeolojik rezerv tahminlerinin ve arzın

coğrafi konumunun zamanla önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymakta, bu da birçok yöntemle sağlanan statik arz risk değerlendirmesinin yanıltıcı bir rehberlik sağladığını göstermektedir. İkinci endişe, kaynağın arzını kesintiye uğrama ihtimaline karşı incelenen sistemin savunmasızlığının düzgün bir şekilde açıklanmasıdır. Malzeme ikamesi ve bileşenlerinden alt yapı gruplarına ve tüm ürün konseptlerine kadar tüm tasarım ikameleri seviyelerine bakan bütünsel bir tasarım yaklaşımı uygulayarak rüzgar türbinleri için kaynak ikamesi seçenekleri detaylandırıldığında neodymium ve disprosiyum gibi tahrikli rüzgar türbinlerinin uygulanmasında yoğun kullanılan malzemelere bağımlılığın güçlü olmadığı ortaya konmuştur. Ürün tasarımına dayalı yaklaşımda yeni ve eski yöntemlerin bir kaynağın arz kesintisi riskinin, teknolojik ve ekonomik gelişimi üzerindeki etkisinin doğru bir şekilde ele alabilme yeteneğinin sorgulanmasına neden olmuştur (90).

Çizelge 2.17’de hammadde kritikliği üzerine yapılan bazı çalışmaların kapsamı, sistemi, odaklanılan coğrafi bölgesi ve zaman kıstasları belirtilmiştir. Çalışmalar ulusal ekonomiler için hammaddelerin kritikliğini araştırmaktadır (59).

Çizelge 2.17 Hammadde Kritikliği Üzerine Bazı Çalışma Özetleri (59)

Çalışma	ABD Enerji Bakanlığı (DOE), Kritik Malzeme Stratejisi (60)	Avrupa Komisyonu, AB için Kritik Ham Maddeler (55)	General Electric (GE), Kısıtlı Kaynaklar Aralığında Tasarım (63)	Savunma Analizleri Enstitüsü (IDA) Stratejik Materyal Güvenlik Programı (62)	Bavyera Hammadde Durumu, IW Danışmanlık (65)	Yeni Enerji ve Endüstriyel Teknoloji Geliştirme Örgütü (MEDO) Kritik Metallerdeki İkame Gelişimi Eğilim Raporu (68)	Ulusal Araştırma Konseyi (NRC), Mineraller, Kritik Mineraller ve ABD Ekonomisi (67)	Oakdene Hollins, İngiltere Ekonomisine Kaynak Temini (66)	Oko-Institut, Geleceğin Sürdürülebilir Teknolojileri için Kritik Metaller ve Geri Donüşüm Potansiyelleri (64)	Maden Kaynakları için Arz ve Talep Eğilimleri (BGR - RWI - ISI) (64)
Ana hedef ve kapsam	Temel materyal riskleri ve fırsatları belirlemek; kritik malzeme stratejisi geliştirmek	Avrupadaki kritik ham maddeleri belirlemek için metodoloji geliştirmek; kritik ham maddeleri belirlemek	Tedarik kısıtlanma yada fiyat artışı riski bulunan materyalleri belirlemek	Stratejik ve kritik materyallerin ulusal stoğunu yönetmek için ihtiyaçları analiz etmek	Ham madde temininin güvenli riski ve zayıf noktaların belirlenmesi	Nadir metal kaynağı analizi ve yerine koyma için projelerin belirlenmesi	Kritik metalleri belirlemek ve önemini vurgulamak için metodoloji geliştirmek	Dikkat çekici sağlam olmayan malzemeleri belirlemek	Gelecek sürdürülebilir teknolojiler ve geri dönüşüm potansiyelleri için metal kritikliğini analiz etmek	Hammadde temini konusundaki kaygıları dağıtmak; uzun vadeli arz ve talebini değerlendirmek
Çalışma altındaki sistem	Temiz Teknolojiler	Ekonomi	Şirket	Sektör (savunma)	Ekonomi	Ekonomi	Ekonomi	Ekonomi	Temiz Teknolojiler	Ekonomi
Coğrafi Ölçek	Global	Avrupa	yok	Amerika Birleşik Devletleri	Bavyera Eyaleti (Almanya)	Japonya	Amerika Birleşik Devletleri	Global	Global	Almanya
Zaman Aralığı	0-5 yıl ve 5-15 yıl	<10 yıl	Açıkça tanımlanmamış	Çatışma yılı +3 yıl	Açıkça tanımlanmamış	Açıkça tanımlanmamış	<10 yıl	Uzun vadede etkili	2020 ve 2050	2025
Hammadde kapsamı	14 temel metal	41 metal ve endüstriyel mineraller	11 minör metal	68 metal, endüstriyel mineral ve ara ürünler	37 metal ve endüstriyel mineral	39 metal	13 metal	69 metal ve endüstriyel mineral	11 metal	12 meta ve endüstriyel mineral
Hammaddenin seçimi	Beklenen kritiklik	20 metal ön tespit ile 21 metal uzman tavsiyesi ile belirlenmiştir	GE tarafından en çok satın alınan 24 Metal ve yüksek fiyat değişikliği	Rutin olarak analiz edilen 17 yeni materyal	BGR bilgi notlarının kapsadığı maddelerin modifiye kümesi	Rutin olarak analiz edilen 3 yeni materyal	Muhtemel herhangi bir geniş değerlendirilmeye dahil edilecek seçilen koşullarını tanımlar	Tam açıklanmamış olmakla birlikte Asken stratejik materyalleri içerir	Beklenen kritiklik	Risk filtresi ve diğer koşullar dışında 47 materyalin net pozitif ithal değerinden seçilmiştir
Belirlenen kritik hammadde	6 kısa süreli/5 orta süreli	14 kritik	7 kritik	26 eksikliği ortaya koyar	14 yüksek risk	14 kritik	7 kritik	7 endişe verici	Hepsi kritik	Hiçbiri kritik değil
Temel Fikir	Kritiklik matrisi; arz ve talep projeksiyonları	Kritiklik matrisi	Kritiklik matrisi	Arz ve talep senaryoları, hammadde stok dengesi	Kritiklik indeksi	Kritiklik indeksi	Kritiklik matrisi	Kritiklik indeksi	Kritiklik kümeleri zaman çizelgeleri	Risk filtresi; arz ve talep tahminleri
Ana Boyutlar	Tedarik riski; temiz enerji önemi	Tedarik riski / Ekonomik önem	Tedarik ve fiyat riski / Tedarik	Arz ve talep gelişimi/ hammadde stok dengesi	Nücel göstergeler/ Nitel Göstergeler	Arz ve talep riski/ potansiyel düzen riski	Tedarik riski / Tedarik sınırlandırılması etkisi	Tedarik riski / Materyal Riski	Tedarik riski/ talep büyümesi/ geri dönüşüm sınırlandırmaları	Tedarik riski filtresi/ Arz ve Talep gelişimi
Birleştirme	Her iki kritiklik eksenini karşılaştıran algoritma için eşit olmayan ağırlıklı göstergeler	Arz ve talep dengesi/ hammadde stok kütile dengesi	Arz ve talep dengesi/ hammadde stok kütile dengesi	Arz ve talep dengesi/ hammadde stok kütile dengesi	Kritiklik endeksi için eşit olmayan ağırlıklı göstergeler	kritiklik endeksi için eşit olmayan ağırlıklı göstergeler	Tedarik riski için bir tahmin ve algoritma için tedarik kısıtlamasının etkisi	kritiklik endeksi için eşit ağırlıklı göstergeler	Zaman çizelgesi faktör kombinasyonu tarafından geliştirilen, Uç boyutlu her bir için bir tahmin	Daralma filtresi; arz ve talebin hiçbir nitelikli bağlantısı yok

DOE (60) ve Öko-Enstitüsü (61) çalışmaları, bazı temiz teknolojiler için malzeme kritikliğini analiz ederken IDA çalışması (62), savunma gereksinimlerini değerlendirir. Uluslararası bir şirket olan General Elektrik çalışmasında (63) kendine özgü hammadde taleplerini inceler. RWI / ISI / BGR araştırması (64) tükenme, sonsuz kıtlık ve yüksek hammadde maliyetleri konusunda çalışma yapar. IW Consult (65) ve Oakdene Hollins (66) çalışmaları iki boyutlu analize sahiptir ve bunlar daha sonra tek boyutlu bir kritiklik indeksine toplanır. NRC çalışması (67) tedarik kesintilerinin etkilerini değiştiren faktörleri geniş bir şekilde analiz eder ve bunları yarı kantitatif olarak tahmin eder. NEDO çalışmasında (68) ikame, kritiklik taramasının bir parçası değildir. Ancak ikame, bu kritiklik taramasında belirlenen özel yüksek riskli metallerin ana amacıdır.

Halihazırda yaygın olarak kullanılan, bilimin ve mühendisliğin mevcut olanaklarından yararlanmayan yüzeysel ve kısıtlı bu çerçeveler, yalnızca genel durumu kuş bakışı anlamaya yönelik, kapsam olarak geniş çalışmalarda kullanılabilir.

Bütün çalışmalar, dolaylı olarak ilettikleri dinamiklerin yeterli bir açıklamasını sağlamazlar. Ortaya çıkanların dinamikleri tüm çalışmalarda arz riski, uyum ölçütleri ve farklı ölçeklerdeki etkilerin gecikmesi gibi faktörler zayıf olarak yansıtılmıştır (59).

Bu nedenle kritiklik analizleri daha dinamik olmak zorundadır. Bir mineral ya da materyalin kritikliği, değişken birçok parametreye bağlıdır ve bu parametreler birbiri ile karmaşık bir ilişki içindedir. Bu tip bir karmaşık sistemin incelenmesinde sistem dinamiği yaklaşımı önemli bir araç olarak ön plana çıkmaktadır.

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde tez çalışması mekânsal ve zamansal kapsamı, model girdi parametreleri ve modelin yapısı açıklanmıştır.

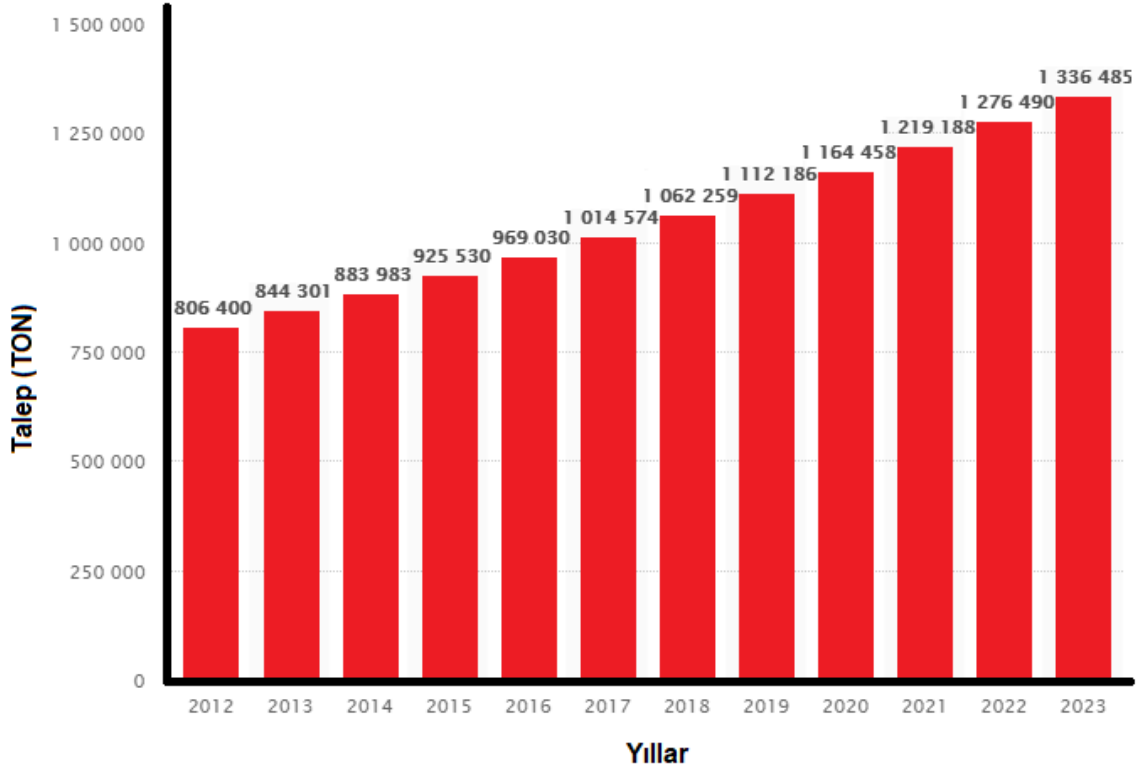
3.1. Bor Piyasasının Modelde Reprerentasyonu

Bor pazarı, Dünyada sınırlı üreticisi olması ve bor ürün gruplarının yüksek ikame yetenekleri doğrultusunda ürün çeşitlendirmesi gerekliliği gibi nedenlerden ötürü diğer maden ve cevher pazarlarından ayrılmaktadır. Dünya bor tüketiminde trend, cevherden rafine ürünlere doğru kaymıştır. Bor piyasası çok sayıda alıcısı olmasına rağmen az sayıda satıcısı bulunması nedeniyle oligopol piyasa olarak değerlendirilmektedir. Oligopol piyasalarda üreticiler birbirine benzer ürünler üreterek kendi mallarını diğerlerinden farklı göstermeye çalışsa da ciddi bir rekabet veya satış artırma girişimleri bulunmaz. Bu durum da piyasanın kartel anlaşmaları ile bir şekilde paylaşıldığının göstergesi olarak kabul edilir. Dünya bor pazarındaki üreticilerin de yıllardır değişmeyen alıcılarına hizmet etmesi, sektörün önde gelenleri tarafından borsasız fiyatlandırma gibi özellikleri bor piyasasında da kartelleşme varlığını güçlendirmektedir (69).

Bor üreticileri arasında rekabet yoğun olmasa da bor ürünlerinin başka ürünlerin üretimindeki ham maddeleri ikame edebilirliği noktasında ciddi bir rekabet söz konusudur. Bor ürünleri yıllar içerisinde çok çeşitli ürünlerin üretim süreçlerine dâhil olmuştur. Çizelge 2.5.'deki bor kullanım alanları, devam eden ar-ge çalışmaları ile sürekli genişlemektedir.

Bunun yanı sıra bor rezervlerinin büyük kısmının birkaç üreticinin elinde olması nedeniyle diğer ülkeler de kendileri için sürdürülebilir olmayan bu durumun ortadan kalkması ve bora olan mecburiyetlerini ortadan kaldırmak adına ar-ge çalışmaları sürdürmektedir. Bor mineralinin çevre ve halk sağlığı açısından zararlı olduğunun kabulü yönünde lobicilik faaliyetlerinin yanı sıra alternatif ürün geliştirme çalışmalarına önem vermektedirler. Örneğin günümüzde bor mineralinin en yoğun olarak kullanıldığı cam sektörü de bundan nasibini almaktadır. Bünyesinde %7-10 civarında bor bulunan E-camı yerine, bor içermeyen (boron-free) cam geliştirme çalışmaları sonucunda E-camından daha iyi özelliklere sahip olduğu açıklanan E-CR camı geliştirilmiştir (70). Bu gibi gelişmelere rağmen, 2012-2023 yılları arası

için yapılan bir pazar araştırmasına göre bor mineralinin cam sektöründeki talebinin daha da artacağı öngörülmektedir (71).



Şekil 3.1. Dünya Cam Elyaf Sektöründe Bor Talebi Değişimi Tahmini (71)

Ülkelerin siyasi ve stratejik hamleleri doğrultusunda boru ikame edecek üretim yöntemlerine yönelmek isteyebilecekleri görülse de borun işlevsel özellikleri ve uygun maliyeti nedeniyle gelecekte de endüstri için vazgeçilmez bir hammadde olarak kullanımının artacağı da aşikârdır. Ancak bor mineralinin kullanımındaki bu artışın boyutlarının ne ölçüde olacağı önemlidir. Bu çalışmada bor mineralinin piyasadaki yavaş difüzyonu, hızlı difüzyonu ve çok hızlı difüzyonu olmak üzere 3 senaryo üzerinden gelecekteki kullanım miktarları, rezerv tükenme süreleri ve fiyatlarındaki oluşacak değişiklikler modellenmiştir.

3.2. Sektörel Verilerin Derlenmesi

Bor mineralinin endüstride kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Çizelge 3.1'de bor mineralinin gelecekte üzerinde etkisini arttırması beklenen sektörler sıralanmıştır. Bu sektörlerin geçmiş yıllardaki gelişimleri ile Şekil 2.18'deki grafik karşılaştırılarak Bass Difüzyon Modelindeki imitasyon katsayıları (q) ve inovasyon katsayıları (p) bulunmuştur.

Çizelge 3.1. Bor Mineralinin Kullanımının Artması Beklenen Sektörler

Ürün	Üretim İçeriği	Global Pazar Büyüklüğü	İnovasyon Katsayısı	İmitasyon Katsayısı	Kullanılan Bor Tipi
Sodium-ion batarya	Borsuz Üretim	pil akü pazarı 55 milyar \$	0,03	0,2	Elementel Bor
	Na ₃ V ₂ (PO ₄) ₃				
	Bor Kullanımı ile Üretim				
	Na ₃ V ₂ (P _{1-x} B _x O ₄) ₃				
BODIPY Boyalar	Borsuz Üretim	dekoratif ve araç boya pazarı 62,937 milyar \$	0,005	0,2	Boronik asit
	Geleneksel otomobil boyaları ve dekoratif boyalar				
	Bor Kullanımı ile Üretim				
	BODIPY Boya				
Alev Geciktiriciler	Borsuz Üretim	1 milyar \$	0,005	0,2	Borik asit ve sodyum pentaborat
	Bromür, klor, azot, alüminyum içerikli alev geciktiriciler				
	Bor Kullanımı ile Üretim				
	Boratlı alev geciktiriciler				
Kanser Tedavisi (BNCT)	Borsuz Tedavi	Onkoloji ilaç pazarı 107 milyar \$	0,03887	0,44811	Radyoaktif olmayan B10 izotopu
	Kemoterapi				
	Bor Kullanımı ile Tedavi				
	BNCT				
Zararlı Bitki Öldürücüler (herbisit)	Borsuz Üretim	Dünya herbisit pazarı 950.000 TON	0,005	0,001	Disodyum Oktaborat Tetrahidrat
	Borsuz herbisitler				
	Bor Kullanımı ile Üretim				
	Sodyum Klorür ve Bor Karışımı				
Ahşap Koruyucular	Borsuz Üretim	123 milyon m ³ endüstriyel odun pazarı paralelinde	0,005	0,2	Çinko Borat
	çinko klorür ve bakır sülfatlı empenye				
	Bor Kullanımı ile Üretim				
	Bor bileşikleri kullanılan empenye				
Araç Hava Yastıkları	Borsuz Üretim	91,9 milyon adet	0,005	0,2	Elementel bor ile potasyum nitrat toz karışımı
	NaN ₃ ve KNO ₃ lü şişirme gazı				
	Bor Kullanımı ile Üretim				
	Bor nitratlı şişirme gazı				

Sodyum-ion Batarya: Lityum iyon pillere alternatif olarak ortaya çıkmışlardır. Lityum pillerine benzer prensipte çalışırlar. Şarj işlemi sırasında, metal iyonları katottan, tipik olarak sodyum içeren eden bir bileşikten, bir organik solvent vasıtasıyla anoda, tipik olarak karbona akar. Deşarj sırasında akış ters yönde ilerler (72).

BODIPY Boyalar: BODIPY (boron-dipirrometen) bir tür flüoresan boyadır. Karanlıkta parlak. Sıvı bazlı bataryalarda enerjinin depolanması adına iyi bir materyaldir. Elektrikli araçlar ve evlerde yaygın olarak kullanılabilir (73).

Alev Geciktiriciler: Mevcut piyasa koşullarında halojen bileşikler pek çok alev geciktirici bulunmaktadır. Fakat bu bileşiklerin korozif olması ve kullanım sırasındaki dumanın zehirli olması gibi dezavantajları vardır. İçeriğinde halojen bulunmayan çinko boratlar alev geciktirici etkisiyle bu sektörde dikkatleri üzerine çekmiştir. Çinko boratlar, polivinil asetat polimer ile birlikte kullanılabilir (74).

BNCT Tedavisi: BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) kanser tedavisinde özellikle de beyin kanserlerinin tedavisinde kullanılmaktadır. Kansere yakalanan hücrelerin tespit edilerek öldürülmesinde etkin bir yöntem olarak kullanılır. Bunun yanında sağlıklı hücrelere en az düzeyde zararının olması nedeniyle tercih edilmektedir (75).

Zararlı Bitki Öldürücüler (Herbisit): Bor tarım alanında kullanımı ülkemizde yaygın değilse de dünyada etkin olarak kullanılmaktadır. Tarımda düşük dozlarda bor kullanımı gübre etkisi amaçlı kullanılırken yüksek dozlarda kullanımı toksik etkiye sahiptir. Bu nedenle bor, istenmeyen yabancı ot kontrolünde yüksek dozda herbisit olarak kullanılabilir (76).

Ahşap Koruyucular: Ağaç malzemelerin korunmasında geleneksel olarak kullanılan cıva klorür ve bakır sülfat gibi metalik tuzların kullanılan yerlerde malzemenin yıkanarak alan için olumsuz etkiler doğurur. Üstelik termit ve bazı mantar türlerine göre iyi koruma sağlayamamaktadır. Bu nedenle bu dezavantajları ortadan kaldıran suda çözünen bor içerikli empenye sıvıları tercih edilmektedir (77).

Araç Hava Yastıkları: Çarpma anında elementel bor ile potasyum nitrat toz karışımı elektronik sensör vasıtasıyla harekete geçirilerek hava yastığının şişmesini sağlar. Bu işlem için gerekli zaman 40 milisaniyedir (78).

Dünya yıllık bor tüketiminin %85,75'i cam, seramik, tarım ve deterjan olmak üzere 4 ana sektörde kullanılmaktadır. Bu nedenle Çizelge 3.1'deki sektörlerde kullanılan bor miktarları çok azdır. Miktar az olduğundan ve sistem dinamiği modelinde sonuca etki eden bir katkısı olmadığından modelde sadece 4 ana sektör kullanılmıştır.

Dünya cam sektörü yıllık üretimi 180 milyon tondur. Siyasi ve ekonomik gelişmelere göre yıllık %2-4 arasında büyüme göstermektedir (79). Modelde ortalama olarak %3 büyüme oranı kullanılmıştır. Cam sektöründeki yıllık bor tüketimi ise 2013 yılında 1.150.000 ton B_2O_3 'dür ve 2018 yılında 1.190.000 ton B_2O_3 olacağı tahmin edilmektedir (15).

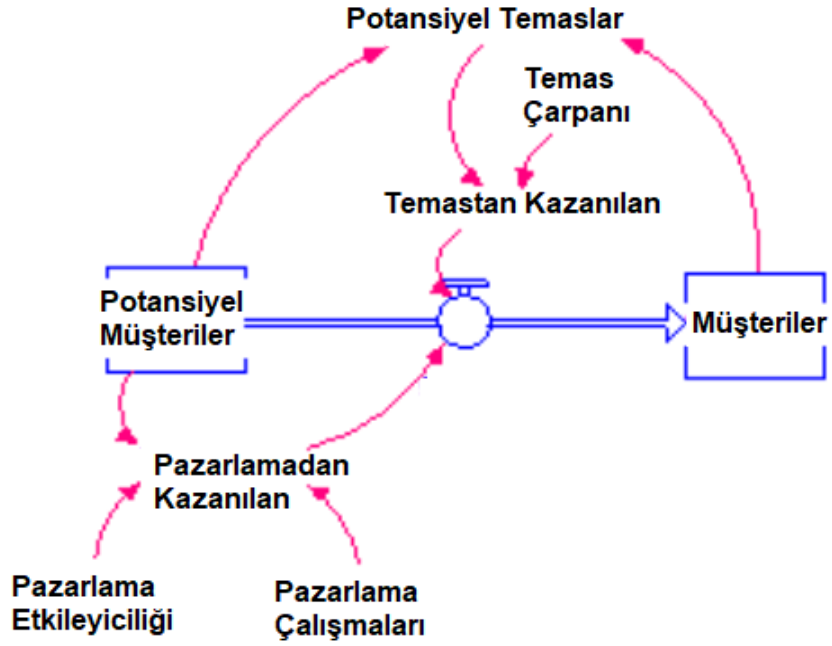
Dünya deterjan sektörü yıllık üretim büyüklüğü 35 milyon tondur. Sektörün yıllık bor tüketimi ise 45.000 ton B_2O_3 'dür. Sektör son 10 yılda %5'lik bir büyüme göstermiştir (15). Modelde sektör büyüme oranı yıllık ortalama olarak %0,5 alınmıştır.

Dünya seramik sektörü üretim miktarı yıllık 12,36 milyar m^2 'dir (80). Çeşitlerine göre değişiklik göstermekle birlikte ortalama bir metrekare seramik 16 kg gelmektedir (81). Buna göre yıllık dünya seramik üretimi 197.760.000 tondur. Seramik sektöründe yıllık kullanılan bor miktarı 280.000 ton B_2O_3 'dür (15). Dünya seramik pazarı yıllık büyüme oranı ise %8 düzeyindedir (82).

Tarım sektöründe kullanılan bor mineralinin büyük çoğunluğu gübre olarak kullanılmaktadır. Herbisit, pestisit ve ahşap koruyucu olarak kullanımları da tarım sektörüne dâhil ise de miktar olarak oldukça düşüktür. Bu nedenle yalnızca gübre pazarındaki kullanımı modele aktarılacak diğerleri ihmal edilecektir. Global ölçekte tarım alanında kullanılan bor miktarı yıllık 240.000 ton B_2O_3 'dür (15). Dünya yıllık gübre tüketimi 186,67 milyon tondur ve gübre pazarı yıllık %1,9 oranında büyüme göstermektedir (83).

3.3. Bass Difüzyon Modelinin Uyarlanması

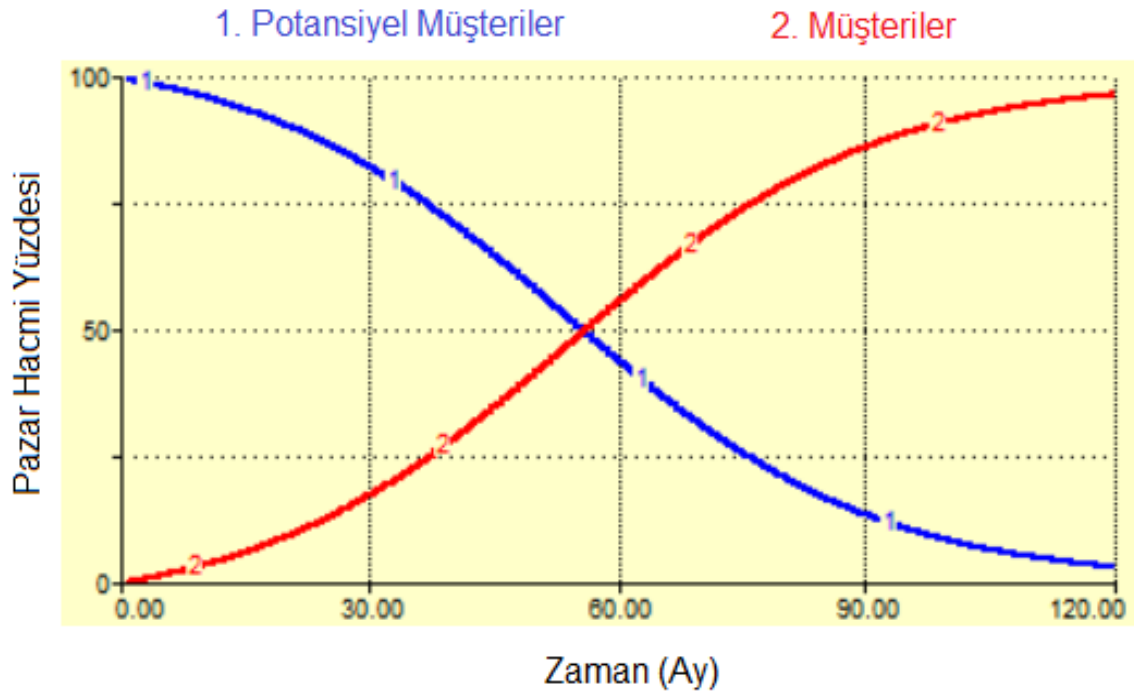
Bu çalışmada Bass Difüzyon Modelini sistem dinamiği mantığı ile modelleyerek Stella yazılımına aktarımı yapılmıştır. Bor mineralinin en fazla kullanıldığı cam, seramik, tarım ve deterjan olmak üzere 4 ana sektörde, yavaş, hızlı ve çok hızlı difüzyonunu ele alan 3 farklı senaryo hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. Bir Yeniliğin Kullanıcılar Tarafından Benimsenme Dinamiği (84)

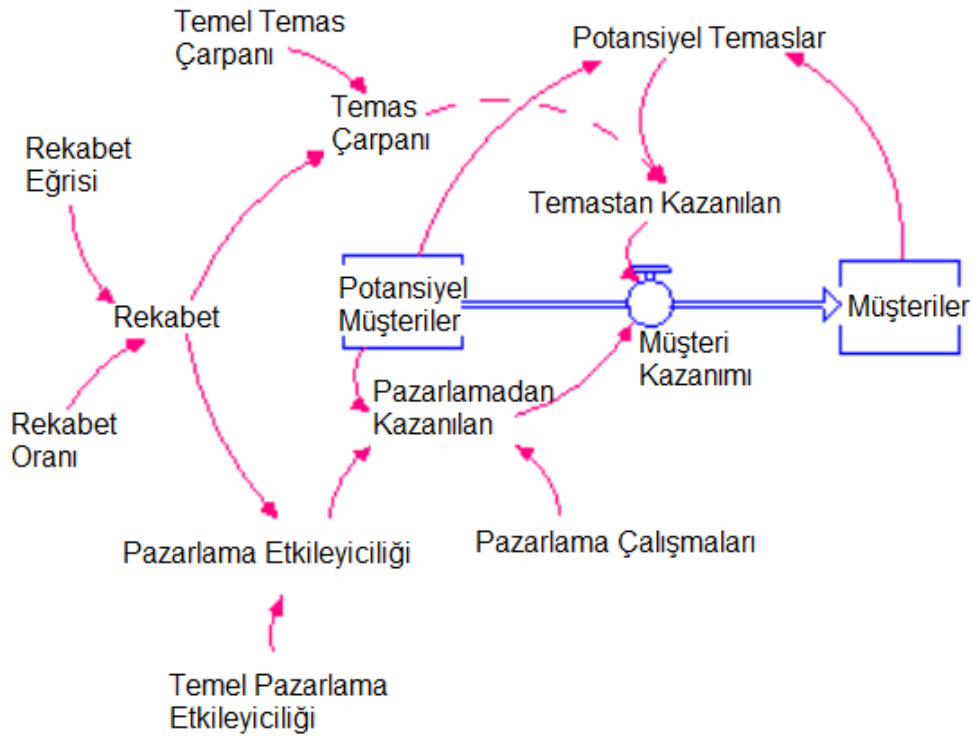
Şekil 3.2’de bir yenilik, hizmet veya ürünün gerek pazarlama gerekse de kullanıcıların birbirleriyle olan temasları ile yayılarak pazarda difüzyonunu ifade etmektedir. Yeni müşteriler, bir enfeksiyonun yayılmasında enfekte olmuş hastalarla temas sonucu hastalığın yayılması gibi mevcut müşterilerle potansiyel müşteriler temas kurduğunda ürün pazarda yayılmaya başlar. Ürünün pazarda benimsenmeye başlanabilmesi için başlangıçta bir miktar kullanıcı olması lazımdır. Kimseye bulaşmazsa hastalık yayılmaz. Aynı şekilde eğer hiç müşteri yoksa başkalarına ürünün ne kadar harika olduğunu söyleyen de kimse olmayacaktır. Bu nedenle başlangıçta ürünün benimsenmesi reklam ve pazarlama yoluyla mümkündür. Bass Difüzyon Modeli reklam ve pazarlama yoluyla müşteri kazanımı da içerir (84).

Pazar doygunluğa ulaşıncaya kadar Şekil 2.16’deki gibi ürünü çeşitli gruplar tarafından benimsenmesi devam eder. Müşteri sayısı artarken potansiyel müşteri sayısı azalır. Pazar doygunluğa ulaştıktan sonra ise potansiyel müşteri ve müşteri sayısı sabit kalır.



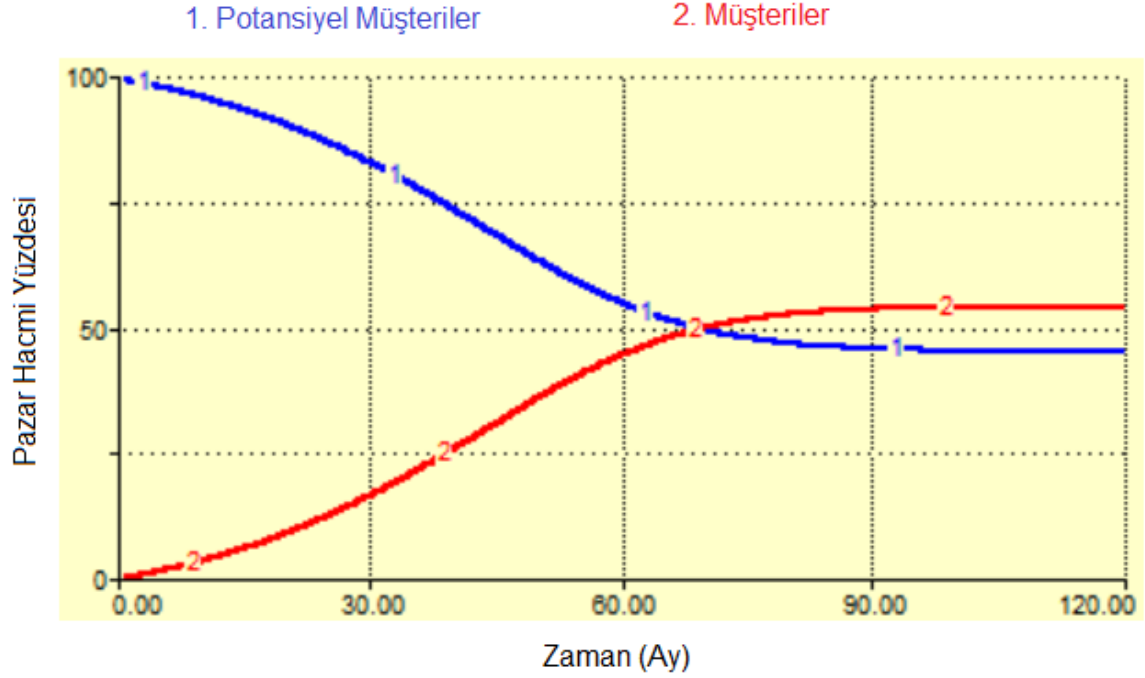
Şekil 3.3. Müşterilerin Zamanla Değişimi

Şekil 3.3'de gösterilen müşteri dağılımı rekabetin olmadığı durumda geçerli olmaktadır. Ancak gerçek bir piyasada çoğu zaman rekabet vardır. Rekabet varlığında sistem dinamiği modelini buna göre tasarlamak gereklidir.



Şekil 3.4. Rekabet Etkisi Altında Yeniliğin Benimsenme Dinamiği (84)

Rekabet baskısı arttıkça ürün, hizmet veya yenilik için kullanıcıların birbirleri ile temasının difüzyon üzerindeki etkisi azalacaktır. Rekabet baskısının artması ayrıca pazarın daha hızlı doygunluğa ulaşmasını da sağlar.

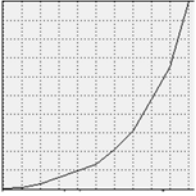
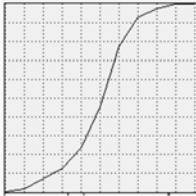
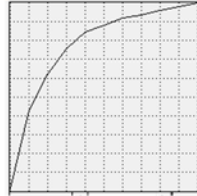


Şekil 3.5. Rekabet Varlığında Müşterilerin Zamanla Değişimi

Bu çalışmada bor mineralinin en çok kullanıldığı 4 sektör de rekabet varlığında modellenmiş olup difüzyon senaryolarına göre rekabet şiddeti değiştirilmiştir. Bu değişiklik modeldeki rekabet oranı değişkeni ile sağlanacaktır. Sıfır ile bir arasında değer verilebilen bu oran, sıfıra ayarlandığında model hiç rekabet yokmuş gibi davranırken bire ayarlandığında sert bir rekabet varlığı söz konusudur.

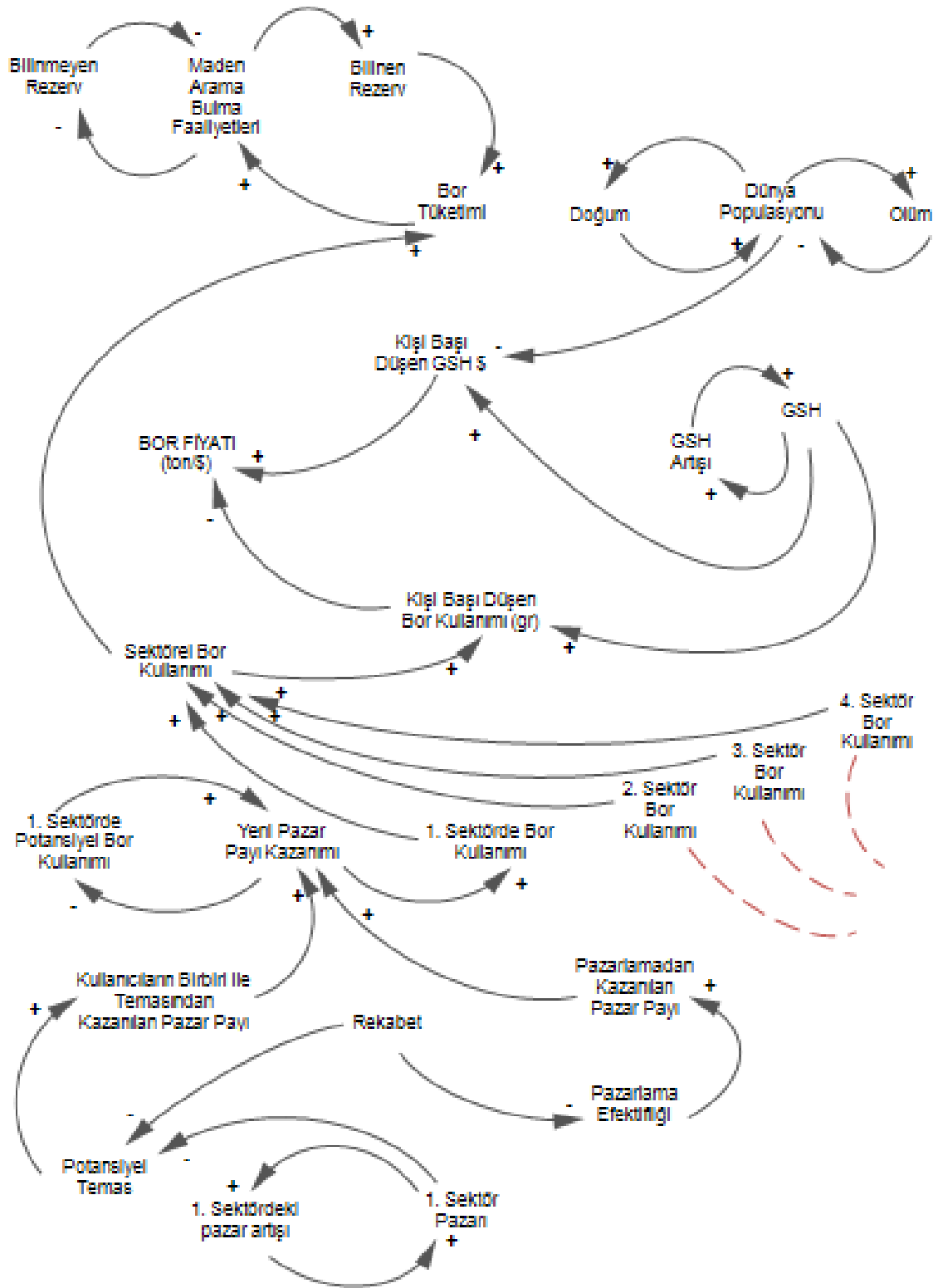
Çizelge 3.2'de modelde senaryoların oluşturulmasındaki farklılıkları belirleyen parametrelerin her bir senaryodaki başlangıç değerleri verilmiştir. Bu parametrelerdeki değişiklikler difüzyon hızını etkileyerek bor kullanım miktarları belirler.

Çizelge 3.2. 3 Farklı Senaryo İçin Model Başlangıç Değerleri

Parametreler	Senaryo-1 Yavaş Difüzyon	Senaryo-2 Hızlı Difüzyon	Senaryo-3 Çok Hızlı Difüzyon
Rekabet Oranı	0,99	0,6	0,7
Temel Temas Çarpanı	0,5	0,6	0,7
Temel Pazarlama Etkileyiciliği	0,01	0,02	0,03
Pazarlama Çalışmaları	1	0,1	0,01
Rekabet Eğrisi (Grafik Fonksiyon)			

3.4. Nedensel Döngü Diyagramının Oluşturulması

Sistemin işleyişinin anlaşılmasını sağlayan, sistemin dinamiklerini belirleyen ve bir değişkenin hangi değişken ile etkileşime girdiğini ifade eden şemalara nedensel döngü diyagramı denir. Sistemin değişkenleri ve değişkenlerin birbiri ile olan etkileşimleri modelin çalışmasını dolayısıyla sistemi direkt olarak etkiler. Bor mineralinin gelecek projeksiyonunun ortaya konulabilmesi için değişkenlerin ve sistem sınırlarının iyi belirlenmesi gereklidir. Küresel bor piyasasını etkileyecek değişkenler Şekil 3.6'daki nedensel döngü diyagramına aktarılmıştır.



Şekil 3.6. Modelin Nedensel Döngü Diyagramı

Nedensel döngü diyagramında gösterilen değişkenler ve bu değişkenler arası ilişkiler modelin sınırlarını ve işleyişini belirlemektedir.

3.5. STELLA Yazılımında Modelin Kurulumu

Nedensel döngü diyagramındaki gibi değişkenler, birbirleri ile olan bağlantıları ve veriler Stella yazılımında model sekmesinden girişi yapılarak model kurulmuştur. Dünya gayrisafi hasılası (GSH), dünya nüfusu, bor mineralinin şu anki rezerv durumu ve tahmin edilen rezerv miktarına ilişkin kısımlar da yine model içerisinde yer almaktadır.

Dünya gayrisafi hasılası 2016 yılında 75,848 trilyon dolar olmuş ve 1960 yılında beri tutulan istatistiklere göre yıllık ortalama artış %3,1 civarındadır (85).

Dünya nüfusu 7,442 milyar kişidir (86). Dünyada doğum oranı binde 19 iken ölüm oranı ise binde 8'dir (87).

Dünya bor rezervi 369 milyon ton B_2O_3 ve dünya tahmin edilen bor rezervi 807 milyon ton B_2O_3 'dür (15).

Veriler ve aşağıdaki formüller doğrultusunda model Stella yazılımına aktarılmıştır.

Pazarlamadan Kazanılan Pazar Payı=

pazarlama çalışmaları x pazarlama etkileyciliği x pazardaki potansiyel kullanım

Pazarlama Etkileyciliği= temel pazarlama etkileyciliği x rekabet

Rekabet= rekabet oranı x (1 - rekabet eğrisi) + (1 - rekabet oranı)

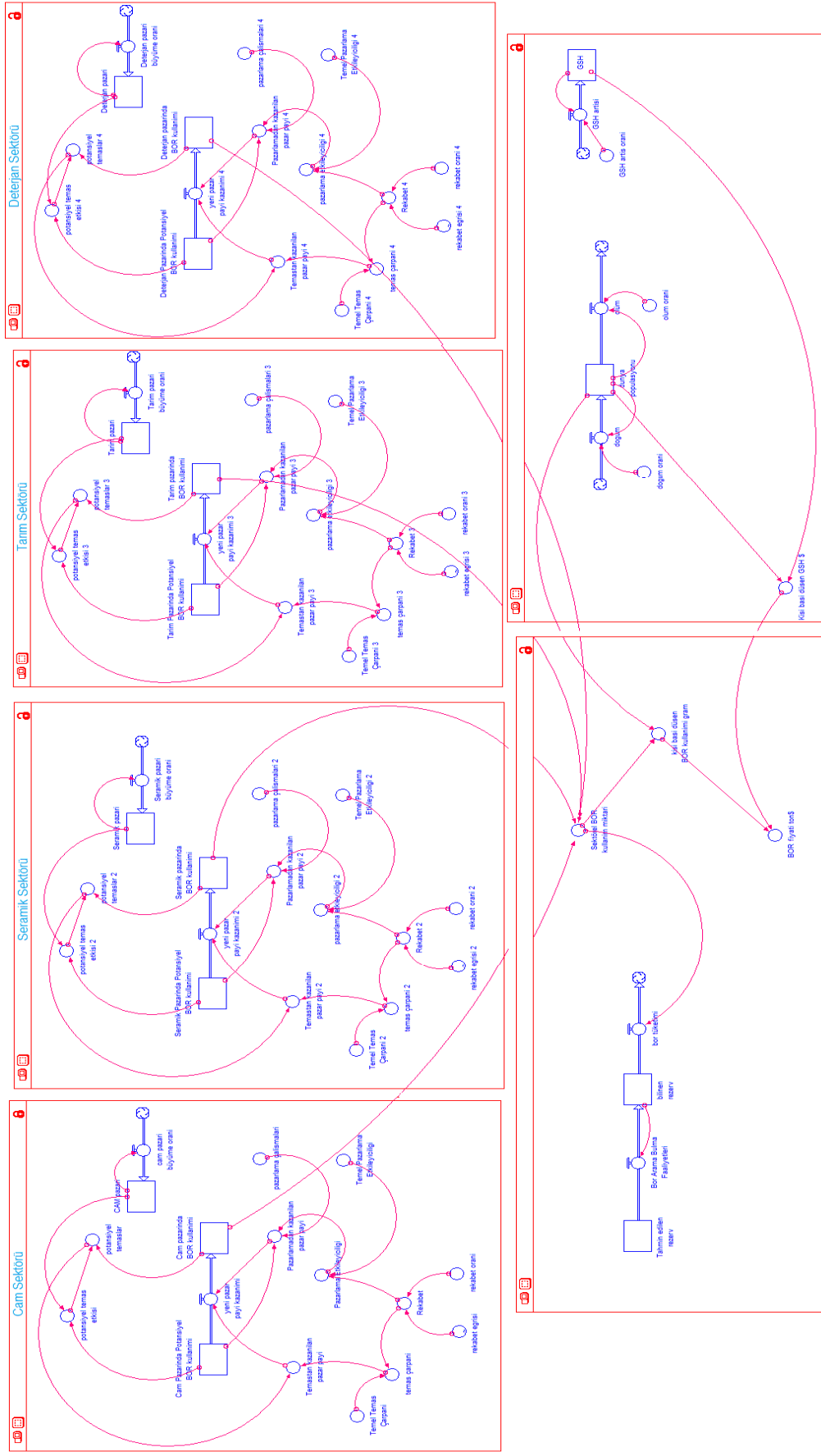
Temastan Kazanılan Pazar Payı= temas çarpanı x potansiyel temaslar

Temas Çarpanı= temel temas çarpanı x rekabet

Potansiyel Temaslar= pazardaki kullanım x potansiyel temas etkisi

Pazar Büyüklüğü= potansiyel kullanım + mevcut kullanım

Potansiyel Temas Etkisi= pazarda potansiyel kullanım / pazar büyüklüğü



Şekil 3.7. Bor Mineralinin Gelecek Projeksiyon Modeli Stella Sistem Diyagramı

Stella yazılımında oluşturulan model çalıştırılırken Euler integral metodu seçilmiştir. Modelin çalışma zaman dilimi yıllık bazda ve çalışma periyodu 1 olarak ayarlanmıştır. Etkileşim ve çalışma modlarında da normal seçeneği işaretlenmiştir. Model çalışma zamanı 100 yıl olarak sınırlandırılmıştır.

Hazırlanan üç farklı senaryo, bor mineralinin piyasada yavaş difüzyonu, hızlı difüzyonu ve çok hızlı difüzyonu şeklindedir. Rekabet oranı, temel temas çarpanı, temel pazarlama etkinliği, pazarlama çalışmaları ve rekabet eğrisi değişkenleri üzerinden senaryolardaki değişimler modele aktarılmıştır.

3.6. Duyarlılık Analizi

Modeldeki belirlenen değişkenlerin değerlerinin değişmesinin sistemin diğer bir değişkeni üzerinde etkisinin incelenmesi duyarlılık (hassasiyet) analizi ile gerçekleştirilmektedir. Modeldeki kesin olmayan değişkenlerin daha sonraki periyotlarda değişime uğrayarak, tespit edilmek istenen değişken değerlerini ne yönde etkilediği belirlenebilmektedir.

Duyarlılık analizi, modeldeki parametrelerin değerlerinde zaman içerisinde meydana gelecek değişiklikler olması halinde nasıl hareket edilmesi gerektiğine karar verilmesi açısından önemlidir. Gerçek hayattaki sorunlar genelde karmaşık modellerle ifade edilebildiğinden modeldeki değişkenlerden bazılarında meydana gelecek değişiklik modelin yeniden çözülmesini gerektirir ancak duyarlılık analizi ile modelin yeniden çözülmesine ihtiyaç duyulmadan ne olması gerektiğine bir cevap üretilebilir.

STELLA yazılımında duyarlılık analizleri, “run” sekmesinden “sensi specs” menüsüne girilerek açılan menüde gerekli ayarların yapılmasından sonra grafik ve tablo olarak görüntülenebilmektedir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bor mineralinin endüstride kullanımının ne şekilde değişeceği yönünde üç farklı senaryo hazırlanmıştır. Bor mineralinin piyasadan aldığı süregelen talep artışı yavaş difüzyon, hızlı difüzyon ve çok hızlı difüzyon olarak ayrı ayrı modellenmiştir.

4.1. Senaryo 1: Yavaş Difüzyon

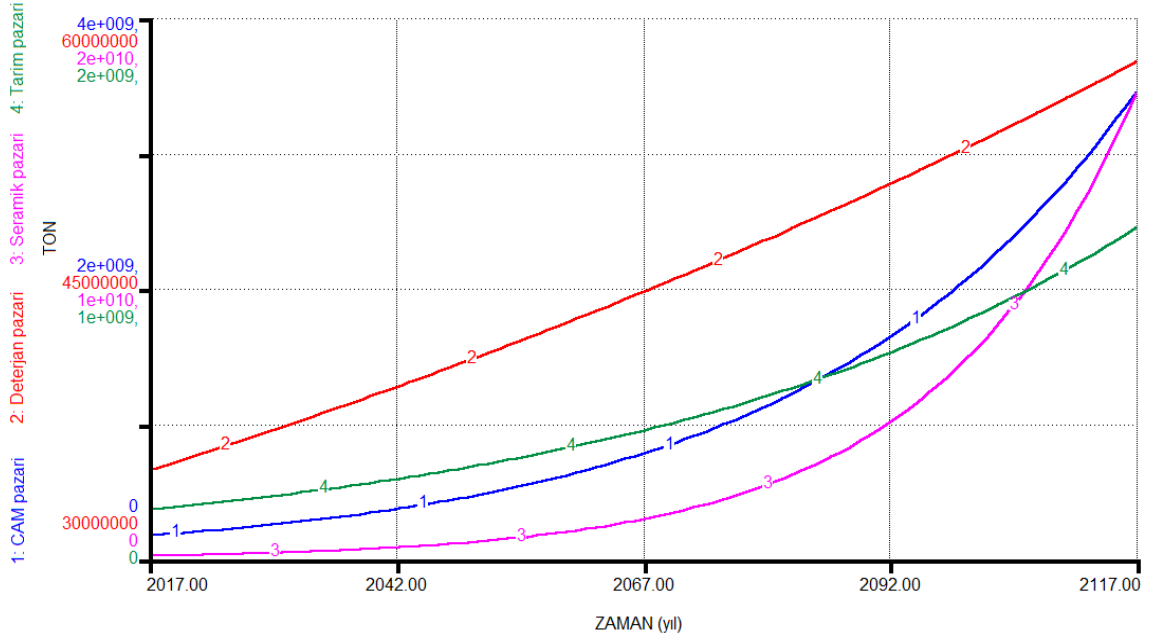
Bu senaryoda bor mineralinin pazarda yavaş bir şekilde difüze olması modellenmiştir. Yavaş difüzyon senaryosunda rekabet yoğun olarak tasarlanmış ve bu yüzden sıfır ile bir arasında değer verebildiğimiz rekabet oranına 0.99 değeri verilmiştir. Bu durumda piyasada sert bir rekabet varlığı söz konusudur. Rekabet baskısının zamanla değişimini ifade eden rekabet eğrisi de çember sağ alt çeyreği şeklinde artan bir grafik olarak tanımlanmıştır. Difüzyonun hızını arttıran ve kullanıcı temasını belirleyen temel temas çarpanı da diğer iki senaryodan daha düşük olan 0.5 değerinde model çalıştırılmıştır. Yine değeri arttıkça difüzyon hızının artmasına neden olan temel pazarlama etkileyciliği diğer iki senaryodaki değerlerden düşük olarak 0.01 ve pazarlama çalışmaları değişkenine de 1 değeri verilmiştir.

4.1.1. Pazar Hacim Değişimleri

Bor kullanımının en yoğun olduğu ve dünya bor kullanımının %85,75'ini ifade eden 4 büyük sektörde senaryo 1 şartlarında zamanla kullanım değişimi Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Bu sektörlerin büyümesi haliyle hammadde ihtiyaçlarının artması anlamına da gelmektedir. Model 2017 ile 2117 yılları arasında 100 yıllık bir aralıkta çalıştırılmıştır.

Cam sektörü 2017 yılında yıllık 108 milyon ton üretim yapan bir pazardır. Yıllık %3 büyüme oranına sahip pazar hacmi Şekil 4.1'deki gibi bir artış göstermektedir. 2117 yılına gelindiğinde cam pazarının hacmi 3,45 milyar tona ulaşmaktadır.

Deterjan sektörü 2017 yılında yıllık 35 milyon tonluk bir pazardır. Yıllık ortalama %0,5 büyüme oranı ile Şekil 4.1'deki gibi doğrusala yakın bir artış gösteren deterjan pazarının hacmi yıllık 57 milyon ton seviyesine ulaşmaktadır.



Şekil 4.1. Senaryo 1’deki Pazar Hacmi Değişimleri Grafiği

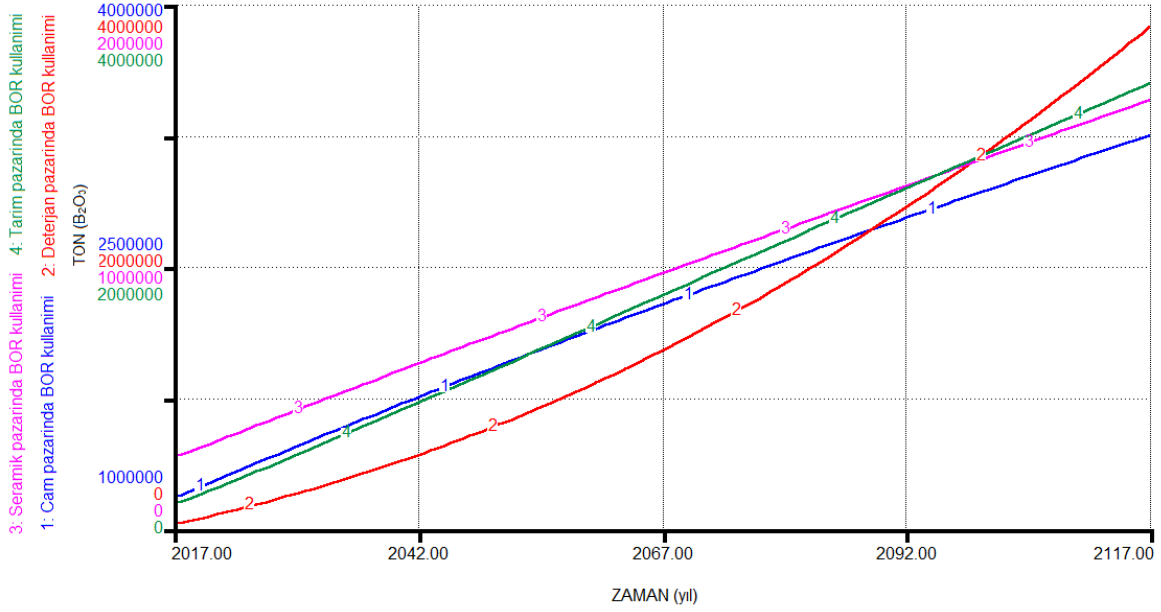
Seramik sektörü 2017 yılında yıllık 131 milyon tonluk üretimi olan bir pazardır. Yıllık ortalama %5’lik artış gösteren Pazar hacmi Şekil 4.1’deki gibi bir artış ile 2117 yılında pazar, 17,2 milyar tonluk üretim hacmine ulaşarak diğer sektörlerle nazaran daha ciddi bir artış göstermiştir.

Tarım sektörü 2017 yılında yıllık 186,67 milyon ton büyüğünde bir pazardır ve yılda ortalama %1,9 oranında büyümektedir. Şekil 4.1’deki bir artış grafiği ile 2117 yılında 1,2 milyar tonluk hacme ulaşacaktır.

4.1.2. Sektörel Bor Kullanımları

İncelenen 4 sektörün, senaryo 1 şartlarında kullandıkları bor miktarlarındaki değişim Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Cam sektöründe 2017 yılında 1.190.000 ton B₂O₃ kullanılmıştır. Şekil 4.2’deki gibi bir artış izleyen cam sektörünün bor kullanım miktarı 2117 yılına gelindiğinde 3.258.393 B₂O₃ olmuştur. Günümüzde bor kullanımının en fazla olduğu cam sektöründe yaklaşık 3 katlık bir kullanım artışı söz konusudur.



Şekil 4.2. Senaryo 1'deki Sektörel Bor Kullanım Miktarları

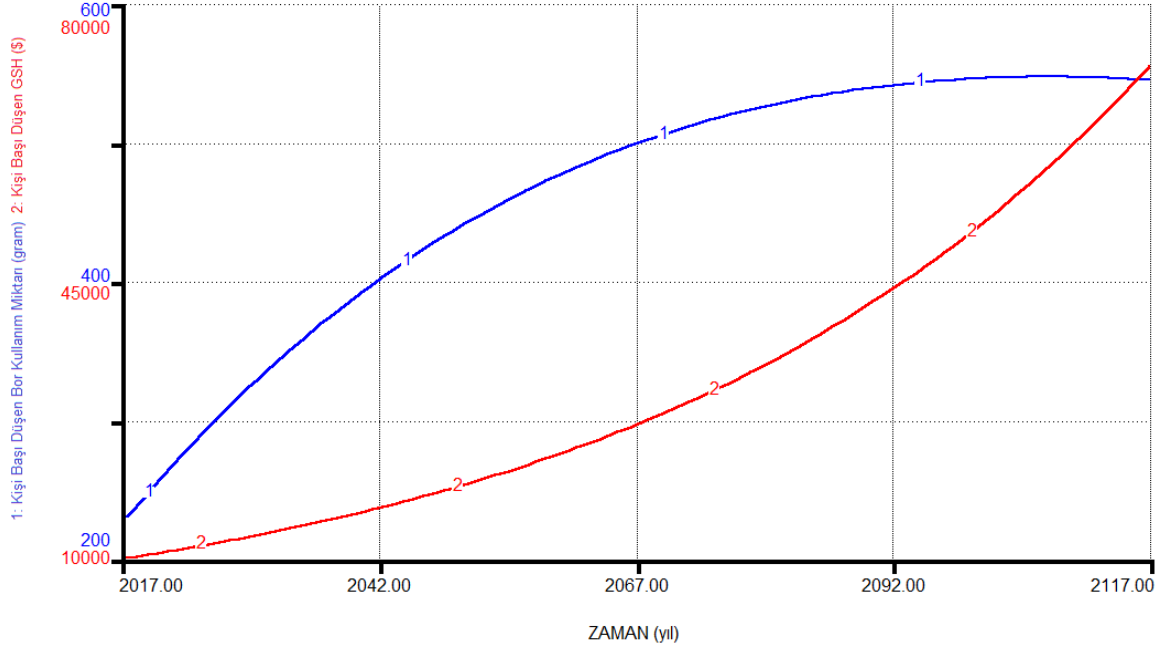
Deterjan sektöründe bor kullanımı 2017 yılında 45.000 ton B_2O_3 iken Şekil 4.2 doğrultusunda bir artışla 2117 yılında 3.837.197 ton B_2O_3 kullanım seviyesine ulaşmıştır.

Dünya seramik sektörü 2017 yılında 280.000 ton B_2O_3 kullanmıştır. Şekil 4.2'de gösterilen artış ile 2117 yılında bor kullanımı 1.640.115 ton B_2O_3 olmuş ve yaklaşık 58 katlık bir artış gerçekleşmiştir.

Tarım sektöründe 2017 yılı itibariyle bor kullanımı 240.000 ton B_2O_3 iken Şekil 4.2'deki grafikteki artış süreciyle 2117 yılında 3.456.446 ton B_2O_3 miktarına ulaşmıştır.

4.1.3. GSH ve Kişi Başı Düşen Bor Miktarı Değişimi

Dünya gayrisafi hasılası 2016 yılında 75,848 trilyon dolar olmuş ve 1960 yılında beri tutulan istatistiklere göre yıllık ortalama artış %3,1 civarındadır (85). Dünya nüfusu 7,442 milyar kişidir (86). Dünyada doğum oranı binde 19 iken ölüm oranı ise binde 8'dir (87). Bu doğrultuda dünya GSH değişimi ile nüfus değişimi oranına göre kişi başı düşen GSH dolar cinsinden bulunmaktadır. 2017 yılında kişi başı GSH 10.192 dolar iken Şekil 4.3'deki gibi bir artışla 2117 yılında 72.278 dolara çıkması beklenmektedir.



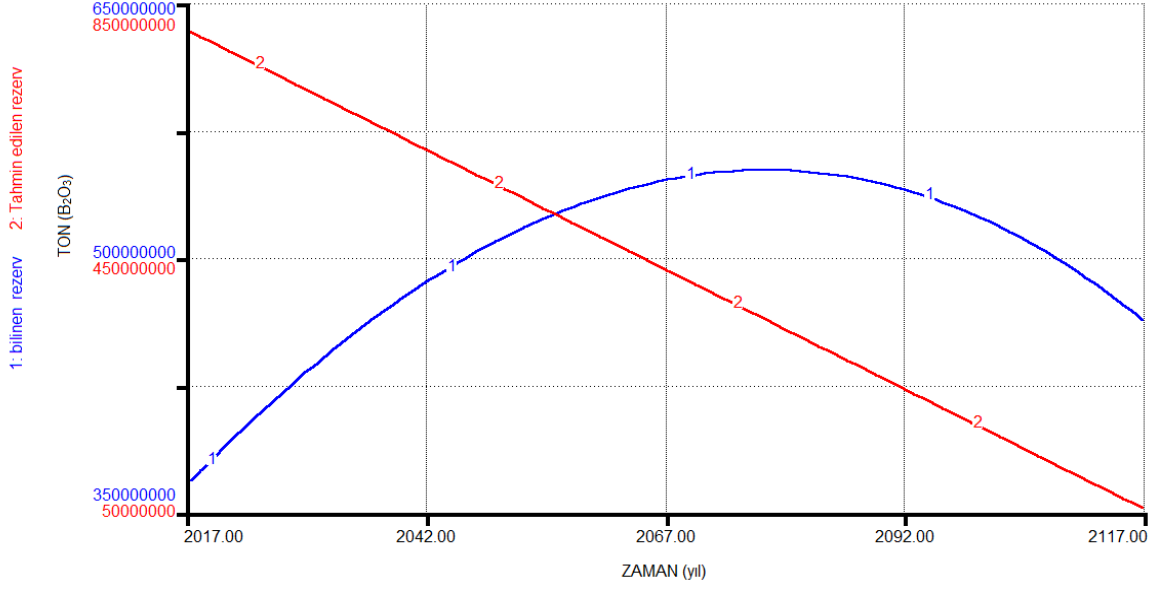
Şekil 4.3. Senaryo 1'e Göre Kişi Başı Bor Kullanım Miktarı ve Kişi Başı Düşen GSH Miktarı Değişim Grafiği

Modelde toplam bor kullanımındaki değişim ile dünya nüfusundaki değişimin oranlanması ile gram cinsinden kişi başına düşen bor kullanım miktarı bulunmaktadır. 2017 yılında kişi başına düşen bor kullanım miktarı 236 gram iken 2117 yılında nüfusun da artmasına rağmen yavaş difüzyon nedeniyle 549 gram olmuştur.

4.1.4. Rezerv Değişimleri

Dünya bilinen bor rezervi 369 milyon ton B_2O_3 olduğu, bunun dışında henüz bilinmeyen tahmin edilen bor rezervinin ise 807 milyon ton B_2O_3 civarında olduğu bilinmektedir (15). ETİ Maden'in 2016 yılı Bor Sektör Raporuna göre Türkiye Dünya Bor rezervinin %72,9'una sahip olduğu belirtilmektedir.

Bilinmeyen rezervler maden arama bulma faaliyetleri sonucu yeni rezervlerin keşfi ile bilinen rezerv miktarını arttırmaktadır. Böylece bilinmeyen rezervden bilinen rezerve bir akış söz konusudur. Bu akış hali Şekil 3.7'deki gibi modele dâhil edilmiştir.



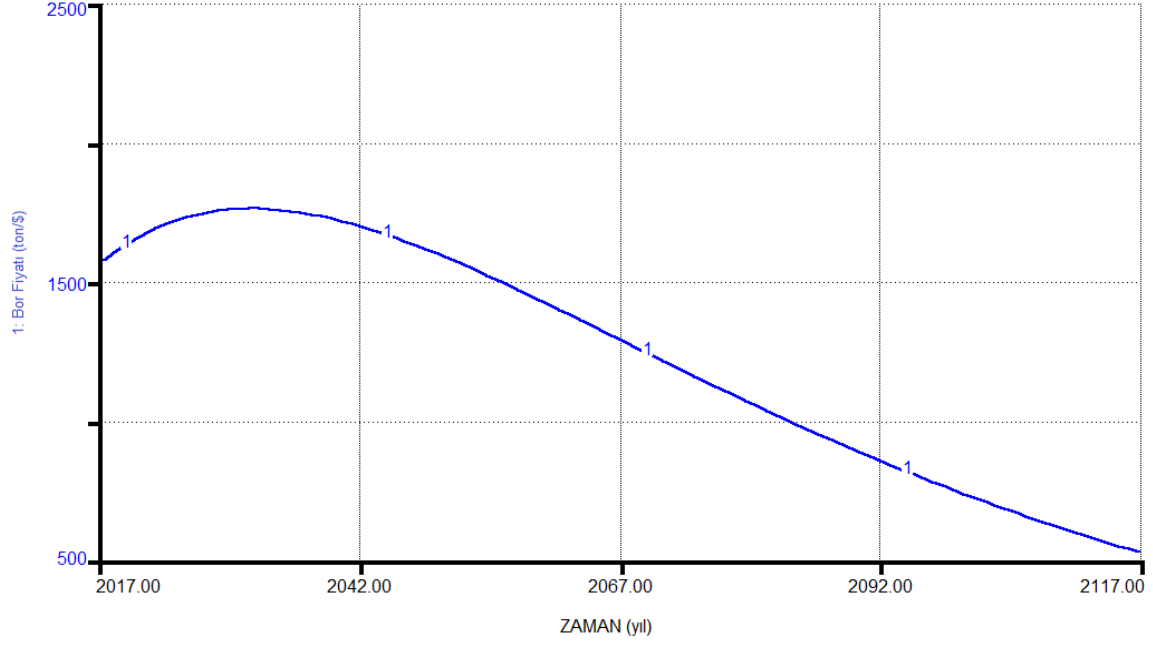
Şekil 4.4. Senaryo 1’de Bilinen ve Tahmin Edilen Rezervlerin Değişimi

Akış doğrultusunda tahmin edilen rezerv sürekli azalırken bilinen rezerv bir noktaya kadar artmaya devam etmiştir. 2017 yılı itibariyle 369 milyon ton olan bilinen bor rezervi Şekil 4.4’deki gibi artış göstererek 2078 yılında en yüksek miktarı olan 549.646.877 tona ulaşmış ve bu tarihten sonra tahmin edilen rezervinde azalmış olması ve piyasaların artan bor kullanımı nedeniyle bilinen rezerv de düşüşe geçmiştir. 2117 yılına gelindiğinde 458 megaton seviyesine kadar gerilemiştir.

Tahmin edilen bor rezervi 2017 yılı itibariyle 807 milyon tondur. Piyasadaki bor kullanımının artması bor arama faaliyetlerini de tetikleyeceğinden tahmin edilen rezervden bilinen rezerve güçlü bir akış olmuş ve sürekli azalarak 2117 yılına gelindiğinde 57 milyon ton seviyesine düşmüştür.

4.1.5. Bor Fiyatı Değişimi

Bor fiyatları içeriğine göre değişmekte olup, %40 B₂O₃ içeriğindeki güncel bor fiyatı 620-650 dolar/ton arasındadır (15). Ancak modelde kullanılan veriler B₂O₃ türünden olduğu için %100 saflıktaki bor yaklaşık 1620 dolar/ton olacaktır ve fiyat olarak bu değer alınmıştır.



Şekil 4.5. Senaryo 1'e Göre Bor Fiyatındaki Değişim

Başlangıçta 2017 yılında 1620 dolar/ton B_2O_3 fiyat, 2030 yılına kadar artarak 1793 dolar/ton B_2O_3 seviyesine gelmiştir. Bu tarihten sonra her ne kadar kullanım artsa da madencilik faaliyetlerinin talebi karşılayabilecek düzeyde olması fiyatta gerilemeye neden olmuştur. 2117 yılında 531 dolar/ton B_2O_3 fiyatına kadar gerilemiştir.

4.1.6. Senaryo 1 Genel Değerlendirmesi

Bu senaryoda bor mineralinin halen hazırda kullanılmakta olduğu ve toplam tüketimin %85,75'ini temsil eden 4 sektör içerisinde yavaş şekilde difüzyonu modellenmiştir.

Rezervler modelin çalıştırıldığı 100 yıllık süreç içinde azalsa da tükenmemiş ve fiyatta bir baskı oluşturmamıştır. Bu durumda güçlü bir rekabet ortamında senaryonun oluşturulması da etkilidir. Çünkü piyasada bor ile etkili bir şekilde rekabet eden ürünlerin olması azalan rezervlerin fiyatta baskı oluşturmasını engellemiştir. Sektörlerdeki büyüme miktarları çok yüksek olsa da bor kullanım miktarları aynı oranda artmamıştır. Bu da yine rekabete dayalı olarak sektörlerin büyürken ihtiyaç duyduğu hammaddeleri ikame ürünlerle giderebilmesindedir.

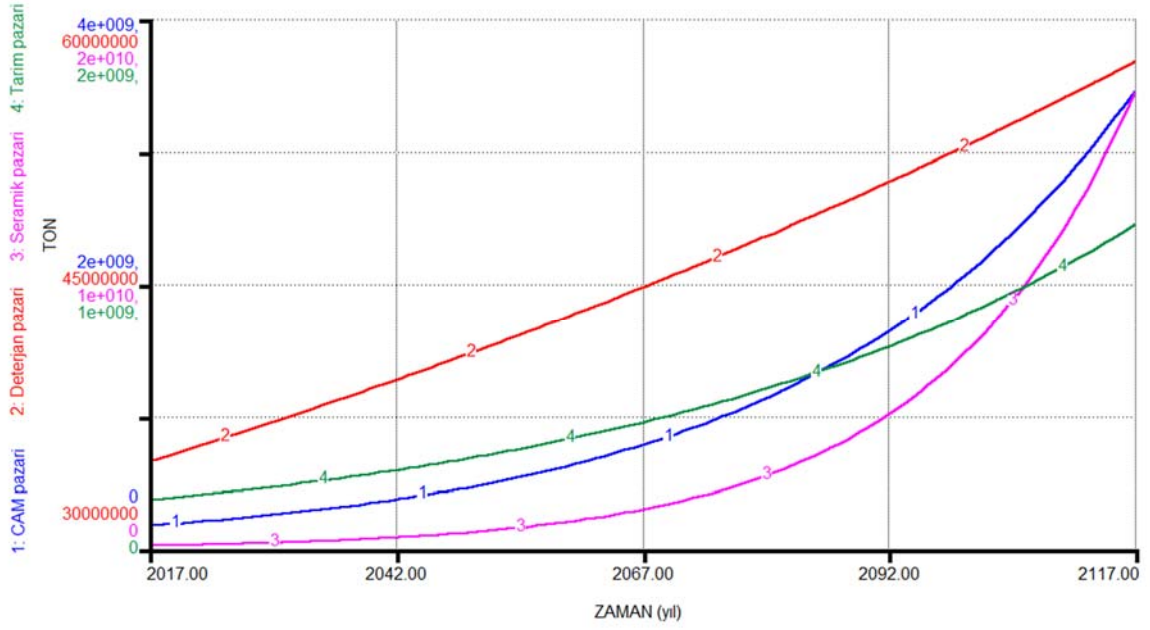
Difüzyonun yavaş olmasının en büyük nedenlerinden biri de sektörlerin ikame hammaddelere yönelmesidir. Bor günümüzde ucuz ve efektif bir malzemedir. Sunduğu teknik özellikleri için fiyatı uygundur ancak rezervlerin önemli bir çoğunluğunun birkaç ülkenin elinde toplanması ve oligopol bir piyasa oluşturması rezerve sahip olmayan ülkeler için bir risk olarak algılanabilmektedir. Alternatif arayışları da bor fiyatlarının yukarı yönlü hareketini baskılar ve difüzyonu yavaşlatır.

4.2. Senaryo 2: Hızlı Difüzyon

Bu senaryoda bor mineralinin pazarda hızlı bir şekilde difüze olması modellenmiştir. Hızlı difüzyon senaryosunda rekabet, yavaş difüzyona nispeten biraz daha gevşetilmiş ve bu yüzden sıfır ile bir arasında değer verebildiğimiz rekabet oranına 0.8 değeri verilmiştir. Bu durumda piyasada rekabet yavaş difüzyona göre daha azdır. Rekabet baskısının zamanla değişimini ifade eden rekabet eğrisi de s-şekilli grafik olarak tanımlanmıştır. Difüzyonun hızını arttıran ve kullanıcı temasını belirleyen temel temas çarpanı da diğer iki senaryo arasında bir değer olan 0.6 değerinde model çalıştırılmıştır. Yine değeri arttıkça difüzyon hızının artmasına neden olan temel pazarlama etkileyciliği diğer iki senaryodaki değerlerin orta değeri olan 0.02 ve pazarlama çalışmaları değişkenine de 0.1 değeri verilmiştir.

4.2.1. Pazar Hacim Değişimleri

Bor kullanımının en yoğun olduğu ve dünya bor kullanımının %85,75'ini ifade eden 4 büyük sektörde senaryo 2 şartlarında zamanla kullanım değişimi Şekil 4.6'de gösterilmiştir. Bu sektörlerin büyümesi haliyle hammadde ihtiyaçlarının artması anlamına da gelmektedir. Model 2017 ile 2117 yılları arasında 100 yıllık bir aralıkta çalıştırılmıştır.



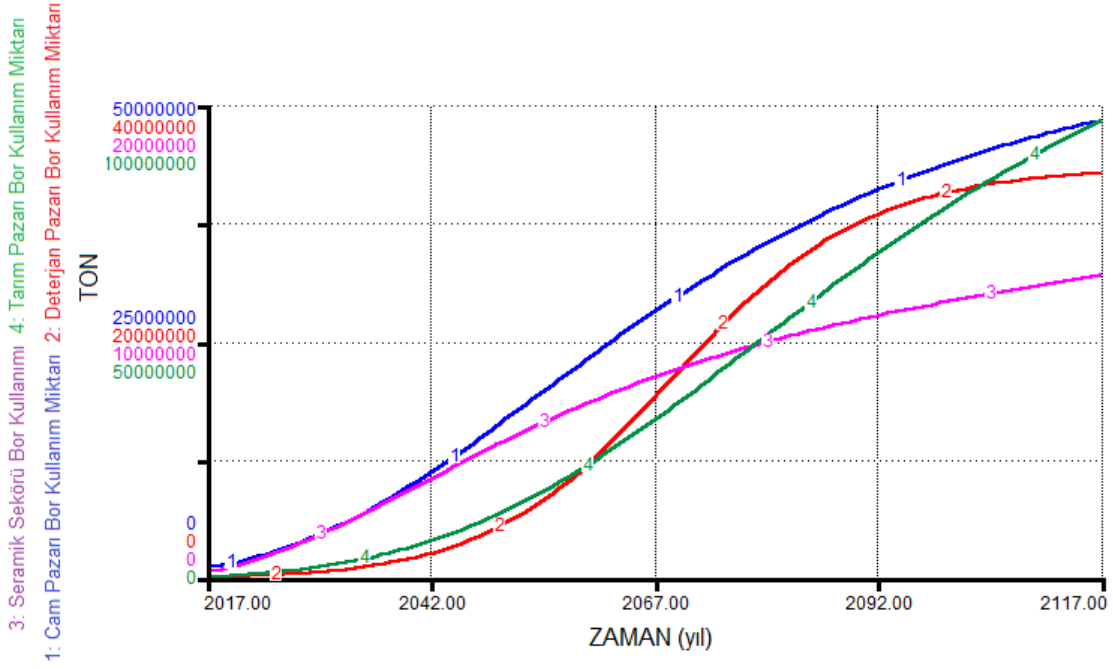
Şekil 4.6. Senaryo 2'deki Pazar Hacmi Değişimleri Grafiği

Pazar hacimleri değişimi, sektörlerin kendi iç dinamikleri ile ilgili olduğundan difüzyon senaryolarının değişiminin uygulandığı değişkenlerden etkilenmemektedir. Dolayısıyla senaryo 1'deki artış grafiğinin aynısı senaryo 2'de de gerçekleşmektedir.

4.2.2. Sektörel Bor Kullanımları

İncelenen 4 sektörün, senaryo 2 şartlarında kullandıkları bor miktarlarındaki değişim Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Ancak Şekil 4.9'da gösterileceği üzere senaryo 2'de rezervler 2061 tükenecektir. Bu tarihten sonraki dönemde modelde bor talebi durdurulmamış ve bor varlığı devam etmesi halindeki kullanım gösterilmiştir.

Cam sektöründe 2017 yılında 1.190.000 ton B_2O_3 kullanılmıştır. Hızlı bir artış izleyen cam sektörünün bor kullanım miktarı 2117 yılına gelindiğinde 62.953.400 B_2O_3 olmuştur. Günümüzde bor kullanımının en fazla olduğu cam sektöründe yaklaşık 60 katlık bir kullanım artışı söz konusudur.



Şekil 4.7. Senaryo 2'deki Sektörel Bor Kullanım Miktarları

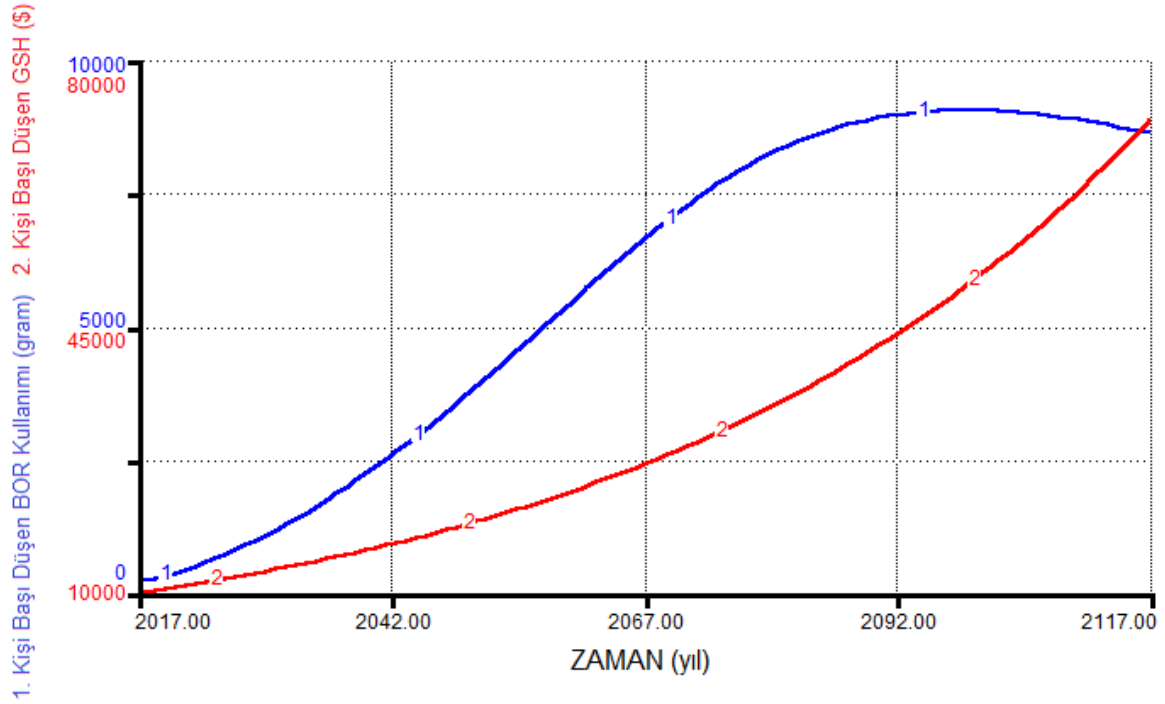
Deterjan sektöründe bor kullanımı 2017 yılında 45.000 ton B_2O_3 iken Şekil 4.7 doğrultusunda bir artışla 2117 yılında 34.406.607 ton B_2O_3 kullanım seviyesine ulaşmıştır.

Dünya seramik sektörü 2017 yılında 280.000 ton B_2O_3 kullanmıştır. Şekil 4.7'de gösterilen artış ile 2117 yılında bor kullanımı 12.846.366 ton B_2O_3 olmuştur.

Tarım sektöründe 2017 yılı itibariyle bor kullanımı 240.000 ton B_2O_3 iken Şekil 4.7'deki grafikteki artış süreciyle 2117 yılında 98.872.320 ton B_2O_3 miktarına ulaşmıştır.

4.2.3. GSH ve Kişi Başı Düşen Bor Miktarı Değişimi

Dünya GSH değişimi ile nüfus değişimi oranına göre kişi başı düşen GSH dolar cinsinden bulunmaktadır. Bu nedenle nüfus ve GSH kendi iç dinamikleri ile ilgili olduğundan difüzyon senaryolarının değişiminin uygulandığı değişkenlerden etkilenmemektedir. Dolayısıyla senaryo 1'deki artış grafiğinin aynısı senaryo 2'de de gerçekleşmektedir 2017 yılında kişi başı GSH 10.192 dolar iken Şekil 4.8'deki gibi bir artışla 2117 yılında 72.278 dolara çıkması beklenmektedir.



Şekil 4.8. Senaryo 2'ye Göre Kişi Başı Bor Kullanım Miktarı ve Kişi Başı Düşen GSH Miktarı Değişim Grafiği

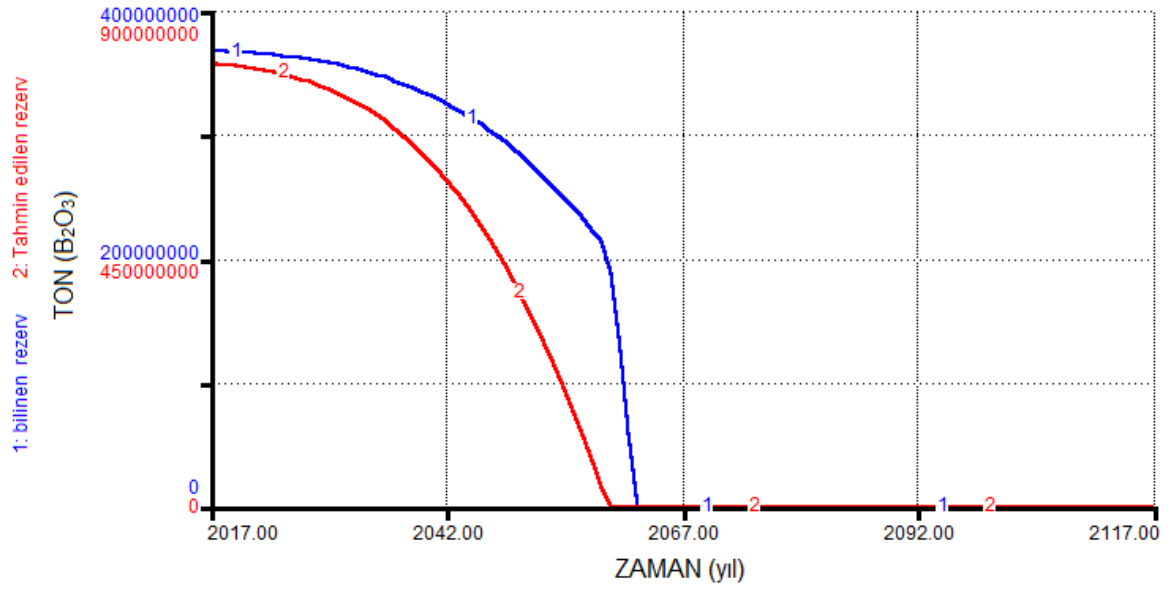
Modelde toplam bor kullanımındaki değişim ile dünya nüfusundaki değişimin oranlanması ile gram cinsinden kişi başına düşen bor kullanım miktarı bulunmaktadır. 2017 yılında kişi başına düşen bor kullanım miktarı 236 gram iken 2117 yılında nüfusun da artışıyla beraber 9408 gram olmuştur.

4.2.4. Rezerv Değişimleri

Dünya bilinen bor rezervi 369 milyon ton B_2O_3 olduğu, bunun dışında henüz bilinmeyen tahmin edilen bor rezervinin ise 807 milyon ton B_2O_3 civarında olduğu bilinmektedir (15). ETİ Maden'in 2016 yılı Bor Sektör Raporuna göre Türkiye Dünya Bor rezervinin %72,9'una sahip olduğu belirtilmektedir.

Bilinmeyen rezervler maden arama bulma faaliyetleri sonucu yeni rezervlerin keşfi ile bilinen rezerv miktarını arttırmaktadır. Böylece bilinmeyen rezervden bilinen rezerve bir akış söz konusudur.

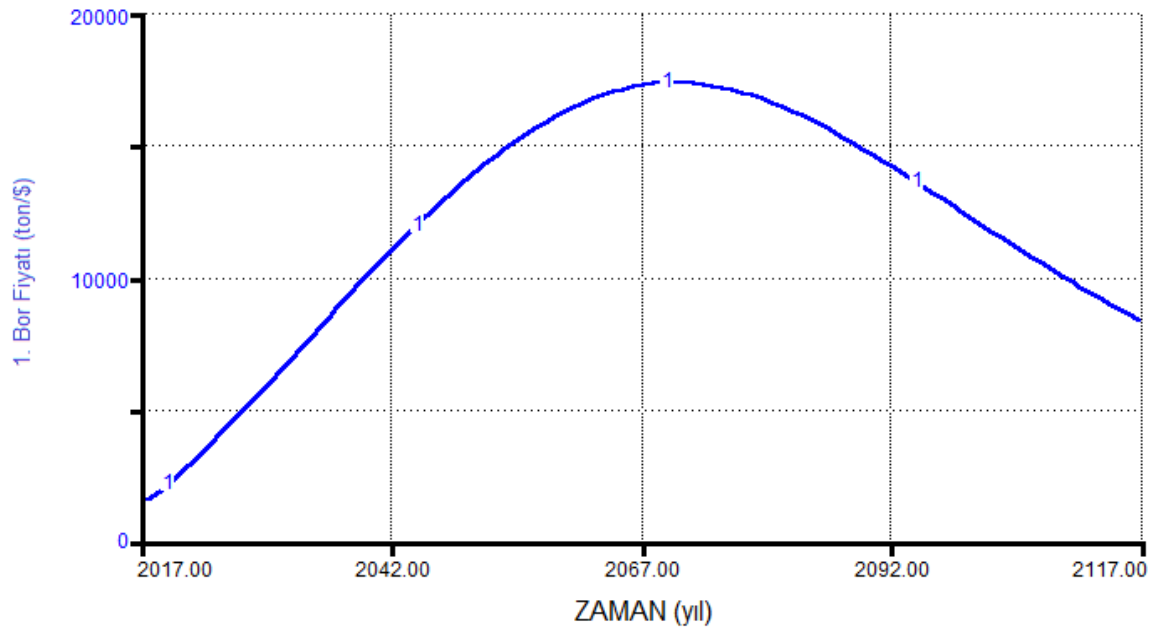
Akış doğrultusunda; senaryo 2 şartlarında bilinen rezerv ve tahmin edilen rezerv hızlı bir şekilde azalmıştır. 2058 yılına gelindiğinde tahmin edilen rezerv, 2061 yılına gelindiğinde ise bilinen rezerv tükenmiştir.



Şekil 4.9. Senaryo 2’de Bilinen ve Tahmin Edilen Rezervlerin Değişimi

4.2.5. Bor Fiyatı Değişimi

Bor fiyatları içeriğine göre değişmekte olup, %40 B₂O₃ içeriğindeki güncel bor fiyatı 620-650 dolar/ton arasındadır (15). Ancak modelde kullanılan veriler B₂O₃ türünden olduğu için %100 saflıktaki bor yaklaşık 1620 dolar/ton olacaktır ve fiyat olarak bu değer alınmıştır.



Şekil 4.10. Senaryo 2’ye Göre Bor Fiyatındaki Değişim

Başlangıçta 2017 yılında 1620 dolar/ton B₂O₃ fiyat, rezervlerin tükendiği 2061 yılına kadar artarak 18.246 dolar/ton B₂O₃ seviyesine gelmiştir. Bu tarihten sonra 8 yıl daha fiyatında az da olsa artış göstererek en yüksek seviye olan 19.026 dolar/ton B₂O₃ miktarına ulaşmış ve bu tarihten sonra değer kaybına başlamıştır. 2117 yılına gelindiğinde bor fiyatı 9112 dolar/ton B₂O₃ seviyesine kadar gerilemiştir.

4.2.6. Senaryo 2 Genel Değerlendirmesi

Bu senaryoda bor mineralinin halen hazırda kullanılmakta olduğu ve toplam tüketimin %85,75'ini temsil eden 4 sektör içerisinde hızlı şekilde difüzyonu modellenmiştir.

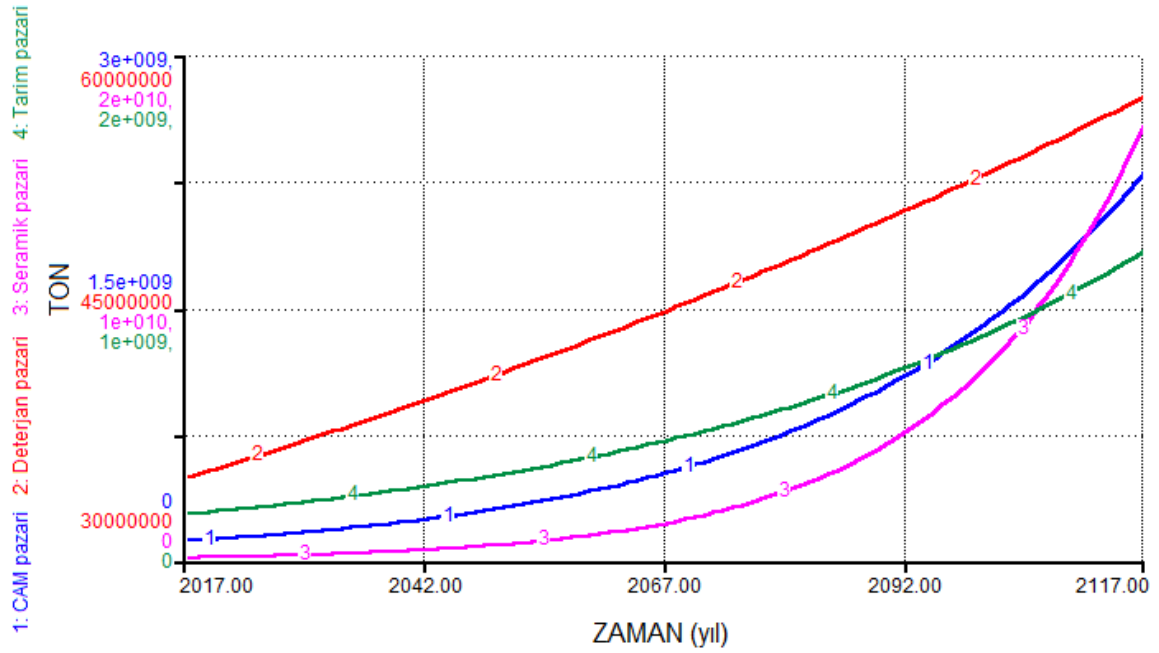
Rezervler modelin çalıştırıldığı 100 yıllık süreç içinde hızlı bir azalma göstererek 1960'lı yılların başında tükenmiştir. Bu durumda bor ile rekabet edecek ikame ürünlerin rekabet gücünün senaryo 1'e göre daha düşük modellenmesi etkili olmuştur. Böylece sektörlerdeki büyüme, bor kullanım miktarlarına da yansımıştır. Bor sektörler içinde senaryo 1'e göre daha hızlı bir difüzyon gerçekleştirmiştir.

4.3. Senaryo 3: Çok Hızlı Difüzyon

Bu senaryoda bor mineralinin pazarda çok hızlı bir şekilde difüze olması modellenmiştir. Çok hızlı difüzyon senaryosunda rekabet, diğer iki senaryodaki difüzyona nispeten daha gevşetilmiş ve bu yüzden sıfır ile bir arasında değer verebildiğimiz rekabet oranına 0.7 değeri verilmiştir. Bu durumda piyasada rekabet tüm senaryolar içinde en az olan miktardadır. Rekabet baskısının zamanla değişimini ifade eden rekabet eğrisi de çember sol üst çeyreği şeklindeki grafik olarak tanımlanmıştır. Difüzyonun hızını arttıran ve kullanıcı temasını belirleyen temel temas çarpanı da diğer iki senaryodan büyük olarak 0.7 değerinde model çalıştırılmıştır. Yine değeri arttıkça difüzyon hızının artmasına neden olan temel pazarlama etkileyciliği diğer iki senaryodaki değerlerden yüksek olarak 0.03 ve pazarlama çalışmaları değişkenine de 0.01 değeri verilmiştir.

4.3.1. Pazar Hacim Değişimleri

Bor kullanımının en yoğun olduğu ve dünya bor kullanımının %85,75'ini ifade eden 4 büyük sektörde senaryo 2 şartlarında zamanla kullanım değişimi Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Bu sektörlerin büyümesi haliyle hammadde ihtiyaçlarının artması anlamına da gelmektedir. Model 2017 ile 2117 yılları arasında 100 yıllık bir aralıkta çalıştırılmıştır.



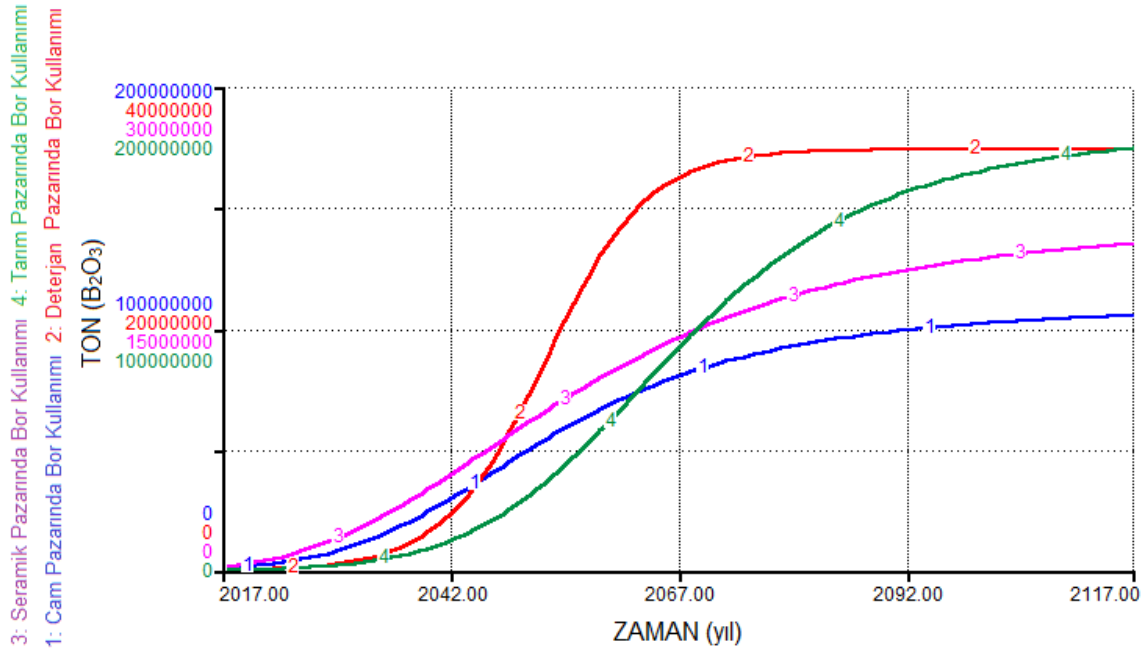
Şekil 4.11. Senaryo 3'deki Pazar Hacmi Değişimleri Grafiği

Pazar hacimleri değişimi, sektörlerin kendi iç dinamikleri ile ilgili olduğundan difüzyon senaryolarının değişiminin uygulandığı değişkenlerden etkilenmemektedir. Dolayısıyla senaryo 1 ve 2'deki artış grafiğinin aynısı senaryo 3'de de gerçekleşmektedir.

4.3.2. Sektörel Bor Kullanımları

İncelenen 4 sektörün, senaryo 3 şartlarında kullandıkları bor miktarlarındaki değişim Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Ancak Şekil 4.14'de gösterileceği üzere senaryo 3'de rezervler 2051 yılında tükenecektir. Bu tarihten sonraki dönemde modelde bor talebi durdurulmamış ve bor varlığı devam etmesi halindeki kullanım gösterilmiştir.

Cam sektöründe 2017 yılında 1.190.000 ton B_2O_3 kullanılmıştır. Şekil 4.12 doğrultusunda hızlı bir artış izleyen cam sektörünün bor kullanım miktarı 2117 yılına gelindiğinde 151.043.036 ton B_2O_3 olmuştur. Günümüzde bor kullanımının en fazla olduğu cam sektöründe yaklaşık 150 katlık bir kullanım artışı söz konusudur.



Şekil 4.12. Senaryo 3'deki Sektörel Bor Kullanım Miktarları

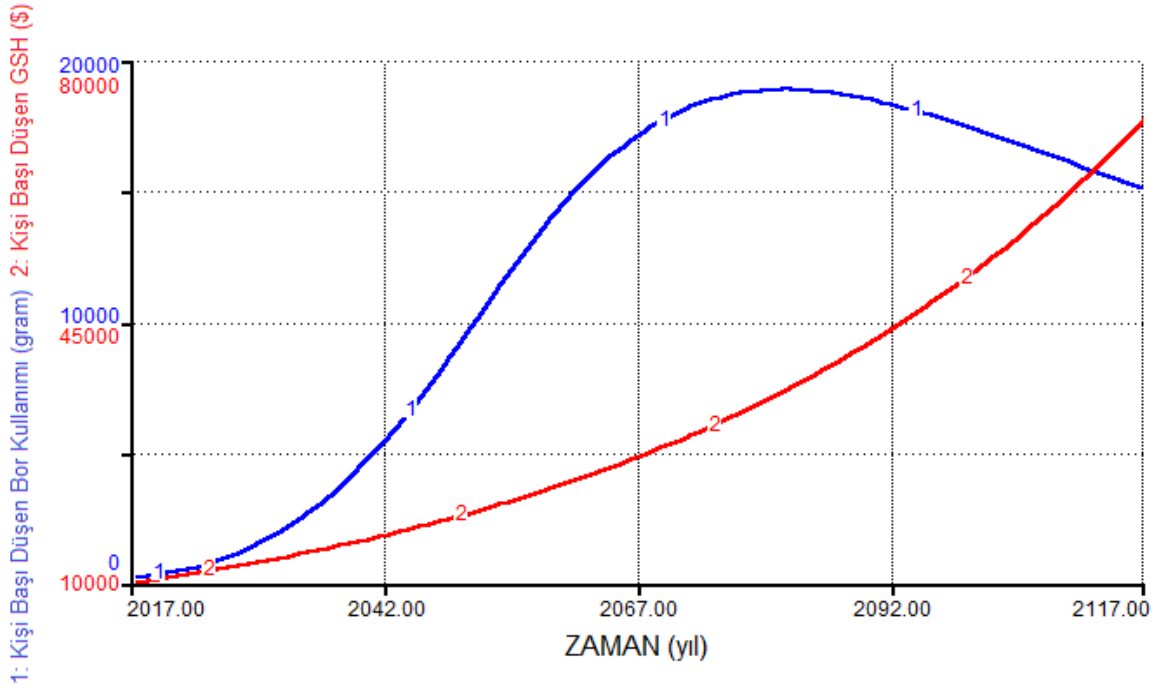
Deterjan sektöründe bor kullanımı 2017 yılında 45.000 ton B₂O₃ iken Şekil 4.12 doğrultusunda bir artışla 2117 yılında 34.999.169 ton B₂O₃ kullanım seviyesine ulaşmıştır.

Dünya seramik sektörü 2017 yılında 280.000 ton B₂O₃ kullanmıştır. Şekil 4.12'de gösterilen artış ile 2117 yılında bor kullanımı 34.999.169 ton B₂O₃ olmuştur.

Tarım sektöründe 2017 yılı itibariyle bor kullanımı 240.000 ton B₂O₃ iken Şekil 4.12'deki grafikteki artış süreciyle 2117 yılında 176.705.915 ton B₂O₃ miktarına ulaşmıştır.

5.3.3. GSH ve Kişi Başı Düşen Bor Miktarı Değişimi

Dünya GSH değişimi ile nüfus değişimi oranına göre kişi başı düşen GSH dolar cinsinden bulunmaktadır. Bu nedenle nüfus ve GSH kendi iç dinamikleri ile ilgili olduğundan difüzyon senaryolarının değişiminin uygulandığı değişkenlerden etkilenmemektedir. Dolayısıyla senaryo 1 ve 2'deki artış grafiğinin aynısı senaryo 3'de de gerçekleşmektedir 2017 yılında kişi başı GSH 10.192 dolar iken Şekil 4.13'deki gibi bir artışla 2117 yılında 72.278 dolara çıkması beklenmektedir.

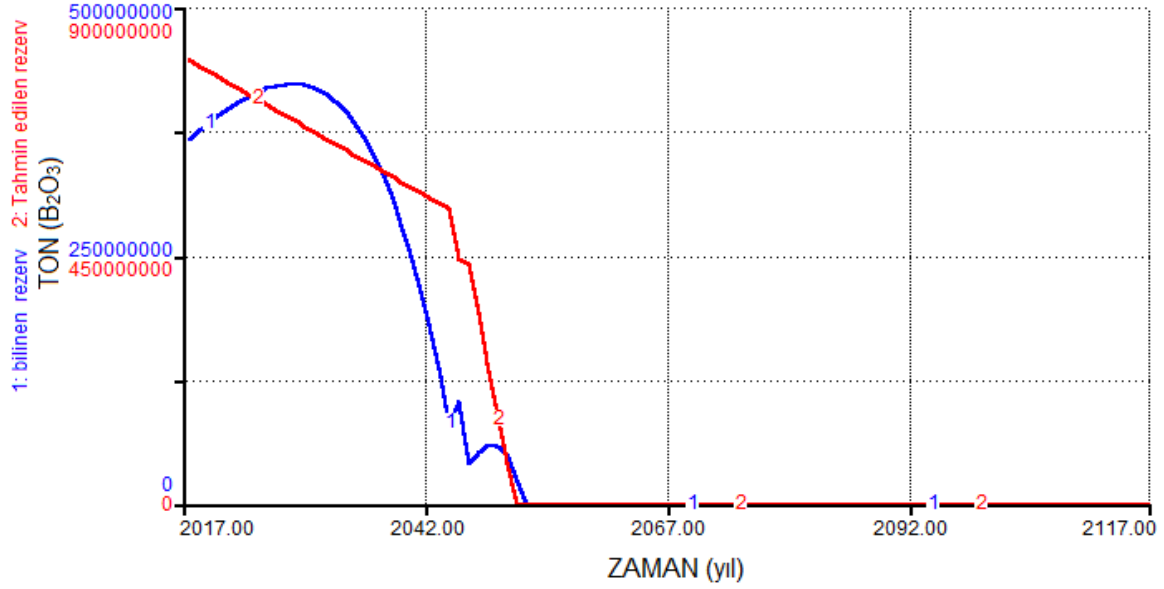


Şekil 4.13. Senaryo 3'e Göre Kişi Başı Bor Kullanım Miktarı ve Kişi Başı Düşen GSH Miktarı Değişim Grafiği

Modelde toplam bor kullanımındaki değişim ile dünya nüfusundaki değişimin oranlanması ile gram cinsinden kişi başına düşen bor kullanım miktarı bulunmaktadır. 2017 yılında kişi başına düşen bor kullanım miktarı 236 gram iken 2117 yılında nüfusun da artmasına rağmen 17.238 gram olmuştur.

4.3.4. Rezerv Değişimleri

Dünya bilinen bor rezervi 369 milyon ton B_2O_3 olduğu, bunun dışında henüz bilinmeyen tahmin edilen bor rezervinin ise 807 milyon ton B_2O_3 civarında olduğu bilinmektedir (15). ETİ Maden'in 2016 yılı Bor Sektör Raporuna göre Türkiye Dünya Bor rezervinin %72,9'una sahip olduğu belirtilmektedir.



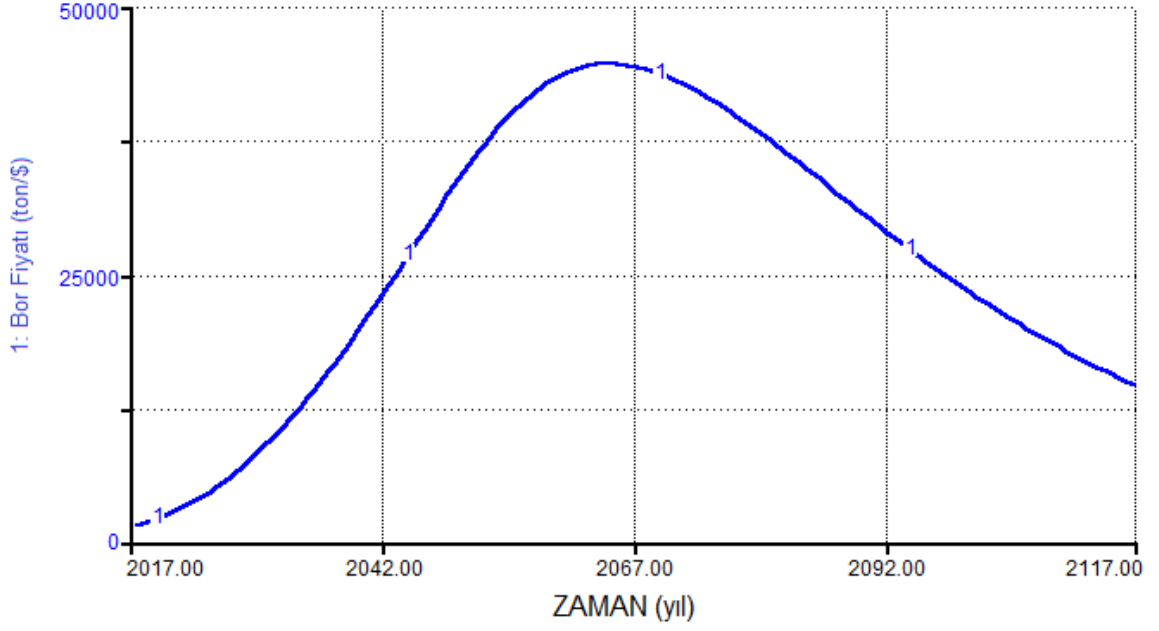
Şekil 4.14. Senaryo 3'te Bilinen ve Tahmin Edilen Rezervlerin Değişimi

Bilinmeyen rezervler maden arama bulma faaliyetleri sonucu yeni rezervlerin keşfi ile bilinen rezerv miktarını arttırmaktadır. Böylece bilinmeyen rezervden bilinen rezerve bir akış söz konusudur.

Akış doğrultusunda; senaryo 3 şartlarında bilinen rezerv ve tahmin edilen rezerv hızlı bir şekilde azalmıştır. 2050 yılına gelindiğinde tahmin edilen rezerv, 2051 yılına gelindiğinde ise bilinen rezerv tükenmiştir.

4.3.5. Bor Fiyatı Değişimi

Bor fiyatları içeriğine göre değişmekte olup, %40 B₂O₃ içeriğindeki güncel bor fiyatı 620-650 dolar/ton arasındadır (15). Ancak modelde kullanılan veriler B₂O₃ türünden olduğu için %100 saflıktaki bor yaklaşık 1620 dolar/ton olacaktır ve fiyat olarak bu değer alınmıştır.



Şekil 4.15. Senaryo 3'e Göre Bor Fiyatındaki Değişim

Başlangıçta 2017 yılında 1620 dolar/ton B_2O_3 fiyat, rezervlerin tükendiği 2051 yılına kadar artarak 41.090 dolar/ton B_2O_3 seviyesine gelmiştir. Bu tarihten sonra 13 yıl daha fiyatında artış göstermiş ve en yüksek seviye olan 51.226 dolar/ton B_2O_3 miktarına ulaşmış ve bu tarihten sonra değer kaybına başlamıştır. 2117 yılına gelindiğinde bor fiyatı 16.695 dolar/ton B_2O_3 seviyesine kadar gerilemiştir.

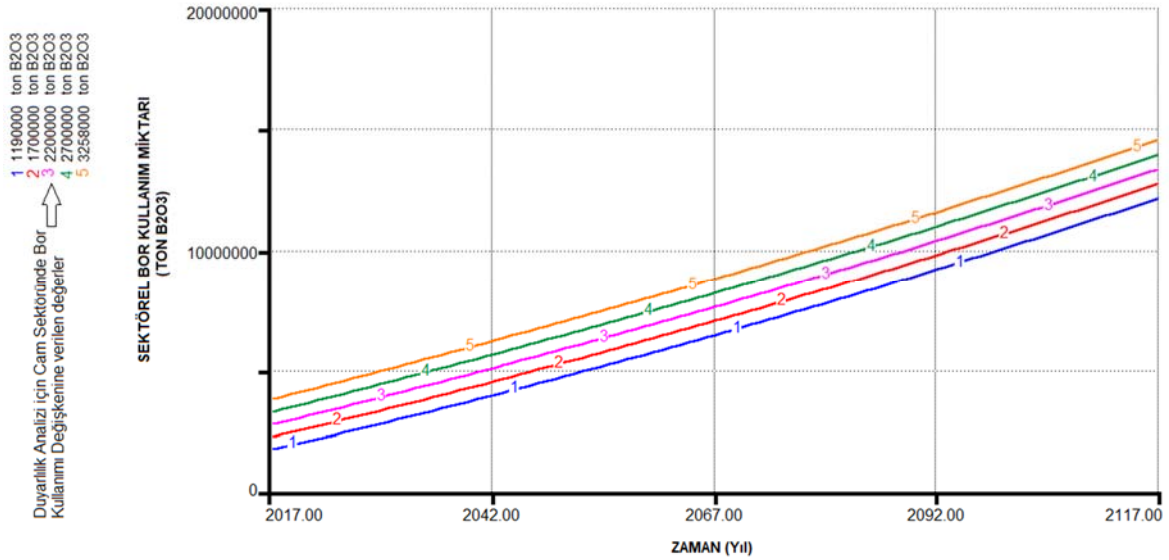
4.3.6. Senaryo 3 Genel Değerlendirmesi

Bu senaryoda bor mineralinin halen hazırda kullanılmakta olduğu ve toplam tüketimin %85,75'ini temsil eden 4 sektör içerisinde çok hızlı şekilde difüzyonu modellenmiştir.

Rezervler modelin çalıştırıldığı 100 yıllık süreç içinde hızlı bir azalma göstererek 1950'li yılların başında tükenmiştir. Bu durumda bor ile rekabet edecek ikame ürünlerin rekabet gücünün senaryo 1 ve 2'ye göre daha düşük modellenmesi etkili olmuştur. Böylece sektörlerdeki büyüme, bor kullanım miktarlarına da yansımıştır. Bor sektörler içinde senaryo 1 ve 2'ye göre daha hızlı bir difüzyon gerçekleştirmiştir.

4.4. Duyarlılık Analizi Sonuçları

Şekil 4.16'da bor mineralinin en yoğun kullanıldığı cam pazarının; model çalıştığı sırada gösterdiği değişim aralığında yer alan sırasıyla 1.190.000 ton B₂O₃, 1.700.000 ton B₂O₃, 2.200.000 ton B₂O₃, 2.700.000 ton B₂O₃ ve 3.258.000 ton B₂O₃ olmak üzere 5 farklı değerde çalıştırıldığında sektörel bor kullanımındaki değişim gösterilmektedir.



Şekil 4.16. Cam Pazarındaki Bor Kullanım Miktarı Üzerinden Sektörel Bor Kullanım Miktarı Değişkeninin Duyarlılık Analizi Grafiği

Cam pazarındaki bor kullanımı değişkenine sırasıyla verilen bu değerler sektörel bor kullanımında her yıl için 5 farklı değer ile duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki tabloda yıllara göre detaylı olarak sektörel bor kullanımının, cam pazarındaki bor kullanımı değişkeni üzerinden değişimi gösterilmektedir.

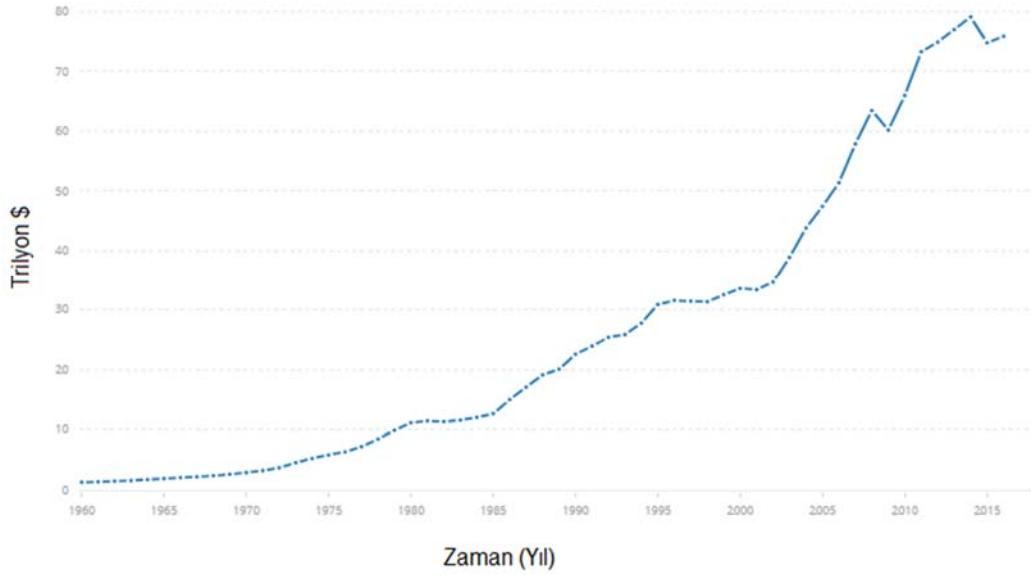
**Çizelge 4.1. Cam Pazarındaki Bor Kullanım Miktarı Üzerinden Sektörel Bor
Kullanım Miktarı Değişkeninin Duyarlılık Analizi Tablosu**

YILLAR	1. Sektör BOR kullanım miktarı (Megaton B2O3)	2. Sektör BOR kullanım miktarı (Megaton B2O3)	3. Sektör BOR kullanım miktarı (Megaton B2O3)	4. Sektör BOR kullanım miktarı (Megaton B2O3)	5. Sektör BOR kullanım miktarı (Megaton B2O3)	YILLAR	1. Sektör BOR kullanım miktarı (Megaton B2O3)	2. Sektör BOR kullanım miktarı (Megaton B2O3)	3. Sektör BOR kullanım miktarı (Megaton B2O3)	4. Sektör BOR kullanım miktarı (Megaton B2O3)	5. Sektör BOR kullanım miktarı (Megaton B2O3)
2017	1.755	2.272	2.789	3.306	3.823	2067	6.490	7.079	7.666	7.906	8.841
2018	1.839	2.359	2.878	3.398	3.917	2068	6.595	7.184	7.772	7.998	8.948
2019	1.924	2.446	2.968	3.490	4.012	2069	6.700	7.290	7.879	8.090	9.056
2020	2.010	2.534	3.058	3.582	4.107	2070	6.806	7.396	7.985	8.182	9.163
2021	2.096	2.622	3.149	3.674	4.202	2071	6.911	7.502	8.093	8.274	9.272
2022	2.182	2.711	3.240	3.766	4.298	2072	7.018	7.609	8.200	8.366	9.380
2023	2.269	2.800	3.331	3.858	4.394	2073	7.124	7.716	8.308	8.458	9.489
2024	2.356	2.890	3.423	3.950	4.490	2074	7.232	7.824	8.416	8.550	9.598
2025	2.444	2.980	3.515	4.042	4.586	2075	7.339	7.932	8.524	8.642	9.708
2026	2.532	3.070	3.607	4.134	4.682	2076	7.447	8.040	8.633	8.734	9.818
2027	2.621	3.160	3.700	4.226	4.779	2077	7.555	8.149	8.743	8.826	9.928
2028	2.710	3.251	3.793	4.318	4.876	2078	7.664	8.258	8.852	8.918	10.038
2029	2.799	3.343	3.886	4.410	4.973	2079	7.773	8.368	8.962	9.010	10.149
2030	2.889	3.434	3.980	4.502	5.070	2080	7.882	8.478	9.072	9.102	10.261
2031	2.979	3.527	4.074	4.594	5.167	2081	7.992	8.588	9.183	9.194	10.372
2032	3.070	3.619	4.168	4.686	5.265	2082	8.102	8.698	9.294	9.286	10.484
2033	3.161	3.712	4.262	4.778	5.363	2083	8.213	8.809	9.406	9.378	10.596
2034	3.252	3.805	4.357	4.870	5.461	2084	8.324	8.921	9.517	9.470	10.709
2035	3.344	3.898	4.452	4.962	5.559	2085	8.435	9.032	9.629	9.562	10.822
2036	3.437	3.992	4.548	5.054	5.658	2086	8.547	9.145	9.742	9.654	10.935
2037	3.529	4.086	4.643	5.146	5.757	2087	8.659	9.257	9.855	9.746	11.048
2038	3.622	4.181	4.740	5.238	5.856	2088	8.771	9.370	9.968	9.838	11.162
2039	3.716	4.276	4.836	5.330	5.955	2089	8.884	9.483	10.081	9.930	11.277
2040	3.810	4.371	4.933	5.422	6.055	2090	8.997	9.597	10.195	10.022	11.391
2041	3.904	4.467	5.030	5.514	6.154	2091	9.111	9.711	10.310	10.114	11.506
2042	3.998	4.563	5.127	5.606	6.254	2092	9.225	9.825	10.424	10.206	11.621
2043	4.093	4.659	5.225	5.698	6.354	2093	9.339	9.940	10.539	10.298	11.737
2044	4.189	4.756	5.323	5.790	6.455	2094	9.454	10.055	10.655	10.390	11.853
2045	4.285	4.853	5.421	5.882	6.556	2095	9.569	10.170	10.770	10.482	11.969
2046	4.381	4.950	5.519	5.974	6.657	2096	9.685	10.286	10.886	10.574	12.086
2047	4.477	5.048	5.618	6.066	6.758	2097	9.801	10.402	11.003	10.666	12.203
2048	4.574	5.146	5.717	6.158	6.859	2098	9.917	10.519	11.120	10.758	12.320
2049	4.672	5.245	5.817	6.250	6.961	2099	10.034	10.635	11.237	10.850	12.438
2050	4.769	5.343	5.917	6.342	7.063	2100	10.150	10.753	11.354	10.942	12.555
2051	4.868	5.443	6.017	6.434	7.165	2101	10.268	10.870	11.472	11.034	12.674
2052	4.966	5.542	6.118	6.526	7.268	2102	10.385	10.988	11.590	11.126	12.792
2053	5.065	5.642	6.219	6.618	7.371	2103	10.503	11.106	11.708	11.218	12.911
2054	5.164	5.742	6.320	6.710	7.474	2104	10.622	11.225	11.827	11.310	13.030
2055	5.264	5.843	6.421	6.802	7.577	2105	10.741	11.344	11.946	11.402	13.150
2056	5.364	5.944	6.523	6.894	7.681	2106	10.860	11.463	12.066	11.494	13.270
2057	5.464	6.045	6.625	6.986	7.785	2107	10.979	11.583	12.186	11.586	13.390
2058	5.565	6.147	6.728	7.078	7.889	2108	11.099	11.703	12.306	11.678	13.511
2059	5.666	6.249	6.831	7.170	7.994	2109	11.219	11.823	12.426	11.770	13.632
2060	5.768	6.351	6.934	7.262	8.098	2110	11.339	11.944	12.547	11.862	13.753
2061	5.870	6.454	7.038	7.354	8.203	2111	11.460	12.065	12.668	11.954	13.874
2062	5.972	6.557	7.142	7.446	8.309	2112	11.581	12.186	12.790	12.046	13.996
2063	6.075	6.661	7.246	7.538	8.415	2113	11.703	12.307	12.912	12.138	14.118
2064	6.178	6.765	7.350	7.630	8.521	2114	11.824	12.429	13.034	12.230	14.240
2065	6.282	6.869	7.455	7.722	8.627	2115	11.947	12.552	13.156	12.322	14.363
2066	6.386	6.974	7.561	7.814	8.734	2116	12.069	12.674	13.279	12.414	14.486
						2117	12.192	12.797	13.402	12.506	14.609

**Çizelge 4.2. GSH Değişimi Üzerinden Bor Fiyatı Değişkeninin Duyarlılık
Analizi Tablosu**

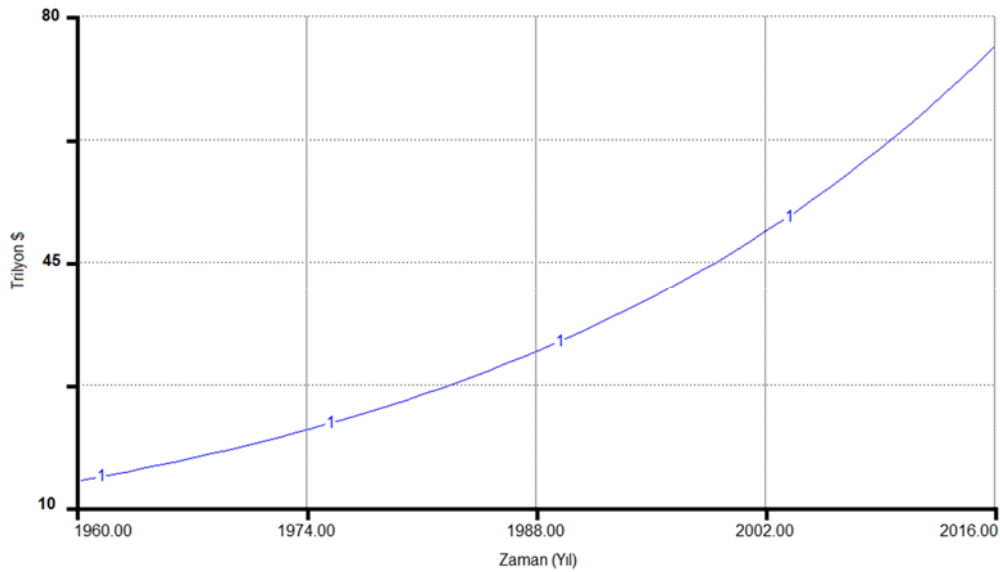
YILLAR	1 BOR fiyatı (ton B2O3 / \$)	2 BOR fiyatı (ton B2O3 / \$)	3 BOR fiyatı (ton B2O3 / \$)	4 BOR fiyatı (ton B2O3 / \$)	5 BOR fiyatı (ton B2O3 / \$)	YILLAR	1 BOR fiyatı (ton B2O3 / \$)	2 BOR fiyatı (ton B2O3 / \$)	3 BOR fiyatı (ton B2O3 / \$)	4 BOR fiyatı (ton B2O3 / \$)	5 BOR fiyatı (ton B2O3 / \$)
2017	1.619.69	1.496.38	1.390.52	1.298.65	1.218.17	2067	1.301.71	1.202.61	1.117.54	1.043.70	979.02
2018	1.646.68	1.521.32	1.413.70	1.320.30	1.238.47	2068	1.282.94	1.185.27	1.101.42	1.028.65	964.90
2019	1.671.00	1.543.79	1.434.58	1.339.80	1.256.77	2069	1.264.20	1.167.96	1.085.33	1.013.63	950.81
2020	1.692.77	1.563.90	1.453.26	1.357.25	1.273.13	2070	1.245.50	1.150.68	1.069.28	998.63	936.74
2021	1.712.09	1.581.75	1.469.85	1.372.74	1.287.66	2071	1.226.84	1.133.45	1.053.26	983.68	922.71
2022	1.729.07	1.597.44	1.484.43	1.386.36	1.300.44	2072	1.208.26	1.116.27	1.037.30	968.77	908.73
2023	1.743.83	1.611.08	1.497.10	1.398.19	1.311.54	2073	1.189.74	1.099.17	1.021.41	953.93	894.81
2024	1.756.47	1.622.75	1.507.95	1.408.32	1.321.04	2074	1.171.31	1.082.14	1.005.59	939.15	880.94
2025	1.767.08	1.632.56	1.517.06	1.416.83	1.329.03	2075	1.152.97	1.065.20	989.84	924.45	867.15
2026	1.775.77	1.640.58	1.524.52	1.423.80	1.335.56	2076	1.134.74	1.048.35	974.19	909.83	853.44
2027	1.782.63	1.646.92	1.530.41	1.429.30	1.340.72	2077	1.116.62	1.031.61	958.63	895.30	839.81
2028	1.787.75	1.651.65	1.534.81	1.433.40	1.344.57	2078	1.098.61	1.014.98	943.18	880.86	826.27
2029	1.791.21	1.654.85	1.537.78	1.436.18	1.347.18	2079	1.080.74	998.46	927.83	866.53	812.83
2030	1.793.11	1.656.60	1.539.41	1.437.70	1.348.60	2080	1.063.00	982.07	912.60	852.30	799.48
2031	1.793.52	1.656.98	1.539.76	1.438.03	1.348.91	2081	1.045.40	965.81	897.49	838.19	786.25
2032	1.792.53	1.656.06	1.538.91	1.437.23	1.348.16	2082	1.027.94	949.69	882.50	824.20	773.12
2033	1.790.20	1.653.91	1.536.91	1.435.37	1.346.41	2083	1.010.64	933.70	867.65	810.32	760.11
2034	1.786.61	1.650.59	1.533.83	1.432.49	1.343.71	2084	993.50	917.86	852.93	796.58	747.21
2035	1.781.83	1.646.18	1.529.72	1.428.66	1.340.12	2085	976.51	902.17	838.35	782.96	734.44
2036	1.775.93	1.640.73	1.524.66	1.423.93	1.335.68	2086	959.70	886.64	823.91	769.48	721.79
2037	1.768.97	1.634.30	1.518.68	1.418.35	1.330.44	2087	943.05	871.26	809.62	756.13	709.27
2038	1.761.01	1.626.95	1.511.86	1.411.97	1.324.46	2088	926.58	856.04	795.48	742.92	696.88
2039	1.752.12	1.618.74	1.504.22	1.404.84	1.317.78	2089	910.28	840.98	781.49	729.86	684.62
2040	1.742.36	1.609.71	1.495.84	1.397.01	1.310.43	2090	894.16	826.09	767.65	716.93	672.50
2041	1.731.77	1.599.93	1.486.75	1.388.52	1.302.46	2091	878.23	811.37	753.97	704.16	660.52
2042	1.720.40	1.589.43	1.476.99	1.379.41	1.293.92	2092	862.48	796.82	740.45	691.53	648.67
2043	1.708.32	1.578.27	1.466.62	1.369.72	1.284.83	2093	846.92	782.44	727.09	679.05	636.97
2044	1.695.57	1.566.49	1.455.67	1.359.50	1.275.24	2094	831.55	768.24	713.89	666.73	625.41
2045	1.682.19	1.554.13	1.444.19	1.348.77	1.265.18	2095	816.36	754.22	700.86	654.56	613.99
2046	1.668.23	1.541.23	1.432.20	1.337.58	1.254.68	2096	801.37	740.37	687.99	642.54	602.72
2047	1.653.74	1.527.84	1.419.76	1.325.95	1.243.78	2097	786.58	726.70	675.29	630.67	591.59
2048	1.638.74	1.513.99	1.406.88	1.313.93	1.232.50	2098	771.97	713.20	662.75	618.96	580.60
2049	1.623.29	1.499.71	1.393.62	1.301.54	1.220.88	2099	757.56	699.89	650.38	607.41	569.77
2050	1.607.42	1.485.05	1.379.99	1.288.81	1.208.94	2100	743.35	686.76	638.18	596.01	559.07
2051	1.591.15	1.470.02	1.366.03	1.275.78	1.196.71	2101	729.33	673.81	626.14	584.77	548.53
2052	1.574.54	1.454.67	1.351.76	1.262.46	1.184.22	2102	715.51	661.04	614.27	573.69	538.14
2053	1.557.61	1.439.03	1.337.23	1.248.88	1.171.48	2103	701.88	648.45	602.57	562.76	527.89
2054	1.540.38	1.423.12	1.322.44	1.235.07	1.158.53	2104	688.45	636.04	591.04	551.99	517.78
2055	1.522.90	1.406.96	1.307.43	1.221.05	1.145.38	2105	675.21	623.81	579.68	541.38	507.83
2056	1.505.18	1.390.60	1.292.22	1.206.84	1.132.05	2106	662.17	611.76	568.48	530.92	498.02
2057	1.487.26	1.374.04	1.276.83	1.192.48	1.118.57	2107	649.32	599.89	557.45	520.62	488.36
2058	1.469.16	1.357.31	1.261.29	1.177.96	1.104.96	2108	636.67	588.20	546.59	510.48	478.84
2059	1.450.90	1.340.45	1.245.62	1.163.32	1.091.23	2109	624.21	576.69	535.89	500.49	469.47
2060	1.432.51	1.323.45	1.229.83	1.148.57	1.077.39	2110	611.94	565.35	525.36	490.65	460.24
2061	1.414.00	1.306.36	1.213.94	1.133.74	1.063.48	2111	599.86	554.19	514.99	480.96	451.16
2062	1.395.41	1.289.18	1.197.98	1.118.83	1.049.49	2112	587.97	543.21	504.78	471.43	442.21
2063	1.376.74	1.271.93	1.181.95	1.103.86	1.035.45	2113	576.27	532.40	494.74	462.05	433.42
2064	1.358.02	1.254.64	1.165.88	1.088.85	1.021.37	2114	564.76	521.76	484.85	452.82	424.76
2065	1.339.26	1.237.31	1.149.78	1.073.81	1.007.26	2115	553.43	511.30	475.13	443.74	416.24
2066	1.320.49	1.219.96	1.133.66	1.058.76	993.14	2116	542.29	501.01	465.57	434.81	407.86
						2117	531.33	490.88	456.16	426.02	399.62

Dünya Bankasının 1960 yılından beri tuttuğu nüfus ve GSH verilerinin artışları ve miktarları üzerinden modelin geçmiş veriler ile doğruluğu sınanmıştır.



Şekil 4.18. Yıllara Göre Dünya GSH Miktarı (85)

Dünya Bankasının 1960-2016 yılları arasındaki verileri ışığında ortalama artış değerleri üzerinden modellenerek GSH artış kontrolü gerçekleştirilmiştir. Dünya Bankası verilerinde GSH 1960 yılında 1.367 Trilyon \$ iken 2016 yılında Şekil 4.18'deki gibi bir artış grafiği ile 75.812 Trilyon \$ seviyesine gelmiştir. GSH'nin artış trendinde olması Dünya popülasyonunun sürekli artan alım gücüne ve kaynak ihtiyacına işaret etmektedir.



Şekil 4.19. Modelde Yıllara Göre Dünya GSH Miktarı

Çalışmada gerçekleştirilen GSH modelinde 1960 başlangıç verisi 1.367 Trilyon \$ olarak alınmış ve model çalıştırılmıştır. Şekil 4.19'daki gibi bir artış grafiği ile 2016 yılında 75.280 Trilyon \$ seviyesine gelmiştir. Model çerçevesinde ulaşılan sonuçların ilgili parametre değerlerindeki değişmelere veya tahmin hatalarına verdiği tepkinin belirlenmesi için yapılan duyarlılık analizinde yüzde 0,7 oranında bir sapma söz konusudur. Duyarlılık analizi, tahmin hatalarından kaynaklanan zaman ve kaynak kaybını önlenmesi açısından önemlidir.

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğal kaynakların kullanımının planlanması, özellikle yenilenemez olanlar için ciddiyle üzerinde durulması gereken bir konudur. Bugün sahip olunan imkan ve ürünlerin gelecekte de var olabilmelerini sağlamak için etkin bir çevre yönetimi gereklidir. Yenilenemez doğal kaynaklar sürdürülebilir bir kullanım ile uzun yıllar insan kullanımına hizmet edebilir. İnsan medeniyetinin bugün gelmiş olduğu noktada günlük hayatı için vazgeçilmez hale gelen tüketim alışkanlıklarının devam edebilmesinde gerekli olan hammaddelerin sürekliliği konusunda belirli bir hassasiyet oluşmuştur.

Bir madenin dünya üzerindeki rezervleri, o madene bağlı üretim yapan endüstri için dolayısıyla da bu endüstrinin ürünlerini kullanan tüketiciler için önemlidir. Bu madeni ikame edecek bir materyal ortaya konamazsa, madenin tükenmesi tüketicinin vazgeçmek istemeyeceği bir ürünün de tükenmesi anlamına gelecektir.

Pek çok kurum ve kuruluş üretimlerinin devamlılığına yön verebilmek, üretim strateji ve politikaları geliştirebilmek için, ülkeler ellerinde bulunan rezervlerden maksimum fayda sağlayabilmek için kritiklik belirlemesi yoluna gitmektedir. Bir materyalin dünya üzerinde ne kadar bulunduğu ve ne kadar süre sonra rezervlerin tükeneceği gibi sorulara cevap arayarak kendi stratejilerine yön verirler. Bu konuda bazı kritiklik analiz yöntemlerine başvurulur. İçerisinde pek çok parametre ve değişken barındıran bir sistemde kritiklik çalışması yapmak ve geleceğe dair tahminlerde bulunmak için sistemi iyi çözümlenmek gereklidir. Bu karmaşık sistem sürekli değişim halinde olduğundan dinamizmini yakalamak oldukça zordur. Gerek Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanan ve iki boyutta kritiklik incelemesi yapan yöntem (55) gerekse T. E. Graedel ve arkadaşları tarafından üç boyutta daha kapsamlı kritiklik analizi yapan yöntem (57) gibi yaklaşımlar sistemin dinamizmini yonteme katmakta yetersiz kalmaktadır. Bu tip çalışmalar, dolaylı olarak ilettikleri dinamiklerin yeterli bir açıklamasını sağlamazlar ve dinamikleri tüm çalışmalarda arz riski, uyum ölçütleri ve farklı ölçeklerdeki etkilerin gecikmesi gibi faktörler arayıcılığıyla zayıf olarak yansıtırlar (59). Bu nedenle böylesi bir kritiklik analizinde sistemi tüm dinamizmi ile ele alınması noktasında sistem dinamiği yaklaşımı önemli bir araç olarak ön plana çıkmaktadır.

Ancak dinamikliği modelleyebilmek için daha kapsamlı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle uzun süreli çalıştırılacak modellerde geçmişe dönük uzun istatistiki veriler geleceğe dönük tahminlerin oluşturulmasında sağlam bir dayanak oluşturacaktır.

Bu çalışmada asıl istenen verilerin gelecek projeksiyonunu oluşturabilmek için nüfus ve GSH gelecek projeksiyonu da oluşturmak gerekmiştir. Dünya Bankasının dünya nüfusunun tutulmaya başlandığı tarihten itibaren doğum ve ölüm oranı ortalamaları verileri üzerinden modelin çalıştırıldığı yüz yıllık süre için nüfus tahminleri oluşturulmuştur. Sadece nüfus tahmininin bile yüz yıllık projeksiyonunun oluşturulması başlı başına ayrı bir araştırma konusudur. Bu çalışmada ortalama doğum ve ölüm oranları üzerinden dünya nüfusu modellenmiştir. Toplam insani tüketime yönelik besin varlığı ve değişimi, doğal afet istatistikleri, savaş ihtimalleri, salgın hastalık oluşma riskleri gibi geniş çaplı verilerin aktarılması ile oluşturulacak bir model farklı bir araştırma konusu olarak çalışılabilir. Sistem sınırları genişletmek daha doğru sonuçlar alınmasına neden olur. GSH tahmin modellemesi de Dünya Bankası ortalama istatistiki verileri üzerinden gerçekleştirilmiş olup, detaylı ekonomik parametrelerin dâhil edildiği bir çalışma ile daha doğru sonuçlar alınabilecektir.

Geçmiş kullanım verileri incelendiğinde uzun vadede bor kullanımının arttığı görülmektedir. Ancak gelecekte kullanım artışının ne düzeyde olacağı noktasında üç farklı senaryo hazırlanmıştır. Dünya bor tüketiminin %85,75'ini gerçekleştiren cam, deterjan, tarım ve seramik sektörlerinde bor mineralinin yavaş difüzyonu, hızlı difüzyonu ve çok hızlı difüzyonu şeklinde hazırlanan senaryolarda farklı rezerv tükenme süreleri, farklı sektörel bor kullanım miktarları ve bor fiyat değerleri elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada her 3 senaryo ayrı ayrı analiz edildiğinde gerçekleşme ihtimali yüksek olan senaryonun yavaş difüzyon gerçekleşen senaryo 1 olacağı görülmektedir. Çünkü bor mineralinin mevcut kullanımının yoğun olarak gerçekleştiği sektörlerde yıllar içinde büyüme gerçekleşse de bor alternatifi hammadde arayışı ve bu konudaki ar-ge çalışmaları ile sektörlerdeki büyüme ile doğru orantılı olarak bor kullanım artışı beklenmemektedir. Yavaş difüzyon gerçekleşen senaryoda yoğun bir rekabet modellenmiştir. Bor mevcut şartlarda tercih edilmesine neden olan özellik ve fiyatlandırmaya sahiptir. Ancak bu fiyat ve

erişilebilirlik özelliklerinin kaybedilmesi ihtimaline karşı farklı ürünlerle ikamesi yönünde çalışmalar da sürdürülmektedir. En çok bor kullanılan sektör olan cam endüstrisinde borsuz cam (boron-free glass) araştırmaları sürdürülmektedir (70). Bu çalışmaların nedeni olarak bor mineralinin insan sağlığı açısından zararlı olduğu yönündeki iddialar gösterilmektedir. Avrupa Birliği Parlamentosu tarafından 18.12.2006 tarihinde kabul edilen ve 01.06.2007 tarihinde yürürlüğe giren bir tüzük olan REACH'e göre Avrupa Birliği tarafından sodyum boratlar, borik asit ve bor trioksit üremeye toksik etkili maddeler olarak sınıflandırılmıştır. Ancak bor mineralinin sağlığa zararlı etkilerinin bulunmadığı 2010 yılında yapılan "Bor Maruziyetinin İnsanların Üreme Fonksiyonu Üzerindeki Toksik Etkilerinin Araştırılması" konulu çalışmada ortaya konmuş ve borların insan üremesi üzerinde olumsuz bir etkisi bulunmadığı saptanmıştır (17). Bu konuda yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Borun çok hızlı difüzyonunun söz konusu olduğu durumda rezervler 2050'li yıllarda, hızlı difüzyonu söz konusu olduğu durumda ise 2060'lı yıllarda tükenmektedir. Yavaş difüzyon senaryosunda ise modelin çalışma aralığı olan yüz yıllık dönemde bilinen rezerv 458.998.926 ton seviyesine, tahmin edilen rezerv ise 57 milyon ton seviyesine gerilemiş fakat tükenmemiştir. Bilinen rezerv artış göstererek 2078 yılında en yüksek miktarı olan 549.646.877 tona ulaşmış bu tarihten sonra düşüşe geçmiştir.

Senaryo 1'de olduğu gibi bor rezervlerinin gelecek yüz yıllık dönemde tükenmesi beklenmemektedir. Rezervlerin düştüğü seviyeye rağmen artan talebi karşılayabilecek düzeyde olması fiyat üzerinde baskı oluşturmamıştır. Bor fiyatları 2030 yılına kadar artarak 1620 dolar/ton B_2O_3 fiyat seviyesinden 1793 dolar/ton B_2O_3 seviyesine gelmiştir. Bu tarihten sonra düşüşe geçerek 2049 yılında 2017 yılı fiyatına dönmüştür. 2117 yılına gelindiğinde 531 dolar/ton B_2O_3 fiyatına kadar gerilemiştir.

Yapılan çalışmada bor mineralinin gelecek projeksiyonunu en yakın şekilde senaryo 1'in ortaya koyduğu ve yakın gelecekte bor fiyatlarında çok büyük değişiklikler olmayacağı kanısına varılmıştır. Uzak gelecekte ise bor fiyatların üçte bir oranında azalma olacağı görülmüştür. Bunda bilinen rezervlerin 2078 yılına kadar artış trendinde olması ve tüketimi karşılayabilecek güçte olması etkilidir. En büyük rezerv sahibi olarak ülkemizin bor odaklı ar-ge çalışmalarını arttırması ve bor mineralinin

etkin kullanıldığı yüksek talep gören ticari ürünler ortaya koyması halinde difüzyon hızının artabileceği öngörülmektedir.

Bor mineralinin %72,9'unun tek bir ülke elinde bulunması diğer ülkeler için bir noktada tedariğinde bağımlı olmak anlamına geldiği için istenen bir durum değildir ve bu durumun ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalar yürütmeleri beklenen bir gelişmedir. Bunun için bor mineralini ikame edecek malzeme ve üretim teknolojilerini geliştirmeleri borun difüzyonunu yavaşlatacaktır. Bor mineralinin daha efektif kullanılması ve katma değerini artıracak çalışmaların, rezervlerin %72,9'una sahip Türkiye dışındaki ülkeler tarafından yapılarak borun stratejik konumunu güçlendirecek ticari kullanımlara dönüştürmeleri beklenmemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Demir, Y., <http://www.hurriyet.com.tr/korkutan-iddia-2040ta-su-rezervleri-yuzunden-turkiyeye-savas-acilacak-40074171> Samsun İHA, **2016**.
- [2] ATO, Bor ve Ötesi Raporu Haberi, <https://www.haberler.com/ato-dan-bor-raporu-yeni-yatirimlarla-ihracatimiz-haberi/> , **2008**.
- [3] Yılmaz, O., <http://www.cumhuriyet.com.tr/haber/diger/347218/Turkiye-de-1000-yil-ye-tecek-bor-var.html> , **2012**.
- [4] ETİ MADEN, *Bor Sektör Raporu*, S.20, **2016**.
- [5] Güyagüller, T., *Türkiye Bor Potansiyeli, 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu* S.18-27 **2001**.
- [6] The Statistics Portal, <https://www.statista.com/statistics/264982/world-boron-reserves-by-major-countries/> , **2017**.
- [7] U.S. Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries*, S.33, **2015**.
- [8] U.S. Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries*, S.39, **2016**.
- [9] Helvacı, C., *Bor Yataklarını İçeren Neojen Havzalarının Jeolojik Özellikleri: Yatakların Genel Değerlendirilmesi Ve Gelecek Öngörüsü*, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, s.173-219, **2015**.
- [10] TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, *Bor Raporu*, **2003**.
- [11] Ünlü, K., *BOR (Bileşikleri, Sentez Yöntemleri, Özellikleri, Uygulamaları)*, BOREN yayınları, İstanbul, **2016**.
- [12] Steinberg, H. ve Brotherton, R.J., *Organoboron Chemistry*, Published by John Wiley and Sons, **1966**.
- [13] ETİ MADEN, *Bor Sektör Raporu*, **2014**.
- [14] **Yenialaca, Ç.**, *Bor Kullanım Alanları*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bilim Dalı, Ankara, **2009**.
- [15] **Roskill Information Services** *Boron: Global Industry Markets and Outlook Thirteenth Edition*, **2015**.
- [16] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN), <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-terminolojisi>, **2017**.
- [17] Yılmaz, O., *10 Soruda Bor* , Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, **2012**.
- [18] TMMOB, *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Bor Raporu*, S.39, **2016**.
- [19] TMMOB, Jeoloji, Kimya, Metalurji Mühendisleri Odaları. *Bor Kitabı Kesk/Esm* **2003**.
- [20] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN), <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-tarihcesi> **2017**.
- [21] Helvacı, C., *Türkiye Borat Yatakları (Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası)*. İzmir : Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, **2004**.

- [22] Yavuz, B., Ergin, E., Koç, Ş., Açık, L., Kadioğlu, Y.K., Koçak, İ., *Bor İçeriği Yüksek Olan Sahalarda Büyüyen Bitki Türlerinin Element Davranışlarına Bir Örnek Kırka Bor Yatağı*, Türk Biyokimya Dergisi, Cilt 34, Özel Sayı 1, **2009**.
- [23] ETİ MADEN, *Bor Sektör Raporu*, **2012**.
- [24] ETİ MADEN, *Bor Sektör Raporu*, **2015**.
- [25] Risk & Policy Analysts. <http://rpald.co.uk/index.shtml> RPA, Norfolk İngiltere, **2016**.
- [26] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN), *Bor Bitkiler İçin Neden Çok Önemli?* **2016**.
- [27] Çelik, B., Erkenekli, M., Şeşen, H., Yılmaz, C., Polat, M., Sığırı, Ü., Tabak, A., *Sistem Dinamikleri*, Detay Yayıncılık, Ankara, **2011**.
- [28] Sistem Dinamikleri Grubu. <http://www.sistemdinamikleri.net/> sistem dinamikleri, **2015**.
- [29] SAYSEL, A.K. Ve BARLAS, Y., *Güneydoğu Anadolu Projesi ve Sürdürülebilir Kalkınma: Dinamik Sistem Modellemesi Yaklaşımı*, Boğaziçi Üniversitesi, **2001**.
- [30] Halıcı, A., *Sistem Yaklaşımı Notları*, Başkent Üniversitesi, **2008**.
- [31] Aydın, İ., *Benzetim ve Modelleme - Kesikli Olay Benzetimi*. **2013**.
- [32] Matloff, N., *Introduction to Discrete-Event Simulation and the SimPy Language*. **2008**.
- [33] TAKO, Antuela A. ve Robinson, S., *Model development in discrete-event simulation and system dynamics: An empirical study of expert modellers*. European Journal of Operational Research, sayı:207, S.784-794 **2010**.
- [34] Salkın, S.C., *Geleneksel ve E-Ticaret Tedarik Zinciri Risk Yönetiminin Sistem Dinamiği Yaklaşımıyla Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, **2014**.
- [35] Stermann, J. D., *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*, The McGraw-Hill Companies, Massachusetts, **2000**.
- [36] Seyhan, O., *Kamu Yönetiminde Etmen Tabanlı Modelleme*, Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Eskişehir, Cilt 14, s.69-86, **2013**.
- [37] Baykasoğlu, A., Durmuşoğlu, Z.D.U. Ve Görkemli, Latife., *Etmen Tabanlı Benzetim: Anylogic Yazılımı ve Örnek Bir Çalışma*, Endüstri Mühendisliği Yazılımları ve Uygulamaları Kongresi, İzmir, S.197-204, **2011**.
- [38] Davidsson, P., Johansson, S.J., Persson, J.A., Wernstedt, F., *Agent-based Approaches and Classical Optimization Techniques for Dynamic Distributed Resource Allocation: A Preliminary Study*, Department of Software Engineering and Computer Science, Blekinge Institute of Technology, Sweden, **2003**.
- [39] Kulkarni, A. J. ve Tai, K., *Probability Collectives: A Multi-Agent Approach For Solving Combinatorial Optimization Problems*, Applied Soft Computing, Singapore, Cilt 10, S.759-771, **2010**.

- [40] Siebers, P.O., Macal, C.M., Garnett, J., Buxton, D., Pidd, M. , *Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation!*, Journal of Simulation, Cilt 4, S.204-210, London, **2010**.
- [41] Rogers, Everett M., *Diffusion Of Innovations (Third Edition)*. Free Press, New York, **1983**.
- [42] Demir, K., *Rogers'in Yeniliğin Yayılması Teorisi ve İnternetten Ders Kaydı*, Educational Administration: Theory and Practice, Sayı 47, S.567-597, **2006**.
- [43] Rogers, Everett M., *Diffusion Of Innovations (Fifth Edition)*. Free Press, New York, **2003**.
- [44] Aykaç, D., Selcen Ö., Eryarsoy, E., Kasap, N., Kervenoael, R.D., *Türkiye'de E-Devlet Hizmetleri İçin Mobil Telefonların Kullanımı*, Sabancı Üniversitesi, BEYKON, **2007**.
- [45] Bass, Frank M., Bass's Basement Research Institute, <http://www.bassbasement.org/BassModel/Default.aspx#Bass1963> **2008, 2009, 2010**.
- [46] Bass Forecasting Tutorial, Marketing Engineering For Excel, **2010**.
- [47] Radas, S., *Diffusion Models in Marketing: How to Incorporate the Effect of External Influence*, , The Institute of Economics, Zagreb, **2005**.
- [48] Investaura Management Consultants, *The Diffusion of Innovation*, <http://www.business-planning-for-managers.com/main-courses/forecasting/the-diffusion-of-innovation/> , **2017**.
- [49] Bulte, Christophe Van den, *Technical Report: Want to know how diffusion speed varies across countries and products? Try using a Bass model*, Visions Magazine, Pennsylvania, **2005**.
- [50] Sultan, F., Farley, J. U. ve Lehmann, D.R., *A Meta-Analysis of Applications of Diffusion Models*. Journal of Marketing Research, Cilt 27, Sayı 1, s.70-77, **1990**.
- [51] Paschalia, D. G., *The Non Linear Bass Diffusion Model on Renewable Energy Technologies in European Countries*, Aristotle Universty of Thessaloniki, Thessaloniki, **2012**.
- [52] Sevüktekin, M., Yılmaz, T. Ve Kara, M., *Başlık Yeni Ürünün Bass Difüzyon Modeli İle Satış Önraporlaması*, Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, sayı 18, s.399-414, **2018**.
- [53] Akçıl, A. ve Ağcasulu, İ., *Kritik Metal: İndiyum ve Atık LCD Monitörlerden Kazanımı*, Recycling Dergisi, Isparta : S.54-59, Mayıs **2015**.
- [54] Ebin, B., *Critical Raw Materials and Recycling: A Review*. Yeni Türkiye, sayı 88, **2016**.
- [55] Report of the Ad hoc Working Group, *Report On Critical Raw Materials For The Eu*, European Comission, **2014**.
- [56] Demirtaş, M., Turan, A., Car, E., Yücel, O., *Kritik Hammaddeler*, Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası, sayı 183, s.28-33, **2017**.

- [57] Graedel, T. E., Barr, R., Chandler, C., Chase, T., Choi, J, Christoffersen, L., *Methodology of Metal Criticality Determination*, Environmental Science & Technology, sayı 46, s.1063-1070, **2011**.
- [58] T. E. Graedel, E. M. Harper, N. T. Nassar, Philip Nuss, Barbara K. Reck, *Criticality of Metals and Metalloids*. Sustainability Science, Cilt 112, sayı 14, s. 4257–4262, **2015**.
- [59] Graedel, T. E and Erdmann, L., *Criticality of Non-Fuel Minerals: A Review of Major Approaches and Analyses*, Environmental Science & Technology, sayı 45, s. 7620-7630, **2011**.
- [60] U.S. Department of Energy, *Critical Materials Strategy*, Washington, **2010**.
- [61] Buchert, M., Schüler, D. ve Bleher, D., *Critical Metals for Future Sustainable Technologies and their Recycling Potential*, Öko-Institut, United Nations Environment Programme, **2009**.
- [62] James S. Thomason, Robert J. Atwell, Ylli Bajraktari, James P. Bell, D. Sean Barnett, Nicholas S.J. Karvonides, Michael F. Niles, Eleanor L. Schwartz, *From National Defense Stockpile (NDS) to Strategic Materials Security Program (SMSP): Evidence and Analytic Support*, Institute For Defence Analyses, **2010**.
- [63] Duclos, S. J., Otto, J. P. ve Konitzer, G., *Design in an Era of Constrained Resources*, Mechanical Engineering, Cilt 132, Sayı 9, s.36-40, **2010**.
- [64] Frondel, M., Grösche, P., Huchtemann, D., Oberheitmann, A., Peters, J., Vance, C., *Trends der Angebots- und Nachfragesituation Bei Mineralischen Rohstoffen*. Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, **2007**.
- [65] Pflieger, P.; Lichtblau, K.; Bardt, H.; Reller, A., *Rohstoffsituation Bayern: Keine Zukunft ohne Rohstoffe. Strategien und Handlungsoptionen*, IW Consult; Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft, **2009**.
- [66] Morley, N. ve Eatherley, D., *Material Security. Ensuring Resource Availability to the UK Economy*, Oakedene Hollins; C-Tech Innovation, **2008**.
- [67] Committee on Critical Mineral Impacts on the US Economy and National Research Council (NRC), *Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy*, The National Academies Press, **2008**.
- [68] Hatayama, H. And Tahara, K., New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), *Criticality Assessment of Metals for Japan's Resource Strategy*, Research Institute of Science for Safety and Sustainability, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, cilt 56, sayı 2, S.229-235 **2009**.
- [69] Buluttekin, M. B., *Bor Maden Ekonomisi: Türkiye'nin Dünya Bor Piyasasındaki Yeri*, 2. Ulusal İktisat Kongresi (DEÜ İİBF İktisat Bölümü), İzmir, **2008**.
- [70] Sundaram, S., *Boron-free glass fibres - the trend for the future?*, Reinforced Plastics, 0034-3617/03, s. 36-40, **2003**.

- [71] The Statistics Portal, <https://www.statista.com/statistics/449795/worldwide-glass-fiber-latent-demand-for-boron-prediction/>, Statista, **2015**.
- [72] Pu, H., Xiaofang, W., Tianshi, W., Lanli, C., Jun, M., Qingyu, K., Siqi, S., Guanglei, C., *Boron Substituted Na₃V₂(P_{1-x}B_xO₄)₃ Cathode Materials with Enhanced Performance for Sodium-Ion Batteries*, Advanced Science, 3,1600112, **2016**.
- [73] İnovatif Kimya Dergisi Editörlüğü, *Enerji depolama teknolojisindeki bir sonraki ilerleme karanlıkta parlayan boya olabilir mi?* İnovatif Kimya Dergisi, **2017**.
- [74] Bor Madeni Kullanım Alanları ve Önemi, <http://muhaz.org/bor-madeni-kullanm-alanlar-ve-onemi.html?page=4>, **2017**.
- [75] **Yakıncı, Z. D. ve Kök, M.**, *Borun Sağlık Alanında Kullanımı*, T.C. İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi, cilt 5, sayı 7 **2016**.
- [76] ETİ MADEN, *Eti Maden Ürün Kataloğu. Etidot-67*, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, **2016**.
- [77] Sivrikaya, H. ve Saraçbaşı, A., *Bor Madeninin Ahşap Koruma Endüstrisinde Değerlendirilmesi*, 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, s.365-372, **2004**.
- [78] ETİ MADEN, <http://www.etimaden.gov.tr/diger/>, Eti Maden Genel Müdürlüğü, **2016**
- [79] Sanayi Genel Müdürlüğü, *Cam Sektörü Raporu (2017)*, T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, **2018**.
- [80] Sanayi Genel Müdürlüğü, *Seramik Sektörü Raporu (2017)*, T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, **2018**.
- [81] Anka Seramik, Genel Katalog, s.170-171, **2017**.
- [82] Seramik Çalışma Grubu, *Onuncu Kalkınma Planı Seramik Çalışma Grubu Raporu (2014-2018)*, T.C. Kalkınma Bakanlığı, **2015**.
- [83] Food And Agriculture Organization of the United Nations, *World Fertilizer Trends and Outlook to 2020 Summary Report*, **2017**.
- [84] Chichakly, K., *Developing a Market Using the Bass Diffusion Model*, <https://blog.iseesystems.com/stella-ithink/bass-diffusion-model/>, www.iseesystems.com, **2010**.
- [85] The World Bank, <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>, World Bank national accounts data, **2017**.
- [86] The World Bank, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL> , World Total Population Data, **2017**.
- [87] The Global Ecology Network, <http://www.ecology.com/birth-death-rates/>, World Birth and Death Rates, **2009**.
- [88] Olivetti, E., Field, F., Kirchain, R., *Understanding Dynamic Availability Risk Of Critical Materials: The Role And Evolution Of Market Analysis And Modeling*, MRS Energy & Sustainability : A Review Journal, cilt 2, s.1-16, **2015**.

- [89] Glöser-Chahoud, S., Espinoza, L. T., Walz, R., Faulstich, M., *Taking the Step Towards a More Dynamic View on Raw Material Criticality: An Indicator Based Analysis for Germany and Japan*, cilt 5-45, s.1-16, **2016**.
- [90] Habib, K. ve Wenzel, H., *Reviewing Resource Criticality Assessment From A Dynamic And Technology Specific Perspective E Using The Case Of Direct-Drive Wind Turbines*, Journal of Cleaner Production, sayı 112, s.3852-3863, **2015**.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Cihan MERMER

Doğum yeri : Fatih / İSTANBUL

Medeni hali : Evli

E-posta : cihanmermer@hotmail.com

Adresi : Etlük Mah. Nurgül Sok. NO:22/20 Keçiören / ANKARA

Eğitim

Lise : Kanuni Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı), 2005

Lisans : Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 2011

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce : Lise ve Üniversitede 1'er yıl İngilizce Hazırlık Eğitimi

İş Deneyimi

ASKİ Laboratuvarları, Stajyer /30 iş günü

Çınar Mühendislik, Stajyer / 30 iş günü

Meriç Mühendislik Ltd. Şti., Çevre Mühendisi/Danışmanı / 9 ay

Ankara Büyükşehir Belediyesi Özel Projeler ve Dönüşüm Dairesi Başkanlığı,
Çevre Mühendisi (Şef) / 6 yıl

Deneyim Alanları

ÇED Raporlama, Çevre Danışmanlığı, İş Güvenliği Çalışmaları, Kentsel Dönüşüm Uygulamaları

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 21/06/2018

Tez Başlığı / Konusu: BOR MİNERALİ KRİTİKLİĞİNİN DİNAMİK DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 98 sayfalık kısmına ilişkin, 21/06/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 7 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Adı Soyadı: Cihan MERMER
Öğrenci No: N13224388
Anabilim Dalı: ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
Programı: Lisansüstü
Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

Tarih ve İmza

21.06.2018

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Öğretim Üyesi

Hatice ŞENGÜL

(Unvan, Ad Soyad, İmza)