

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOL-JEL YÖNTEMİ İLE GÜÇ TUTUŞUR KUMAŞ
ELDESİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN YAŞAM
DÖNGÜSÜ ANALİZİYLE İNCELENMESİ**

Yeşim ÜNVAR

Temmuz, 2018
İZMİR

SOL-JEL YÖNTEMİ İLE GÜÇ TUTUŞUR KUMAŞ ELDESİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİYLE İNCELENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Yeşim ÜNVAR

Temmuz, 2018

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

YEŞİM ÜNVAR, tarafından PROF. DR. AYSUN AKŞİT VE DOÇ. DR. EYLEM KILIÇ yönetiminde hazırlanan “SOL-JEL YÖNTEMİ İLE GÜÇ TUTUŞUR KUMAŞ ELDESİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİYLE İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Aysun AKŞİT


Yönetici

Doç. Dr. Eylem KILIÇ

Yönetici 

Prof. Dr. Merih SARIISIK


Jüri Üyesi

Prof. Dr. Nurdan BÖÜKCANACI

Jüri Üyesi 

Prof. Dr. Hale KARAÇAY

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Latif SALUM

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimden başlayarak, yüksek lisans tez ve proje çalışmalarım boyunca değerli deneyimleri ışığında yol aldığım ve sevgisini her daim hissettiğim sevgili danışmanım Prof. Dr. Aysun AKŞİT’ecanı gönülden sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yaşamıma farklı bir kapı açan, çok değerli bilgi, deneyim ve fikirlerini paylaşarak hızlı ama sağlam adımlarla ilerlememi sağlayan ve motivasyonumu her daim yüksek tutan sevgili ikinci danışmanım Doç. Dr. Eylem KILIÇ’a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans tez çalışmam boyunca çalışmam için temel araç olan GaBi yazılımını sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Nurdan BÜYÜKKAMACI’ya ve süreç boyunca yardımlarını esirgemeyen İlke HEPDURGUN’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca özellikle sol-jel yöntemi ve güç tutuşurluk konularında çok değerleri deneyimlerini paylaşan ve deneysel çalışmalarım sırasında büyük desteğini gördüğüm sevgili arkadaşım Evren SERGİN’e teşekkür ederim. Çalışmamın bir parçası olan viskon kumaşların sağlanmasındaki katkılarından dolayı sevgili arkadaşım Kevser KURU’ya teşekkür ederim.

Zaman ve mekandan bağımsız yoldaşlığı için çok değerli dostum Taylan BAŞKAN’a sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Değerli fikirleri ve birikimiyle aydınlanma yoluma ışık tutan sevgili hocam Prof. Dr. Hasan KARABIYIK’a teşekkürlerimi sunarım. Zor zamanlarımda kitaplarıyla yanımda olan Oruç ARUOBA’ya ve Hakan GÜNDAY’a, teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak yaşamım boyunca varlıklarıyla beni onurlandıran, tez çalışmam boyunca da her zaman dayanağım olankardeşim Simge ÜNVAR’a ve annem Ayşe ÜNVAR’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yeşim ÜNVAR

SOL-JEL YÖNTEMİ İLE GÜÇ TUTUŞUR KUMAŞ ELDESİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİYLE İNCELENMESİ

ÖZ

Bu tez çalışmasının ilk kısmını, daha önce bir yüksek lisans tez çalışması kapsamında gerçekleştirilmiş olan sol-jel yöntemi ile güç tutuşur kumaş eldesine yönelik bir, iki ve üç adımlı kaplama proses koşullarının ve elde edilen kumaşın çevresel etkilerinin incelenmesi oluşturmaktadır. İkinci kısımda anılan çalışmadan alınan sol-jel reçetesinin farklı özellikte pamuklu, keten ve viskon kumaşlara hem standart işlem akışı hem de ön kurutma prosesinin eklenmesiyle elde edilen yeni işlem akışına dayanarak tek adımda uygulanmasının proses dinamiklerine ve çevresel etkilere olan katkısı incelenmiştir.

Çalışma kapsamında sol-jel yöntemi ile güç tutuşur kumaşlar elde edilmiştir. Kumaşların güç tutuşur özellikleri limit oksijen indeksi (LOI) testi ile belirlenmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen kütle ve enerji verileri çevresel etkilerin değerlendirilmesi amacıyla bir metrekaare güç tutuşur kumaş üretimiyle ilişkilendirilmiştir. Yaşam döngüsü analizi yöntemi GaBi 6 (Thinkstep) yazılımı ve veri tabanı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve potansiyel çevresel etkiler, Leiden Üniversitesi Çevre Bilim Merkezi'nin geliştirmiş olduğu CML2001 karakterizasyon faktörleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, kaplama sayısı arttıkça güç tutuşur özelliğin ve ilişkili çevresel etkilerin arttığını göstermiştir. Öte yandan, pamuk, keten ve viskon kumaşların ön kurutma prosesine tabi tutulması ile kumaşların güç tutuşurluk özellikleri artırılmıştır. Ancak ön kurutma prosesi ile enerji tüketimi arttığından, enerji tüketimi ile ilişkili çevresel etki değerlerinde de artış görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Sol-jel yöntemi, güç tutuşurluk, yaşam döngüsü analizi, selülozik kumaş

INVESTIGATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF FLAME RETARDANT FABRICS OBTAINED VIA SOL-GEL METHOD BY LIFE CYCLE ASSESSMENT

ABSTRACT

The first part of this dissertation is composed of investigation of the coating process conditions with one, two and three layers of flame retardant coating and its environmental impacts that of the flame retardant fabric with the sol-gel method within an exist master thesis. In the second part, the contribution to the process dynamics and environmental impacts of applying the sol-gel recipe, which is taken from the above-mentioned study, to the cotton, linen and viscose fabrics with different properties in a single step based on the new process flow obtained by adding both the standard process flow and the pre- drying process is examined.

In the scope of the study, flame retardant fabrics were obtained by sol-gel method. The flammability properties of fabrics were determined by the limit oxygen index (LOI) test. Mass and energy data obtained from experimental studies have been associated with the production of one square meter of flame retardant fabric in order to evaluate the environmental impacts. Life cycle analysis was performed using GaBi 6 (Thinkstep) software and database, and the potential environmental impacts were assessed using CML 2001 characterization factors developed by Leiden University Environmental Science Center.

The results show that as the number of coatings increases, the flammability and associated environmental impacts increase. On the other hand, when the cotton, linen and viscose fabrics were subjected to the pre-drying process, the flammability properties of the fabrics have been increased. However, due to increased energy consumption at the pre-drying process, energyassociated environmental impacts also were increased.

Keywords: Sol-gel method, flame retardancy, life cycle analysis, cellulosic fabric

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Güç Tutuşurluk.....	1
1.1.1 Tekstil Yüzeylerinde Güç Tutuşurluk Özelliğinin Önemi	1
1.1.2 Güç Tutuşurluk Mekanizması.....	2
1.1.3 Güç Tutuşur Maddeler	3
1.1.4 Güç Tutuşurluk Eldesinde Sol-Jel Yöntemi	5
1.2 Yaşam Döngüsü Analizi.....	8
1.2.1 Yaşam Döngüsü Analizinin Gelişim Süreci	9
1.2.2 Yaşam Döngüsü Analizi Metodolojisi	11
1.2.2.1 Amaç ve Kapsam Tanımı.....	11
1.2.2.2 Envanter Analizi.....	12
1.2.2.3 EtkiDeğerlendirmesi	13
1.2.2.4 Yorumlama.....	15
1.3 ÖncekiÇalışmalar	16
1.3.1 Yaşam Döngüsü Analizinin Tekstil Endüstrisine Uygulanması ve Önemi	16
1.3.1.1 Yaşam Döngüsü Analizinin Tekstil Üretimine Uygulanmasıyla İlgili Çalışmalar	17
1.3.1.2 Yaşam Döngüsü Analizinin Güç Tutuşur Malzeme Üretimine Uygulanmasıyla İlgili Çalışmalar	21

BÖLÜM İKİ - MATERYAL VE YÖNTEM..... 23

2.1 Güç Tutuşur Kumaş Eldesi	23
2.1.1 Materyal.....	23
2.1.2 Nanosol Eldesi	25
2.1.3 Alınan Madde Miktarının Artırılması.....	25
2.1.3.1 Alınan Flotte Miktarının Artırılması	26
2.1.3.2 Tekrarlı Kaplamalar Yapılması.....	26
2.1.3.3 Çapraz Bağlanmanın Artırılması	27
2.1.4 Sol-Jel Güç Tutuşurluk İşlemi	30
2.1.5 Güç Tutuşurluk Değerlendirmesi	31
2.1.6 Proses Koşullarını Etkileyen Faktörlerin Değerlendirilmesi	31
2.2 Yaşam Döngüsü Analizi.....	33
2.2.1 Amaç ve Kapsam Tanımı	33
2.2.2 Sistem ve Sistem Sınırları.....	34
2.2.3 Envanter Analizi	37
2.2.4 Etki Değerlendirmesi	47

BÖLÜM ÜÇ - SONUÇLAR VE TARTIŞMA..... 48

3.1 Güç Tutuşur Kumaş Eldesine İlişkin Bulgular	48
3.1.1 Sol-Jel Kaplama Sayısına Yönelik Güç Tutuşurluk Bulguları (Sistem I).....	48
3.1.2 Nemli (Sistem II) ve Ön Kurutmalı (Sistem III) Kumaşlara Yönelik Güç Tutuşurluk Bulguları	49
3.1.2.1 Nem Kaybı (%)	49
3.1.2.2 Ön Kurutmanın Alınan Madde Miktarına Etkisi	49
3.1.2.3 LOI (%) Değerleri	50
3.2 Yaşam Döngüsü Analizine Yönelik Bulgular	54
3.2.1 Sol-Jel Kaplama Sayısına Yönelik Çevresel Etkiler (Sistem I)	54
3.2.2 Nemli (Sistem II) ve Ön Kurutmalı (Sistem III) Kumaşların Sol-jel Kaplamalarına Yönelik Çevresel Etkiler.....	57
3.2.2.1 Küresel Isınma Potansiyeli.....	57

3.2.2.2 Abiyotik Kaynakların Tükenim Potansiyeli.....	62
3.2.2.3 Ozon Tükenim Potansiyeli.....	65
3.2.2.4 Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli.....	69
3.2.2.5 Temiz Su Ekotoksisite Potansiyeli.....	71

BÖLÜM DÖRT-SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER.. 74

KAYNAKLAR	78
------------------------	-----------



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Tekstil polimerinin yanma prosesi ve güç tutuşur etki mekanizmaları	3
Şekil 1.2 Güç tutuşur bileşikler ve etki fazları	4
Şekil 1.3 Sol-jel prosesi	5
Şekil 1.4 Üç temel kategori altında yeşil kimyanın on iki ilkesi	7
Şekil 1.5 Yaşam döngüsü analizi yöntemi	8
Şekil 1.6 ISO 14040 standardına göre yaşam döngüsü analizi çerçevesi	11
Şekil 1.7 Amaç tanımına örnek	12
Şekil 1.8 Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi adımları	15
Şekil 2.1 Pamuk, keten ve viskon kumaşlar	23
Şekil 2.2 Bir selüloz molekülünde suyun hidrojen köprüleriyle hidroksil gruplarına bağlanması	27
Şekil 2.3 Selüloz liflerinin kuru ve yaş yapısı	28
Şekil 2.4 Nanosol eldesi ve kumaşlara aktarılması	31
Şekil 2.5 Yaşam döngüsü analizinde karşılaştırılan Sistem I, Sistem II ve Sistem III	35
Şekil 2.6 Sistem I bir, iki ve üç adımlı kaplamalar için sistem sınırları	36
Şekil 2.7 Sistem II nemli kumaşlar için sistem sınırları	36
Şekil 2.8 Sistem III ön kurutmalı kumaşlar için sistem sınırları	37
Şekil 2.9 Sistem I üç katlı sol-jel kaplama envanter analizi	39
Şekil 2.10 Sol-jel reçetesi madde girdilerinin dağılımı	46
Şekil 2.11 Türkiye elektrik enerjisi şebeke karışımı (GaBi veritabanı)	47
Şekil 3.1 Bir, iki ve üç katlı sol-jel uygulamaları için alınan madde miktarları ve LOI değerleri	48
Şekil 3.2 Nemli ve ön kurutmalı kumaşlar için alınan madde miktarları (%)	49
Şekil 3.3 Nemli ve ön kurutmalı kumaşların LOI (%) değerleri	50
Şekil 3.4 Ön kurutmalı proseslerde nem kaybına karşılık alınan madde miktarı ve LOI değeri artışları	53
Şekil 3.5 Sol-jel kaplama sayısına göre ortaya çıkan çevresel etkiler	55

Şekil 3.6 Tek kat sol-jel kaplama için sistem girdilerin çevresel etki kategorilerine göreli katkıları	56
Şekil 3.7 Sistem II için küresel ısınma potansiyeli	58
Şekil 3.8 KIP kategorisinde Sistem II nanosol eldesi prosesinin madde ve enerji girdilerinin dağılımı	59
Şekil 3.9 Sistem III için küresel ısınma potansiyeli	60
Şekil 3.10 KIP kategorisinde Sistem III nanosol eldesi prosesinin madde ve enerji girdilerinin dağılımı	61
Şekil 3.11 Sistem II için abiyotik kaynakların tükenim potansiyeli	62
Şekil 3.12 AKTP kategorisinde Sistem II madde ve enerji girdilerinin dağılımı	63
Şekil 3.13 Sistem III için abiyotik kaynakların tükenim potansiyeli	64
Şekil 3.14 AKTP kategorisinde Sistem III madde ve enerji girdilerinin dağılımı	65
Şekil 3.15 Sistem II için ozon tükenim potansiyeli	66
Şekil 3.16 OTP kategorisinde Sistem II madde ve enerji girdilerinin dağılımı	67
Şekil 3.17 Sistem III için ozon tükenim potansiyeli	68
Şekil 3.18 Sistem III OTP kategorisinde madde ve enerji girdilerinin dağılımı	69
Şekil 3.19 Sistem II fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli	70
Şekil 3.20 Sistem III fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli	70
Şekil 3.21 Sistem II temiz su ekotoksisite potansiyeli	71
Şekil 3.22 Sistem II TSETP kategorisinde madde ve enerji girdilerinin dağılımı	72
Şekil 3.23 Sistem III temiz su ekotoksisite potansiyeli	72
Şekil 3.24 Sistem III TSETP kategorisinde madde ve enerji girdilerinin dağılımı ...	73

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Yangın istatistikleri.....	1
Tablo 1.2 Çevresel etki kategorileri.....	13
Tablo 2.1 Kumaş özellikleri.....	24
Tablo 2.2 Cihaz özellikleri.....	24
Tablo 2.3 Sol-jel reçetesi.....	25
Tablo 2.4 Nanosolün kumaşlara aktarılmasında uygulanan işlem koşulları.....	30
Tablo 2.5 Ön kurutma, nanosol eldesi, kaplama, kurutma ve fiksaj prosesleri için enerji tüketimleri.....	38
Tablo 2.6 Sistem I kaplama sayısına göre nanosol eldesi prosesi envanter tablosu ..	40
Tablo 2.7 Sistem I sol-jel kaplama sayısına göre kaplama, kurutma ve fiksaj prosesleri envanter tablosu.....	41
Tablo 2.8 Sistem II nanosol eldesi prosesi envanter tablosu	42
Tablo 2.9 Sistem II kaplama, kurutma ve fiksaj prosesleri envanter tablosu	43
Tablo 2.10 Sistem III ön kurutma ve nanosol eldesi prosesleri envanter tablosu.....	44
Tablo 2.11 Sistem III kaplama, kurutma ve fiksaj prosesleri envanter tablosu	45
Tablo 4.1 Sol-jel yöntemiyle güç tutuşur kumaş eldesinde çevresel etki kaynakları ve iyileştirme önerileri.....	75

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Güç Tutuşurluk

Dünya Sağlık Örgütü'nün (1997) tanımına göre güç tutuşurluk “doğal olarak veya yapısına kimyasal madde eklenmesi veya kimyasal maddeyle muamele edilmesi yoluyla alev yayılmasını önleyen, azaltan veya geciktiren malzeme özelliği”dir.

1.1.1 Tekstil Yüzeylerinde Güç Tutuşurluk Özelliğinin Önemi

Avrupa Yangın Güvenliği Örgütü (Fire Safe Europe), Amerika Ulusal Yangın Koruması Örgütü (NFPA)¹ ve Uluslararası İtfaiye ve Kurtarma Servisi Örgütü'nün (CTIF)² yayınlamış olduğu yangın istatistiklerine ait bazı veriler Tablo 1.1'de verilmiştir. CTIF verilerine göre 2016 yılında dünya genelinde çıkan üç milyonu aşkın yangın yaklaşık 18.000 kişinin ölümüne ve 58.000 kişinin yaralanmasına sebep olmuştur.

Tablo 1.1 Yangın istatistikleri

Yangın Kurtarma Servisleri	Avrupa Yangın Güvenliği Örgütü	Amerika Ulusal Yangın Koruması Örgütü	Uluslararası İtfaiye ve Kurtarma Servisi Örgütü
Temel alınan yıl	Yıllık ortalama	2016	2016
Kişi sayısı	740.4000.000	323.400.000	1.145.626.000
Yangın sayısı	2.000.000	1.342.000	3.040.342
Yangın ölümleri	4000	3390	18.050
Yangın yaralanmaları	70.000	14.650	58.622
Ekonomik zarar	126 milyar €	10,6 milyar \$	-

¹National Fire Protection Association

²Comité Technique International de prevention et d'extinction de Feu (International Association of Fire and Rescue Services)

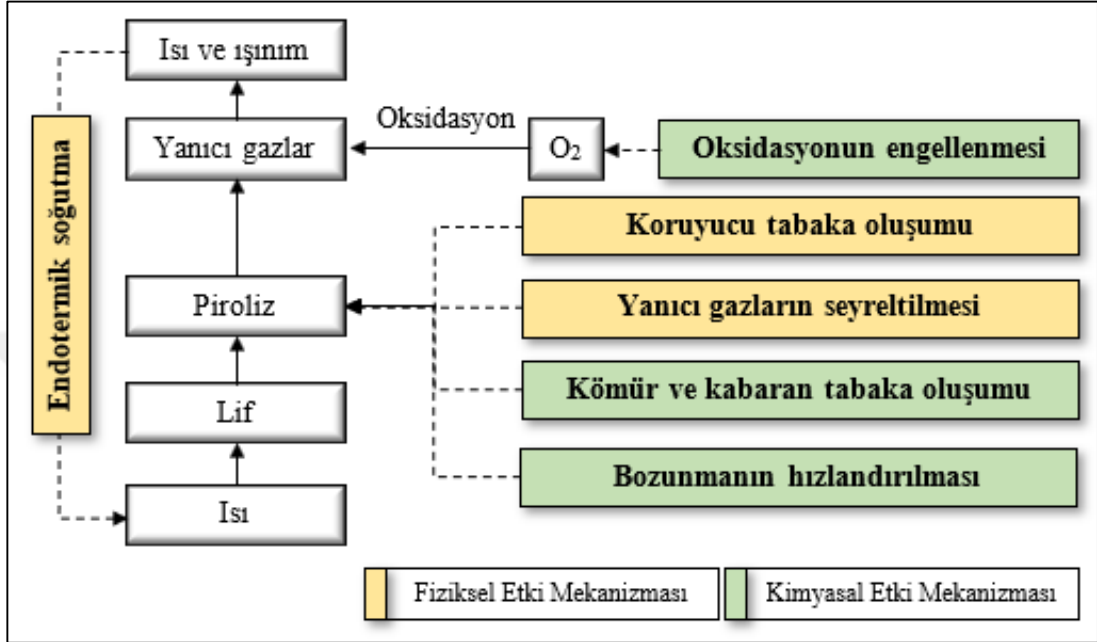
Hafiflik ve işleme kolaylığı ile sayısız uygulamada ve en zorlu koşullar altında kullanılan polimerik malzemelerin, modern yaşamın kalitesine ve insan uygarlığının ilerlemesine büyük ölçüde katkıda bulundukları somut bir gerçektir (Kiliaris ve Papaspyrides, 2014). Ancak, NFPA'nın yangın nedenleriyle ilgili yayınladığı tüm raporlarda neredeyse her zaman ilk tutuşan ya da yangının yayılmasına neden olan malzemelerin polimerik malzemeler olduğu görülmektedir (NFPA, 2018). Çıkan yangınların çok büyük bir kısmını ev yangınları oluşturmaktadır ve çıkan bu yangınlarda tekstil içeren diğer malzemeler hesaba katılmaksızın doğrudan tekstillerin (giysi, yatak, çarşaf, perde ve halı gibi) kendi başına %27 paya sahip olduğu görülmektedir (Ahrens, 2014). Tekstillerin yarattığı bu büyük tehlike, organik yapıda olmalarının yanı sıra tekstil liflerinin geniş yüzey alanına sahip olmasının ve atmosferik oksijene erişim kolaylığının bir sonucudur (Bourbigot, 2008; Price ve Horrocks, 2013). Sonuç olarak, toplumun ve çevrenin yangının doğrudan ve dolaylı zararlarından korunması için tekstillerin güç tutuşur özellikte olmasının yaşamsal açıdan ihmal edilemez bir önemi vardır.

1.1.2 Güç Tutuşurluk Mekanizması

Yanma,(1) oksijen/yakıtın uygun stekiyometrik oranı ve (2) polimerin bozunması için yeterli ısı şartları sağlandığında gerçekleşen ekzotermik bir prosestir (Laotid, Boonaud, Alexandre, Lopez-Cuesta ve Dubois, 2009). Isıl zorlamaya maruz kalan polimer, piroliz sıcaklığına ulaşınca parçalanır ve yanıcı uçucu ürünler oluşur, bunlar oksijenle karışır ve yanar. Bu yanma daha fazla ısı açığa çıkarır ve polimerin yanmamış kısımlarına yeniden yayılır, yanma için gerekli şartlar ortadan kalkana dek yanma döngüsü devam eder (Schindler ve Hauser, 2004;Morgan ve Gilman, 2013).

Güç tutuşurluk, temelde, *yanma prosesinin fizik ve kimyasına müdahaledir*. Şekil 1.1'de hem yanma hem de güç tutuşurluk mekanizmaları verilmiştir. Fiziksel etki mekanizmasında, endotermik reaksiyonlarla malzeme soğutulur, koruyucu tabaka oluşumuyla polimere giden ısı ve oksijen akışı ile gaz faza giden yakıt akışı engellenir, su buharı ya da karbon dioksit salınarak serbest radikaller seyreltilir (Hull ve Kandola, 2009).

Kimyasal etki mekanizmasında, gaz fazında radikallerin oluşumu engellenir, katı fazda kömürleşme ile yalıtım tabakası oluşturulur, malzemenin bozunması hızlandırılarak alevden çekilmesi sağlanır (Leisewitz, Kruse ve Schramm, 2001).



Şekil 1.1 Tekstil polimerinin yanma süreci ve güç tutuşur etki mekanizmaları (Horrocks ve Anand, 2000; Horrocks ve Price, 2001; Hull ve Kandola, 2009'dan yararlanılarak çizilmiştir.)

1.1.3 Güç Tutuşur Maddeler

Güç tutuşur maddeler tek bir karakteristiğe indirgenerek tanımlandığında (1) organik/inorganik oluşu, (2) belirli bir element ya da element grubunun varlığı (fosfor, azot, halojen vb. gibi), (3) aditif/reaktif oluşu, (4) ait olduğu kimyasal yapı tipi (asit, baz vb. gibi), (5) etki mekanizması (kimyasal veya fiziksel), (6) yıkama dayanımı gibi bilinen en az altı sınıf bulunmaktadır (Kandola, Horrocks, Price ve Coleman, 1996). Güç tutuşur maddeler, çalışmanın kapsamına uygun olması ve genel çerçeveyi sergilemesi bakımından güç tutuşurluğu sağlayan merkezi elementler ve bu elementlerin etki mekanizması üzerinden verilmiştir. Literatürde güç tutuşur olduğu bildirilen elementler Şekil 1.2'de görülmektedir. Periyodik tablo üzerindeki renklendirmeler, güç tutuşur etki gösteren elementin, baskın güç tutuşur mekanizmasını temsil etmektedir. Bazı elementler birden fazla etki mekanizmasına

sahiptir. Örneğin fosfor hem katı fazda hem de gaz fazında etki göstermektedir ve iki renkli olarak verilmiştir (Morgan, Cusack ve Wilkie,2014).

1	H																							2	He
3	Li	Be																							
11	Na	Mg																							
19	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr							
37	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe							
55	Cs	Ba	Lantanoidler	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn							
87	Fr	Ra	Aktinoidler	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og							

Endotermik soğutma
Katı faz
Gaz fazı

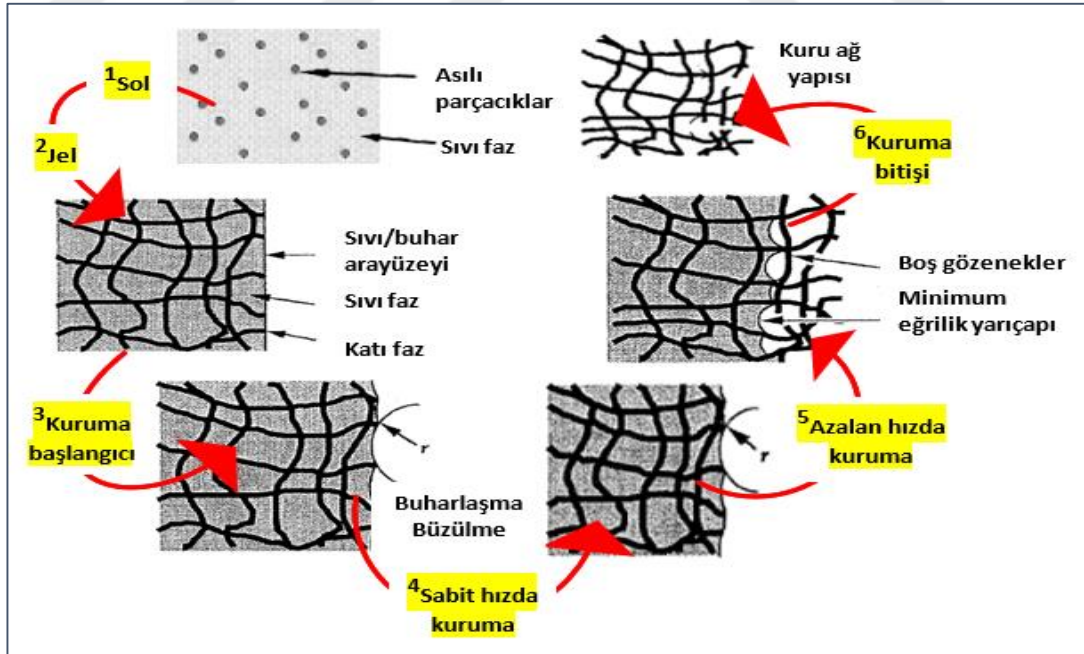
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Şekil 1.2 Güç tutuşur bileşikler ve etki fazları (Morgan ve diğer., 2014'ten ve IUPAC, 2016'dan yararlanılarak yeniden çizilmiştir)

En etkili ve uygun maliyetli güç tutuşur maddeler halojen esaslıdır (Innes ve Innes, 2003), ancak bunlar tamamlanmamış yanma sonucunda son derece zehirli ve aşındırıcı yanma gazları üreterek insan ve çevre sağlığına önemli ölçüde tehdit oluşturmaktadır (Papasparyides ve Kiliaris, 2014; Visakh ve Arao, 2015). Bunun yanında, kimyasal yapısına veya çevresel sorunlarla olan bağlantılarına bakılmaksızın, tüm halojen içeren maddeler üzerinde “tamamen yasaklama” ilan edilmesi, son on beş yılda sabit bir eğilim halinde üreticilerin satın alma politikalarını halojen içermeyen güç tutuşur maddelere yönlendirmiştir. Bu da özellikle fosfor (P), azot (N), silisyum (Si) ve bor (B) esaslı sistemleri, yeşil kimya kavramına uygun çevre dostu alternatiflerin geliştirilmesi noktasında ilgi odağı haline getirmiştir (Morgan ve diğer., 2014).

1.1.4 Güç Tutuşurluk Eldesinde Sol-Jel Yöntemi

Sol, boyutu 1 μm 'den küçük olan asılı parçacıkların dağılmış bir fazı ve süspansiyon ortamı olan sıvının sürekli bir fazı olmak üzere en az iki fazdan oluşan sıvı kollodial sistemdir. Asılı parçacıkların boyutu için 1 μm sınırı, sistemin Brown hareketi ile yönetildiği ve dolayısıyla Van der Waals etkileşimleri ve yüzey yükleri gibi kısa menzilli kuvvetlerin baskın olduğu anlamına gelmektedir (Brinker ve Scherer, 1990). Bu boyutun ötesinde yer çekimi kuvveti kısa menzilli kuvvetler üzerinde baskın hale gelmeye başlamakta ve asılı parçacıkları çökmeye zorlamaktadır. Dolayısıyla bir sol, katı fazın çökmesini gözlemlemeden önce uzun bir süre boyunca kararlı kalmalıdır (Innocenzi, 2016). Jel, sürekli bir sıvı fazı kapsayan sürekli bir iskelet içeren bir maddedir (Brinker ve Scherer, 1990). Dolayısıyla jel, sıvının katı bir ağ içinde tutulduğu ve katı fazın genişlemesinden sorumlu olduğu durumu ifade etmektedir. Şekil 1.3'te verilen sol-jel prosesi ise IUPAC³'ün tanımına göre “sıvı başlatıcının/başlatıcılarının sola, jele ve çoğu durumda nihayet kuru bir ağa sürekli bir değişimi ile çözeltiden ağ oluşumu prosesisidir” (Aleman ve diğer., 2007).



Şekil 1.3 Sol-jel prosesi (Brinker ve Scherer, 1990'dan yararlanılarak çizilmiştir)

³International Union of Pure and Applied Chemistry (Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği)

Sol-jel prosesi fikri, moleküler başlatıcı olarak metal alkoksitlerin *çok geniş bir pH aralığında ve oda sıcaklığında* hidroliz ve kondenzasyon tepkimelerine yönelik olarak hidro-alkolik ortamdaki reaktivliklerinden faydalanmaya dayanmaktadır. Sol-jel tekniği, parçacıklar, ince filmler, kaplamalar⁴, lifler vd. nanomalzemeler için aşağıdan yukarıya yaklaşımlar arasında önemli bir sıvı-faz üretim tekniği olarak ortaya çıkmaktadır ve tekniğin dünya çapındaki başarısı işleme açısından çok yönlülüğüne atfedilmektedir (Baccile, Babonneau, Thomas ve Coradin, 2009).

Sol-jel yöntemi 1950'lerden beri bilinmesine rağmen tekstillerde güç tutuşurluk eldesine yönelik uygulamaları oldukça yenidir (Alongi, Carosio ve Malucelli, 2014). Son zamanlarda, geleneksel kaplamalara göre daha az kimyasal tüketimi ile daha etkili, dayanıklı güç tutuşur kaplamalar sunması ve en önemlisi çevresel etkileri azaltma potansiyeli nedeniyle sol-jel nano kaplamaların kullanımına ilgi artmaktadır (İsmail, 2016). Sol-jel türevli hibrid yapılar polimer substratını (1) çevreden gelen ısıyı emmek, (2) oksijen ve ısı transferine fiziksel bir engel oluşturmak, (3) polimerin daha fazla bozunmasını besleyen uçucu türlerin oluşumunu engellemek ve (4) kömür oluşumunu desteklemek yoluyla korumaktadır. Ancak etkili bir güç tutuşurluk eldesi yalnızca oksidik türlerle değil, bunların fosfor ve/veya azot gibi aktif türlerle bir arada kullanılmasıyla sağlanmaktadır (Alongi ve Malucelli, 2012). Güç tutuşurluk eldesinde sol-jel yönteminin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- **Daha az madde girdisi:** Konvansiyonel yöntemlerde kullanılan yüksek kimyasal konsantrasyonu (yaklaşık 300-500 g/l) önemli ölçüde azaltılabilmektedir (Cireli ve diğer., 2007; Blackburn, 2009). Kaplama kalınlığı 1 µm'den az olduğu için nanosol tüketimi de az olmaktadır (Mahltig, Haufe ve Böttcher, 2005).
- **Yüksek kaplama kalitesi:** Moleküler düzeyde, homojen ve yüksek kalitede nano kaplamalar elde edilebilmektedir (Alongi, Ciobanu, Tata, Carosio ve Malucelli, 2011).
- **Uygulama kolaylığı:** Çoğunlukla özel ekipman gerektirmeksizin tekstil terbiye işlemleri için kullanılan konvansiyonel makinalarda, oda sıcaklığında ve ortam

⁴ Bu tez çalışması boyunca kullanılan "kaplama" terimi aksi belirtilmedikçe sol-jel nano kaplamayı ifade etmektedir.

basıncında nanosol hazırlanabilmekte ve doğrudan kumaş üzerinde kaplama yapılabilmektedir (Mahltig, Haufe ve Böttcher, 2005; Malucelli, 2016).

- **Tek adımda çok işlevli kaplamalar:** Konvansiyonel yöntemlerde kimyasalların birbiriyle uyumsuzluğu nedeniyle tek adımda gerçekleştirilemeyen çok işlevli kaplamalar tek adımda yapılabilmektedir (Onar, Aksit, Sen ve Mutlu, 2011; Çamlıbel ve Arık, 2017).
- **Çok yönlülük:** Sol-jel teknolojisiyle hazırlanan kaplamalar, çok sayıda ve çeşitli malzemelerle birleştirilebilmekte, tekstil materyallerinin modifiye edilmiş sollarla kaplanması için çeşitli yaklaşımlar uyarlanabilmekte ve farklı güç tutuşurluk mekanizmaları sağlanabilmektedir (Mahltig ve Textor, 2008; Baccile ve diğer., 2009).
- **Düşük çevresel etki:** Sol-jel teknolojisi, tekstilde çevre dostu güç tutuşur kaplamaların üretimi için yeni bir yaş-kimyasal yöntemdir (Liang, Neisius ve Gaan, 2013) ve çevre dostu yeşil kimya olarak değerlendirilmektedir. Anastas ve Warner (2000) tarafından geliştirilen “*yeşil kimyanın on iki ilkesi*” olarak bilinen kavramlar Şekil 1.4’te üç temel kategori altında bir araya toplanmıştır. Atom ekonomisi ve gerçek zamanlı izleme başlıklarında yeterli bilgi olmasa da sol-jel kimyası alanında her üç kategorinin de ele alındığı bilinmektedir (Baccile ve diğer., 2009).

Atık-Geri Dönüşüm	Sağlık	İşleme ve Enerji
1-Önleme	2-Atom ekonomisi	5-Daha güvenli çözücüler
4-Güvenli kimyasallar	3-Daha az tehlikeli sentezler	7-Yenilenebilir hammaddeler
5-Daha güvenli çözücüler	8-Türevlerin azaltılması	9-Kataliz
6-Enerji verimliliği	12-Kaza önleme için güvenli kimya	11-Gerçek zamanlı analiz
7-Yenilenebilir hammaddeler		
10-Yaşam döngüsü sonu		

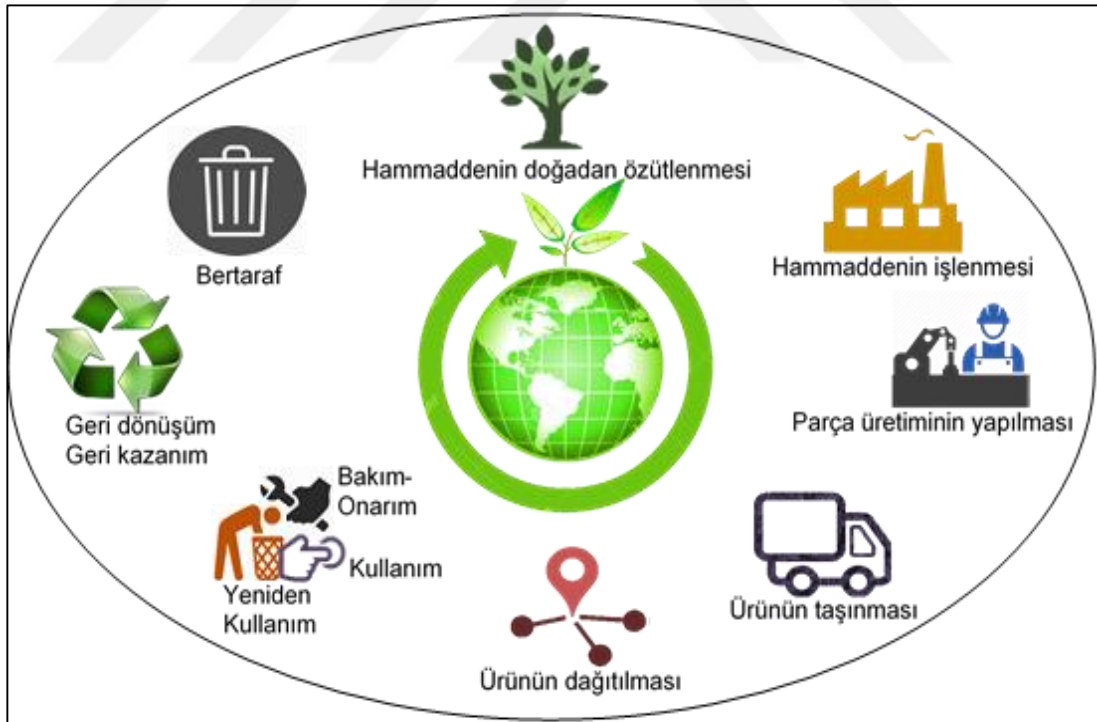
Şekil 1.4 Üç temel kategori altında yeşil kimyanın on iki ilkesi (Baccile ve diğer., 2009)

Sonuç olarak, konvansiyonel yöntemlere kıyasla sol-jel prosesinin, çevre dostu bileşiklerin etkin şekilde kullanımına, bunların kullanımının da var olan güç tutuşur maddelere kıyasla çevre üzerindeki zararlı etkilerin azaltılmasına ve sürdürülebilir bir güç tutuşur tekstil üretim sistemine olanak tanıdığı yönünde güçlü eğilimler mevcuttur.

1.2 Yaşam Döngüsü Analizi

Yaşam döngüsü analizinin (YDA) en çok kabul gören ve bilinen tanımılaması Consoli ve diğer. (1993) tarafından şu şekilde yapılmıştır ve tanıma ilişkin gösterim Şekil 1.5'te çizilmiştir:

Yaşam Döngüsü Analizi bir ürün, proses veya aktiviteyle ilintili olan çevresel yüklerin, kullanılan enerji ve materyalleri tanımlayarak ve miktarını ölçerek, kullanılan bu enerji ve materyallerin ve çevreye yapılan salınımların etkilerinin değerlendirilmesini ve çevresel iyileştirme sağlayacak olanakların uygulanması ve değerlendirilmesini sağlayan nesnel bir procestir. Değerlendirme ürünün, prosesin veya aktivitenin tüm yaşam döngüsünü; hammaddelerin doğadan özütlenmesini, işlenmesini; üretimini, ürünün ulaştırılmasını ve dağıtılmasını; kullanımını, tekrar kullanımını, bakımını, onarımını; geri kazanımını ve nihai bertarafını kapsamaktadır (Consoli ve diğer. 1993).



Şekil 1.5 Yaşam döngüsü analizi yöntemi

1.2.1 Yaşam Döngüsü Analizinin Gelişim Süreci

YDA'nın gelişim sürecini, erken dönem (kavram yılları ve standardizasyon dönemi) ve geç dönem (detaylandırma dönemi) olarak iki ana döneme ayırarak incelemek mümkündür.

Kavram yılları (1970-1990): Altmışlı yılların sonuna doğru ortaya çıkan enerji krizinin, hammadde eldesinden atık yönetimine kadar tüm aşamalarda enerji tüketiminin azaltılmasını gerektirmesi ile birlikte “ürünün yaşam döngüsü” kavramı ortaya çıkmıştır (Kılıç, 2010). Erken dönem YDA'ların kurgusu kirlilikten ziyade enerji tasarrufu ve kaynakların korunmasına yöneliktir (Klopffer, 2014). YDA olarak bilinen ilk çalışma, 1969 yılında Coca Cola firması için Midwest Araştırma Enstitüsü tarafından Kaynak ve Çevresel Profil Analizi adıyla yürütülmüştür (Guinee ve diğer., 2011). Bu dönemde, yalnızca piyasa talebini karşılamak için firmalar tarafından yapılan, uluslararası tartışma ve fikir alışverişinden yoksun çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların amaçları aynı olsa bile ortaya çıkan bambaşka sonuçlar, YDA'nın daha genel olarak kabul edilmiş ve uygulanmış bir analitik araç olmasını engellemiştir (Guinee, Udo de Haes ve Huppes, 1993). Bununla beraber günümüzde hala kullanılan birçok tanınmış yaşam döngüsü etki değerlendirme yöntemi bu dönemde EMPA⁵, BUWAL⁶ ve CML⁷ gibi farklı kuruluşlar tarafından geliştirilen yöntemlerden evrilmiştir (Kılıç, 2010; Guinee ve diğer., 2011).

Standardizasyon Dönemi (1990-2000): Doksanlı yıllarda dikkat çekici ölçüde bilimsel büyüme ve SETAC⁸'in önderliğinde koordinasyon oluşumları görülmüştür ve YDA ile ilgili ilk rehber ve kitaplar yayınlanmıştır. YDA uygulayıcılarının, kullanıcılarının ve bilim insanlarının bir araya getirildiği bu süreçte SETAC o zamana dek oluşan farklı metotların birleştirilmesi ve geliştirilmesini, ISO⁹ ise metot ve prosedürlerin standardizasyon çalışmalarını üstlenmiştir. ISO, YDA standartlarının

⁵ Eidgenössische Materialprüfungs und Forschungsanstalt (İsviçre Federal Materyal Analizi ve Araştırma Laboratuvarı).

⁶Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (İsviçre Federal Çevre, Orman ve Peyzaj Ajansı).

⁷Centrum voor Milieukunde, Leiden (Çevre Bilimi Merkezi, Leiden Üniversitesi, Hollanda).

⁸ Society for Environmental Toxicology and Chemistry (Çevresel Toksikoloji ve Kimya Kuruluşu).

⁹ International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Örgütü)

çok başarılı ilk serileri (ISO 1997, 1998, 2000a, 2000b) yaşam döngüsü standardının tartışmasız modeli haline gelmiştir. Daha sonra 14040 serisi gözden geçirilerek ISO 14040 2006a ve ISO 14044 2006b olarak iki standart altında toplanmıştır (Klöppfer, 2014). Son olarak standardizasyon döneminin, YDA'nın temellerinin ve mevcut disiplinlerle bağlantılarının araştırıldığı fakat aynı zamanda fikir ayrılıklarına da düşüldüğü bir dönem ile kapandığı söylenebilir (Guinee ve diğer., 2011).

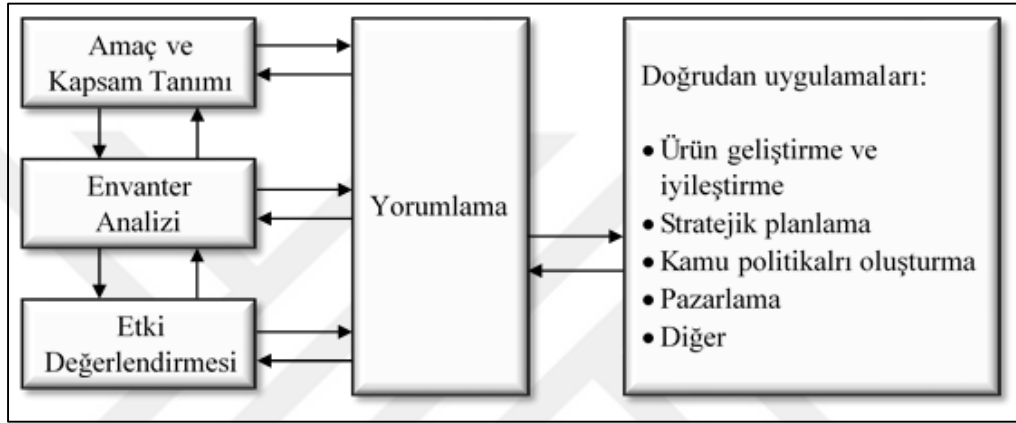
Detaylandırma dönemi (2000-2020): 21. yüzyılın başlarında YDA'ya giderek artan ilgiye paralel olarak, 2002 yılında UNEP¹⁰ ve SETAC Yaşam Döngüsü Girişimi olarak bilinen Uluslararası Yaşam Döngüsü Ortaklığı'nı başlatmıştır (Töpfer, 2002). Yaşam döngüsü düşüncesi, Sürdürülebilir Kaynak Kullanımına ve Atıkların Önlenmesi ve Geri Dönüşümü'ne ilişkin tematik stratejilere dahil edilmiştir (Guinee ve diğer., 2011). YDA'ya olan ilginin arttığı bu dönemde yaşam döngüsü temelinde aynı fakat metodolojik olarak farklı yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Farklılıkların nedeni ISO'nun hiçbir zaman YDA yöntemlerini *detayda* standardize etmeyi amaçlamamasına bağlı olarak bazı ISO gerekliliklerinin nasıl yorumlanacağı konusunda görüş birliği olmamasıdır (Guinee ve diğer., 2011). Bu da örneğin sistem sınırları ve tahsis yöntemleri ve sürdürülebilirlik analizi gibi esneklik ve/veya ISO 14040 ve 14044 standartlarını aşan ve daha ayrıntılı gereklilikleri olan yapılandırmaları gerektirmiştir (Russell, Ekvall ve Baumann, 2005; Guinee ve diğer., 2011; Klöppfer, 2014). Avrupa Komisyonu bu sorunların çözümü için 2006 yılında YDA yaklaşımlarının değişen alanlarını yapılandırmak ve gerektiğinde daha fazla YDA için araştırma hatları ve programları tanımlamak için CALCAS¹¹ projesini hayata geçirmiştir. CALCAS projesinin en önemli çıktılarından biri de Yaşam Döngüsü Sürdürülebilirlik Analizi yaklaşımıdır ve ISO 14040 çerçevesinden ayrılan üç önemli farkı (1) envanter analizi ve etki değerlendirme aşamalarının tek bir modelleme aşamasında birleştirilmesi, (2) analize konu olan nesnelerin genişletilmesi ve (3) göstergelerin kapsamının genişletilmesidir (Guinee ve diğer., 2011).

¹⁰United Nations Environment Programme(Birleşmiş Milletler Çevre Programı)

¹¹Co-ordination Action for innovation in Life Cycle Analysis for Sustainability(Sürdürülebilirlik için Yaşam Döngüsü Analizinde Koordinasyon Eylemi)

1.2.2 Yaşam Döngüsü Analizi Metodolojisi

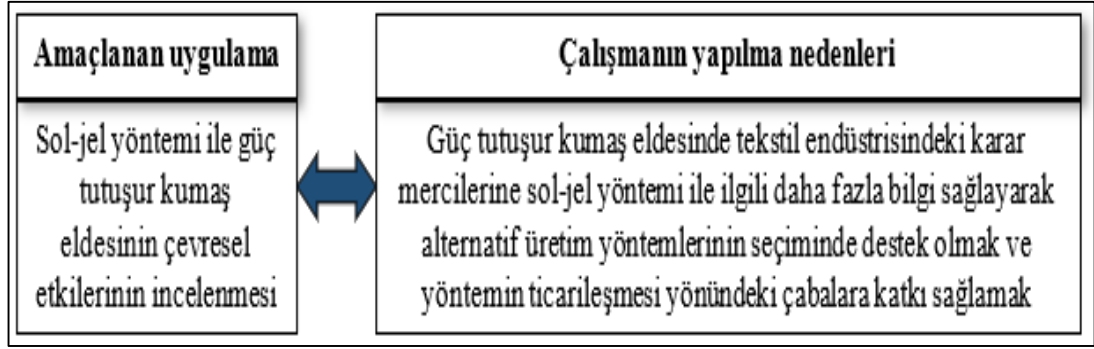
ISO standartlarına göre yaşam döngüsü analizi (1) amaç ve kapsam tanımı, (2) envanter analizi, (3) etki değerlendirmesi ve (4) yorumlama aşamalarından oluşmaktadır. Şekil 1.6'daki çift yönlü oklar YDA'nın iteratif doğasını; metodolojinin her aşamasının çalışmanın önceki aşamalarına geri bildirim sağlayabildiğini ve analiz boyunca güncellemelerin yapılabileceğini göstermektedir (Hauschild, 2018).



Şekil 1.6 ISO 14040 standardına göre yaşam döngüsü analizi çerçevesi (Hauschild, 2018)

1.2.2.1 Amaç ve Kapsam Tanımı

Amaç tanımı, sonraki aşamalarda alınacak kararlar üzerinde belirleyicidir bu nedenle çalışmanın amacı özenle tanımlanmalıdır ve gerekli hallerde yeniden düzenlenmelidir. Burada yapılacak tanımın özü, çalışmanın yapılma nedenleri ile bu nedenlerin elde edilecek sonuçların kullanılma amaçlarına katkısıdır (Bjorn, Laurent, Owsianiak ve Olsen, 2018). Amaç tanımına örnek Şekil 1.7'de verilmiştir.



Şekil 1.7 Amaç tanımına örnek

Kapsam tanımı, hangi ürün sisteminin değerlendirileceğini ve bu değerlendirmenin nasıl gerçekleştirileceğini zamansal, coğrafi, teknolojik içerik yönünden belirler ve kısıtlamalar karşısında yapılacak varsayımları betimler (Kılıç, 2010; Bjorn, Owsianiak ve diğer., 2018). Bir YDA çalışması, önce fonksiyonlara odaklanan ihtiyaçların ve daha sonra bu fonksiyonları sağlamak için ihtiyaç duyulan ürünlerin çevresel değerlendirmesidir (Bjorn, Owsianiak ve diğer., 2018). Bunun için öncelikle birim proses ve akışlar ele alınır. Dolayısıyla tasarlanan ürün sistemi tarafından gerçekleştirilen temel işlevin, o ürün sistemi içindeki her bir birim proses ve akışlarla ilişkilendirilebilir ve bazen de aynı işlevi sağlayan alternatifleriyle karşılaştırılabilir olması için nicelleştirilmesi gerekmektedir. Fonksiyonel birim, bir ürün sisteminin belirlenen işlevini yerine getirmesi için sağlanması gereken girdilerin ve oluşan çıktıların ayrıştırılması ve ağırlıklandırılması için nicel bir referanstır (Kılıç, 2010). Aslında kapsam, üretim zinciri ve çevre arasındaki değişimlerin çerçevesini çizmektir (Khoo, Isoni ve Sharratt, 2018). Buna bağlı olarak da analiz kapsamına alınacak yaşam döngüsü evreleri, o çalışma için *sistem sınırlarını* oluşturmaktadır. Sonuç olarak *amaç ve kapsam tanımı*, analizin amacını, kapsamını, sistem sınırlarını, fonksiyonel birimini ve çalışmanın kalitesinden emin olmak için oluşturulan stratejik planlamalarını içermektedir (Simonson ve Andersson, 2008).

1.2.2.2 Envanter Analizi

Bir yaşam döngüsü envanter analizi sırasında, öncelikle bir ürün sisteminde istenen son ürünün üretilmesi için belirlenen sınırlar dahilinde gerçekleşen yaşam döngüsü içindeki tüm birim prosesler ve kaynak akışlara ilişkin girdi ve çıktı verilerinin (1)

nitel olarak belirlenmesi, daha sonra (2) nicelleştirilmesi yoluyla verilerin toplanması ve sonunda (3) derlenen envanter analizi listesinden, kaynak kullanımı, insan sağlığı ve ekoloji üzerindeki olumsuz etkileriyle ilgili küresel ısınma potansiyeli, insan toksisitesi vb. gibi farklı çevresel kategorilerde sınıflandırılarak tüm akışların modellenmesi yapılmaktadır (Curan, 2006; Kılıç, 2010; Khoo, Isoni ve Sharratt, 2018). Yapılan modelleme, hedef tanımına uygun olmalıdır ve mümkün olduğu ölçüde kapsam tanımında belirtilen gereksinimleri karşılamalıdır (Bjorn, Moltesen ve diğer., 2018).

4.2.2.3 Etki Değerlendirmesi

Etki değerlendirmesinin amacı, yaşam döngüsü envanterinden gelen temel akışları, çevresel etkilere olan potansiyel katkılarına dönüştürmek ve böylece hedef tanımında yer alan soruların cevaplandığı yorum aşamasını desteklemektir (Hauschild ve Huijbregts, 2015). Envanter analizinden çıkan sonuçlara bağlı olarak ürün sisteminin çevresel etkilerinin nicel ve nitel olarak tanımlaması için etki kategorileri seçilir ve belirlenir (Unger, Beigl ve Wassermann, 2004; Kılıç, 2010). Kullanılan yöntemle göre çeşitli etki kategorileri bulunmaktadır, ancak bu tez kapsamında CML 2001 yöntemi kullanıldığı için bu yöntemle ait çevresel etki kategorileri verilmiştir (Tablo 1.2).

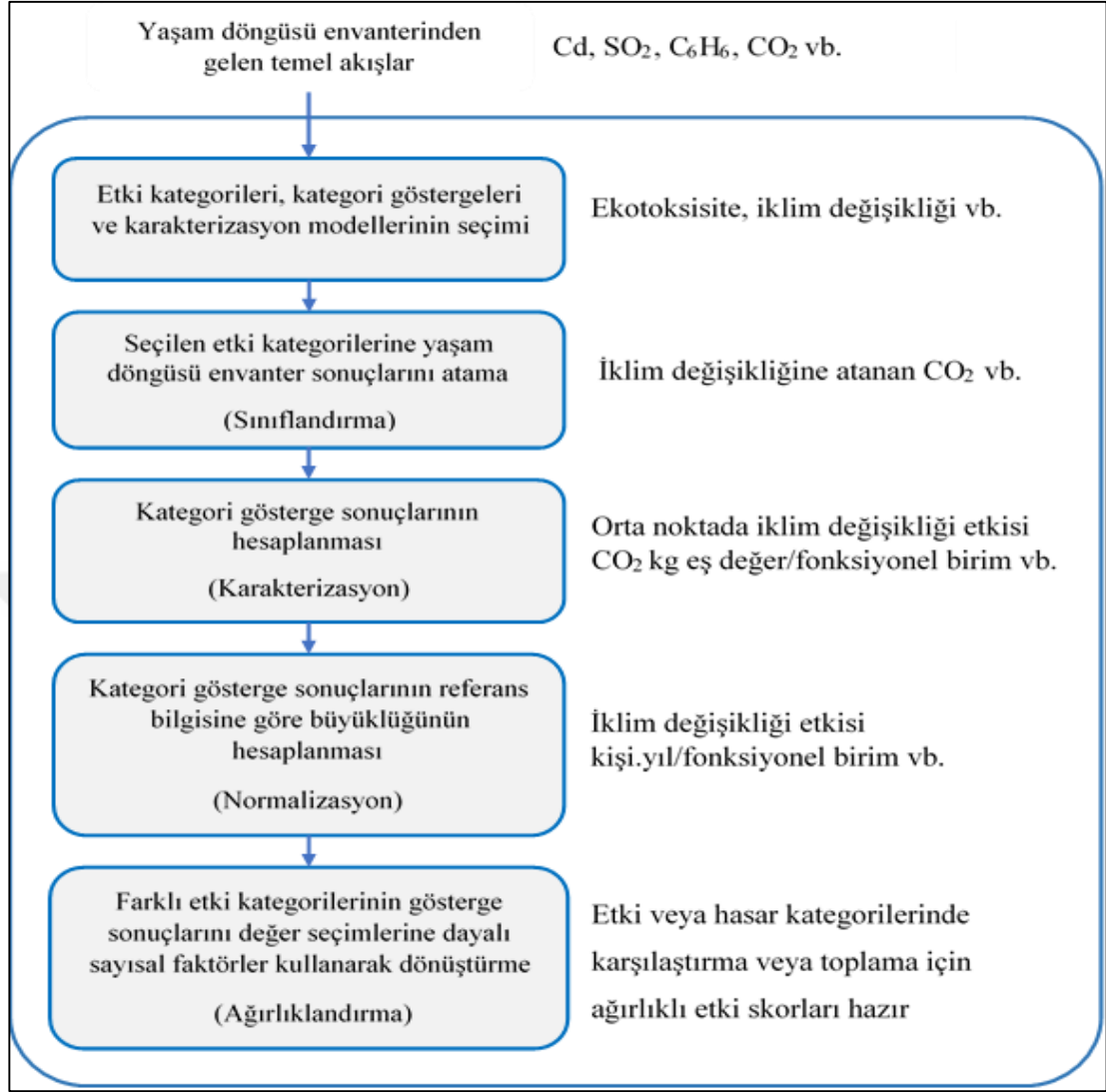
Tablo 1.2 Çevresel etki kategorileri (Kılıç, 2010)

Çevresel Etki Kategorileri	Açıklama
Abiyotik Kaynakların Tükenim Potansiyeli-AKTP (kg Sb)	Madenler, fosil yakıtların ve mineraller gibi yenilenebilir olmayan kaynakların çıkarılması, rezervlerin tükenmesi
Asitleştirme Potansiyeli-AP (kg SO₂)	Toprak ve suda asidik çökelmelere neden olan, proton verebilme yeteneğine sahip sülfürik asit, nitrik asit sülfür oksitler (SO ₂ , SO ₃) ve nitrojen oksitler (N ₂ O, NO ve NO ₂) gibi maddelerin salınması
Ötrofikasyon Potansiyeli-ÖP (kg PO₄²⁻)	Sudaki oksijen oranını düşüren ve biokütle oluşumunun artmasına neden olan Azot (N) ve Fosfor (P) gibi aşırı besleyicilerin suya salınması
Temiz Su Ekotoksosite Potansiyeli-TSETP (kg 1,4-Diklorobenzen)	Su canlıları üzerinde toksik etkisi olan bileşiklerin su ekosistemine salınması

Tablo 1.2 devamı

Deniz Ekotoksosite Potansiyeli-DETP (kg 1,4-Diklorobenzen)	Su canlıları üzerinde toksik etkisi olan bileşiklerin su ekosistemine salınması
İnsan Toksisite Potansiyeli-İTP (kg 1,4-Diklorobenzen)	İnsan sağlığı üzerinde toksik etkisi olan bileşiklerin hava, su ve toprak yoluyla salınması
Toprak Ekotoksosite Potansiyeli-TETP (kg 1,4-Diklorobenzen)	Toprak ekosistemi üzerinde toksik etkisi olan bileşiklerin salınması
Küresel Isınma Potansiyeli-KIP (kg CO₂)	Sera gazlarının (CO ₂ , CH ₄ , CO ve NO _x) atmosfere yayılması
Ozon Tükenim Potansiyeli-OTP (kg Kloroflorokarbon-11)	Ozon tabakasının incelmesine neden olan kloroflorokarbon (CFC) salınımı
Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli-FOP (kg C₂H₄)	Fotokimyasal sis oluşumuna neden olan havada asılı parçacıkların meydana gelmesi

Etki değerlendirmesi, (1) Etki kategorileri, kategori göstergeleri ve karakterizasyon modellerinin seçimi, (2) Sınıflandırma: Seçilen etki kategorilerine yaşam döngüsü envanter sonuçlarının atanması, (3) Karakterizasyon: Kategori gösterge sonuçlarının hesaplanması, (4) Normalizasyon: Kategori gösterge sonuçlarının referans bilgisine göre büyüklüğünün hesaplanması, (5) Ağırlıklandırma: Farklı etki kategorilerinin gösterge sonuçlarını değer seçimlerine dayalı sayısal faktörler kullanarak dönüştürülmesi adımlarından oluşmaktadır (Şekil 1.8). İlk üç adım ISO 14044 standardının gereklilikleri için zorunluyken, son iki adım isteğe bağlıdır (Hauschild ve Huijbregts, 2015).



Şekil 1.8 Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi adımları (Hauschild ve Huijbregts, 2015'ten yararlanılarak yeniden çizilmiştir).

1.2.2.4 Yorumlama

Yaşam döngüsü yorumlaması, sonuçlara dayanarak çevreye olan etkilerin azaltılması ve üretim sisteminin iyileştirilmesi için yapılması gereken çalışmaları ve verilmesi gereken kararları kapsamaktadır (Kılıç, 2010). YDA'nın diğer aşamalarında belirlenmiş olan önemli prosesler, varsayımlar ve en önemli temel akışlar ele alınmaktadır. YDA'nın genel sonuçları üzerindeki etkisine ve çalışmada ele alındıkları bütünlük ve tutarlılığa göre değerlendirilmektedir. Sonunda değerlendirmenin sonuçları, çalışmadan elde edilen sonuçlarla bütünleştirilmektedir (Hauschild, Bonou ve Olsen, 2018).

1.3 Önceki Çalışmalar

1.3.1 Yaşam Döngüsü Analizinin Tekstil Endüstrisine Uygulanması ve Önemi

Her sanayi faaliyeti, aslında, toplumun birçok farklı bölümünü içeren karmaşık bir faaliyetler ağıdır (Simonson ve Andersson, 2008). Yatırım maliyetlerinin geri dönüşü ile ekonomik kazanç odaklı tekil vurgu, günümüzde sosyal değer, ekonomik kazanç ve çevresel sonuçlar temelinde birleşen sürdürülebilirlik kavramına doğru kaymaktadır. Nitekim insanlığın daha sürdürülebilir bir topluma ulaşmak için gerçekleştirdiği eylemler, doğal kaynak kullanımını, toksisite sorunlarını ve çevresel etkileri eleştirel olarak değerlendirmesini sağlamıştır (Morgan ve Gilman, 2013). Günümüzde özellikle kimyasal süreçleri içeren endüstriler, atığı en aza indirme, sıfır emisyon, üretici sorumluluğu düşüncelerine dayanan çevresel olarak kabul edilebilir proses, ürün ya da etkinlik taleplerinin baskısı altındadır (Azapagic, 1999) ve endüstriyel faaliyetlerinin insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkilerini açıklamakla yükümlüdürler (Parisi, Fatarella, Spinelli, Pogni ve Basosi, 2015). Dolayısıyla çevre bilincinin giderek artmasıyla birlikte tekstil sektörü de dâhil olmak üzere birçok endüstriyel alanda; üretim sırasında kullanılan kütle ve enerji girdileriyle ilişkili çevresel etkileri azaltan sistem ve süreçlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar giderek artmaktadır. YDA, bu çevresel etkilerin belirlenip sürdürülebilir bir üretim sisteminin tasarlanmasının ve uygulanabilirliğinin araştırılmasının çok önemli bir parçasıdır (Azapagic, 1999). Bu açıdan yaşam döngüsü analizi yöntemi; üreticiler, tedarikçiler, tüketiciler, politik ve ekonomik karar mercileri ve diğer paydaşlar için paha biçilemez bir karar destek aracıdır (Rebitzer ve diğer., 2004).

Tekstil ve giyim sektörü tek başına Avrupa yaşam döngüsü çevresel etkilerinin %2 ila %10'undan sorumludur (Tukker ve diğer., 2006). Tekstil ürünlerinin üretimi sırasında çok büyük miktarlarda su, kimyasal ve enerji kullanılmasından dolayı tekstil üretim zincirinde her bir proses adımı, çevreye zararlı etkilere sahiptir (Hasanbeigi ve Price, 2015; Palamutçu, 2017). Öte yandan kullanım aşamasından gelen etkilerin de belirleyici olduğu görülmektedir. Tekstil ürünleriyle ilgili yapılan birçok YDA çalışmasında kullanım aşamasının, yaşam döngüsü etkilerinin en az yarısını

oluşturduğu konusunda fikir birliğine varılmıştır (Blackburn ve Payne, 2004; Madsen, Hartlin, Perumalpillai, Seby ve Aumonier, 2007; Walser, Demou, Lang ve Hellweg, 2011; Meyer, Curran ve Gonzalez., 2011; Windler, Height ve Nowack 2013; Manda, Worrell ve Patel., 2015; Hicks ve diğer., 2015). Tekstil endüstrisi açısından ortaya çıkan bu tablo, bir ürünün kullanım sırasında ortaya çıkacak çevresel etkilerini en baştan gözetmek ve bu doğrultuda üretim tasarımları geliştirmek gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle, bir ürün sisteminin özellikle çevresel performansının başlangıç tasarımının gücüne ve hassasiyetine bağlı olduğu göz önüne alınırsa, üretim aşamasında verilecek kararların oldukça önemli olduğu görülmektedir.

1.3.1.1 Yaşam Döngüsü Analizinin Tekstil Üretimine Uygulanmasıyla İlgili Çalışmalar

Velden, Patel ve Vogtlander (2014), literatürde var olan YDA çalışmalarının verilerini kullanarak tekstil liflerini karşılaştırmışlardır. Tekstil pazarındaki büyük payı ve üretiminin doğası nedeniyle pamuğun tüm lifler arasında en yüksek etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Yıkama işlemi için kullanılan deterjan ve yıkama işlemi sırasında kullanılan enerjinin çevresel etkiler üzerinde önemli ölçüde sorumlu olduğunu bildirmişlerdir.

Baydar, Cılız ve Mammadov (2015), organik pamuktan yeşil boyama reçetesiyle üretilen eko-tişört ile konvansiyonel tişörtü karşılaştırmışlardır. Eko-tişörtün tüm etki kategorilerinde düşük etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Azot ve fosfat içeren gübrelerin kullanılmaması sebebiyle özellikle sucul ötrofikasyonda %97 azalma sağlandığını da belirtmişlerdir.

Roos, Posner, Jönsson ve Peters (2015), ağartılmamış giysilerin beyaz hastane elbiselerinden daha çevre dostu olup olmadığının araştırılması ve en çevreci boyarmaddenin belirlenmesi üzerine YDA çalışması yürütmüşlerdir. Bulgular, ağartılmış ürünün ağartılmamış ürüne göre daha iyi çevresel performansa sahip olduğu yönündedir, çünkü ağartmadan gelen çevresel etki, giysinin tüm yaşam döngüsünde önemsiz kalmaktadır ve kullanım aşamasında ağartılmış giysinin daha uzun bir

kullanım ömrü sunması, yarattığı çevresel etkiyi telafi etmektedir. Ayrıca sonuçlar, boyar maddelerinin seçiminin yardımcı kimyasalların seçiminden daha az önemli olduğunu göstermiştir.

Yan ve diğer. (2016), farklı tipte birçok kumaşı karbon ayak izi açısından değerlendirmişlerdir. Endüstriyel ölçekte karbon ayak izi büyükten küçüğe, yünlü kumaş, yün-poliester karışımı kumaş ve pamuklu kumaş olarak sıralanmaktadır. Pamuklu kumaşlar için karbon ayak izinin başlıca sebepleri hammaddeler, üretim teknolojisi ve renktir. Pamuk/poliester karışımı kumaş saf pamuklu kumaştan, süprem kumaş rib kumaştan, koyu renkli kumaşlar açık renkli kumaşlardan daha yüksek karbon ayak izine sahiptir. Tekstil kumaşlarının üretim sürecinde, dolaylı sera gazı ve elektrik emisyonlarının, kömür ve petrolün doğrudan yanmasından kaynaklanan emisyonlardan çok daha büyük olduğu bulunmuştur.

Esteve-Turrillas ve Guradia (2017), giysi kırıntılarından geri dönüştürülmüş pamuk lifleri ile geleneksel ve organik yollarla üretilen pamuk liflerini yaşam döngüsü çevresel etkileri açısından karşılaştırmışlardır. Üretim adımını yeşil yolla gerçekleştirmek için geleneksel pamuk yetiştiriciliğinden organik tarıma geçmenin avantajları olduğunu göstermişlerdir. Bununla birlikte, organik pamuğun kullanımının da sürdürülebilir bir uygulama olmaktan uzakta olan ve çevre üzerinde zararlı etkileri olan bir boyama işlemi gerektirdiğini bulmuşlardır. Tersine, geri dönüştürülmüş hammaddelerin ve renkli liflerin akıllı seçimine dayanan geri dönüşüm teknolojisinin kullanımının hem pamuk ekimi hem de çevresel yan etkilerin ortaya çıkmasını önleyecek ve geleneksel yöntemdeki çırçırılamanın çevresel etkilerini kesme/parçalama adımının etkileriyle yer değiştirebilecek bir seçenek olarak sunmuşlardır. Ayrıca, endüstriyel pamuk atıklarının geri dönüşümünün, ürün için ikinci bir kullanım ömrü sunduğunu, bunun da çevresel etkiler ile bertaraf maliyetlerini azalttığını belirtmişlerdir.

Sandin ve Peters (2018), tekstil yeniden kullanımı ve geri dönüşümü üzerine yapılan YDA çalışmalarını incelemişlerdir. İncelenen yayınların, tekstil yeniden kullanımının ve geri dönüşümün genel olarak yakma ve depolama ile

karşılaştırıldığında çevresel etkiyi azalttığı ve yeniden kullanımın geri dönüşümden daha faydalı olduğu iddialarına güçlü destek sağladığını belirtmişlerdir. Ancak bazı çalışmaların, yeniden kullanım ve geri dönüşümün faydalı olamayacağı senaryoları da ortaya çıkardığını bildirmişlerdir; örneğin geri dönüşüm süreçleri fosil enerji ile yürütülüyorsa ya da kaçınılan üretim süreçleri nispeten temiz ise geri dönüşümden sağlanan fayda düşük oranlarda kalmaktadır.

Terinte, Manda, Taylor, Schuster ve Patel (2014), boyanmış modal liflerden üretilen kumaş ile konvansiyonel yöntemle üretilip boyanan modal kumaşın çevresel etkilerini karşılaştırmışlardır. Kumaş üretiminde, konvansiyonel kumaş boyamaya kıyasla boyanmış liflerin kullanımıyla %50 daha az enerji harcandığını, %60 daha az karbon ayak izi oluştuğunu ve sadece %50 oranında su gerektiğini bulmuşlardır.

Blackburn ve Payne (2004), pamuk havluların yaşam döngüsü analizini yapmışlar ve yıkama sıklığını azaltan (Polihekzametilen biguanid uygulaması gibi) herhangi bir antibakteriyel proses ya da uygulamanın enerji, su ve kimyasal tüketiminde oldukça büyük bir azalma sağladığı sonucuna varmışlardır. Antibakteriyel işlem görmüş bir havlunun, konvansiyonel havluya kıyasla daha çevreci olduğunu bildirmişlerdir.

Walser ve diğer. (2011), alev püskürtme pirolizi ve gümüş saçtırmalı plazma polimerizasyonu ile üretilen triklosan ve nano gümüş katkılı tişörtler ile konvansiyonel tişörtü karşılaştırmışlardır. Alev püskürtme pirolizi yönteminin plazma yöntemine göre çok daha çevreci olduğunu bildirmişlerdir. Tüketici davranışlarının çevresel etkiler üzerinde oldukça belirleyici olduğunu belirtmişlerdir.

Manda ve diğer. (2015), SurFunCell projesi kapsamında antibakteriyel bir tişörtün beşikten mezara yaşam döngüsü değerlendirilmesini yapmışlardır. Antibakteriyel tişörtün konvansiyonel tişörtten %20 daha az iklim değişikliklerine sebep olduğunu bildirmişlerdir. Ticari ölçekteki uygulamaların çevresel etkileri daha az olduğunu ve üretim aşamasında en büyük etkinin, lif bitimi ve boyaması adımlarından kaynaklandığını bulmuşlardır. Tişört üretimindeki en büyük çevresel etkiler; temiz su ötrofikasyonu, doğal toprak dönüşümü, fosil kaynakların tükenimi ve asitleştirme

olarak bulunmuştur. Tüketici kullanım aşamasının, tüm tişört yapılandırmaları için baskın etkilere sahip olduğu bildirilmiştir.

Meyer ve diğer. (2011), ticari olarak piyasada olan antibakteriyel çorapların içindeki gümüş nano parçacıkların çevresel etkilerini incelemişlerdir. Kullanım aşamasının üretim aşamasına kıyasla baskın çevresel etkilere sahip olduğunu bildirmişlerdir. Nano parçacık oluşturma yöntemlerinin karşılaştırılması sonucunda, alev püskürtme pirolizinin çevresel etkisinin yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Fatarella, Parisi, Varheenmaa ve Talvenmaa (2015), YDA ile SAFEPROTEX (2013) projesi kapsamında bir koruyucu giysi üretiminde ortaya çıkan çevresel etkileri belirlemişlerdir. Koruyucu giysi kompozitinde kullanılan güç tutuşur model için üretim proseslerinin (1) güç tutuşur bitim işlemi için büyük miktarlarda kimyasal kullanımı ve (2) aramid üretimi için büyük miktarda enerji gereksinimi nedeniyle çok daha kirletici olduğunu bulmuşlardır. Çalışmaya göre, aramid lifleri gibi kendiliğinden güç tutuşur lif üretiminin çevresel etkileri, güç tutuşur bitim işlemine kıyasla çok daha fazladır. Sonuç, bitim işleminde sürdürülebilir güç tutuşur maddelerin kullanılmasının, güç tutuşur tekstil üretiminde sürdürülebilirliğin geliştirilmesine katkı sağlayabileceği yönündedir.

Yasin, Behary, Curti ve Rovero (2016), güç tutuşur kimyasal maddesi olarak N-metilol dimetilfosfonopropionamid (MDPA) içeren güç tutuşur pamuklu perdelerin yaşam döngüsü sonunda atık fırınlarında yakılmasına alternatif olarak yalıtım malzemesine dönüştürülmesi senaryosunu incelemişlerdir. Geri dönüştürülmüş pamuk ile poliester kullanılarak elde edilen bir kg yalıtım malzemesi (10,01 kg CO₂ eşdeğer), MDPA ile üretilen bir kg güç tutuşur pamuklu perde (11,8 kg CO₂ eşdeğer) ile benzer karbon salınımına sahiptir. Geri dönüştürülmüş malzeme kullanılmadan üretilecek aynı yalıtım malzemesinin karbon ayak izinin 22,21 kg CO₂ eşdeğer olduğu göz önünde bulundurulursa, pamuk lifi üretiminden ve güç tutuşurluk bitim işleminden tasarruf sağlandığını belirtmişlerdir.

Yasin, Behary, Perwuelz ve Guan. (2018), dayanıklı güç tutuşur madde ile işlem görmüş pamuklu perdelerin yaşam döngüsü sonunda perdeler üzerindeki güç tutuşur kimyasalların çevreci yöntemle uzaklaştırılması ve ardından bu perdelerin ya gömülmesi ya da atık yakma fırınlarında yakılması üzerine yaşam döngüsü analizi gerçekleştirmişlerdir. Gömme ya da yakma işleminden önce güç tutuşur kimyasalının uzaklaştırılmasının, atıkların bertarafı aşamasında çevresel etkileri düşürdüğünü bildirmişlerdir. Ayrıca gömme yerine yakma seçeneği enerjinin geri kazanımını sağladığı için çevresel kazanç elde edildiği de belirtilmiştir.

1.3.1.2 Yaşam Döngüsü Analizinin Güç Tutuşur Malzeme Üretimine Uygulanmasıyla İlgili Çalışmalar

Jonkers, Krop, Ewijk ve Leonards (2016), brom içeren ve içermeyen güç tutuşur bir dizüstü bilgisayarın beşikten mezara yaşam döngüsü analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada değerlendirilen güç tutuşur bileşikler arasında üretimi en düşük çevresel etkiye sahip bileşiğin alüminyum trihidrat (ATH) olduğunu bulmuşlardır. Belirli yaşam döngüsü evrelerinin karşılaştırılması, bu çalışmada brom içeren güç tutuşur maddelerin brom içermeyenlerle değiştirilmesinin net çevresel faydalar sağladığını gösteriyor olsa da güç tutuşur bileşiklerin bütün bir dizüstü bilgisayarın yaşam döngüsünün toplam çevresel etkisine katkısının az olduğunu belirtmişlerdir.

Deng ve diğer. (2016), baskılı devre kartlarında cam lifi takviyeli epoksi yerine keten lifi takviyeli melamin polifosfat güç tutuşur maddesi kullanarak epoksitlenmiş keten tohumu yağı ile yapılan biyo esaslı kompozitin yaşam döngüsünü incelemişlerdir. İnsan toksisite potansiyeli, iklim değişikliği, fosil kaynakların tükenimi gibi kategoriler başta olmak üzere 18 çevresel etki kategorisinin 13'ünde azalma sağlandığını bildirmişlerdir. Keten lifi takviyeli epoksitlenmiş keten tohumu yağı içeren biyo esaslı tasarımın çevresel etkilerinin, genel olarak daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Vidal ve diğ. (2017), hava araçlarında cam lifi takviyeli halojen içeren güç tutuşur konvansiyonel iç panellerin kullanımı ile birlikte 4 çeşit sürdürülebilir panel kullanımını incelemişlerdir. Bunlar keten lifi takviyeli halojen içermeyen güç tutuşur madde ile işlem görmüş polipropilen (PP), polilaktik asit (PLA), jeopolimer ve biyopolimer esaslı panellerdir. Önerilen tüm panellerin konvansiyonel panelden daha iyi çevresel performans gösterdiğini bildirmişlerdir. Panellerin yaşam döngüsü etkilerinin %98'inin kullanım aşamasından kaynaklandığını bulmuşlardır. Ancak konvansiyonel panelden çok daha hafif olmaları sebebiyle, hava aracının yakacağı yakıtta azalma sağladığını bildirmişlerdir. Üretim ve yaşam döngüsü sonu etkilerinin çevresel kazanca dönüşme süresi biyo esaslı ve jeo esaslı polimerler için yaklaşık 1,5 ay iken PLA için 10 ve PP için 54 ay olarak bildirilmiştir.

Güç tutuşur tekstil üretimiyle ilgili çalışmalar değerlendirildiğinde, ticari güç tutuşur maddelerin/liflerin kullanımıyla koruyucu giysi tasarımı ya da güç tutuşur tekstil ürünlerinin geri dönüşüm/bertaraf senaryoları üzerine çalışmalar olduğu görülmüştür. Bununla birlikte güç tutuşur malzeme üretimine ilişkin tekstil liflerinin de kullanıldığı veya güç tutuşur tekstil endüstrisinde de kullanılan güç tutuşur kimyasalların incelendiği birçok çalışma olmasına rağmen *doğrudan güç tutuşur tekstil üretiminin ele alındığı* çalışma sayısının kısıtlı olduğu görülmüştür ve sol-jel yönteminin uygulamalarını içeren çalışmalara ise hiç rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasında güç tutuşur tekstil üretiminde *etkili güç tutuşurluk* eldesine olanak sağlayan sol-jel yönteminin, öncelikle çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve sonuçlarının literatüre kazandırılması amaçlanmıştır. Böylece bu çalışmanın çıktılarının akademilerin, araştırma ve geliştirme merkezlerinin ve başta tekstil endüstrisi olmak üzere diğer endüstrilerin geleceğe yönelik karar alma süreçlerine yansıtılmasıyla sürdürülebilir güç tutuşur üretim sistemlerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

BÖLÜM İKİ

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Güç Tutuşur Kumaş Eldesi

Bu tez çalışmasında çevresel etkilerin değerlendirilmesi kapsamında sol-jel yöntemi ile güç tutuşur kumaş eldesi için kullanılan bazı materyaller ve yöntemler Sergin (2017)'in yüksek lisans tez çalışmasına dayanmaktadır ve uygulamalara ilişkin detaylar ilgili bölümlerin altında verilmiştir.

2.1.1 Materyal

Çalışma kapsamında hammadde olarak pamuk, keten ve viskon olmak üzere üç farklı selülozik lif esas alınmıştır. Toplamda dokuma ve örme olmak üzere ön terbiye işlemi görmüş beş çeşit kumaş kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan pamuk, keten ve viskon kumaşlar Şekil 2.1'de verilmiştir. Burada kumaşların üzerinde yer alan P1, P2, P3, K ve V kumaş kodları, sadece kumaş türlerini ayırtırmak için kullanılmıştır. P pamuklu kumaşları, K keteni ve V viskonu temsil etmektedir.



Şekil 2.1 Pamuk, keten ve viskon kumaşlar (Kişisel arşiv)

Standart atmosfer koşullarında (20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65 \pm 2$ bağıl nem) en az 24 saat kondisyonlanmış numuneler *nemli kumaş* olarak adlandırılmıştır. Kumaş özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir. Kumaş kodundaki N harfi o kumaşın *nemli kumaş* olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 2.1 Kumaş özellikleri

Kumaş kodu	Lif	Kumaş yapısı	Örgü Tipi	Sıklık (tel/cm)		Gramaj (g/m ²)
				Çözü	Atkı	
P1-N	Pamuk	Dokuma	Panama	60	26	240
P2-N	Pamuk	Dokuma	Bezayağı	36	26	120
P3-N	Pamuk	Örme	Süprem	26 ^a	14 ^b	160
K-N	Keten	Dokuma	Bezayağı	24	20	160
V-N	Viskon	Dokuma	Krep	36	30	210

a: Örme kumaş için çubuk sayısı

b: Örme kumaş için sıra sayısı

Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazların özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Cihaz özellikleri

Cihaz	Marka	Model	Güç (W)
Manyetik karıştırıcı	Lab Companion	-	10
Laboratuvar tipi dikey fular makinesi	Ataç	ATC-F350	1000
Etüv	Nüve	EN 500	4000
Ramöz	Rapid	H-TS-3	6000

Bu tez çalışması kapsamında sol-jel yöntemi ile güç tutuşur kumaş eldesinde kullanılan sol-jel reçetesi Sergin (2017)’in yüksek lisans tez çalışmasından alınmıştır ve Tablo 2.3’te verilmiştir.

Tablo 2.3 Sol-jel reçetesi (Sergin, 2017)

Kimyasal Maddeler	Kimyasal formül	Miktar (mol)
Etanol	C_2H_5OH	1,25
Su	H_2O	8,75
(3-Aminopropil) trietoksisilan (APTES)	$C_9H_{23}NO_3Si$	0,10
(3-Glisidiloksipropil) trimetoksisilan (GPTMS)	$C_9H_{20}O_5Si$	0,05
Guanidin fosfat (GP)	$CH_5N_3 \cdot H_3PO_4$	0,1
Üre	CH_4N_2O	0,05
Fosforik asit (FA)	H_3PO_4	0,25
Asetilaseton (AA)	$C_5H_8O_2$	0,1

2.1.2 Nanosol Eldesi

Nanosol eldesi için Tablo 2.3'te verilen molar oranlarda; etanol üzerine sırasıyla APTES, GPTMS ve AA eklenmiştir. Bu çözeltiye ayrı bir yerde su içerisinde çözülmüş GP ve üre karışımı ilave edilmiştir. İlave sırasında ve sonrasında fosforik asit ile pH kontrolü sağlanmıştır. Daha sonra elde edilen nanosol çözeltisi oda sıcaklığında 1,5 saat karıştırılmış ve nanosol elde edilmiştir.

2.1.3 Alınan Madde Miktarının Artırılması

Prensipte, alınan madde miktarı artırılırsa elde edilen güç tutuşur özelliğın derecesi de artmaktadır (Nguyen, Chang, Condon, Uchimiya ve Fortier, 2012). Bunun sebebi, bitim işlemi sonunda birim kumaş alanına daha fazla güç tutuşur madde yüklenmesidir. Alınan madde miktarı, bir kaplama işleminin sonunda kumaşa aktarılan madde miktarının ölçüsüdür ve Eşitlik 2.1 ile verilmiştir. Burada K_s ve K_0 sırasıyla kaplamadan sonra ve önce kuru kumaş ağırlığını ifade etmektedir.

$$\text{Alınan madde miktarı (\%)} = \frac{K_S - K_0}{K_0} \times 100 \quad (2.1)$$

Alınan madde miktarını artıracak potansiyel işlemler, (1) pratik sınırlar dâhilinde kumaşın daha fazla flotte almasına izin vermek, (2) tekrarlı kaplamalar yapmak, (3) güç tutuşur kimyasal madde ile lif arasındaki çapraz bağlanmayı artıran kimyasallar kullanmak ve/veya ön işlemler uygulamak şeklinde sıralanabilir.

2.1.3.1 Alınan Flotte Miktarının Artırılması

Alınan madde miktarını artırmak için en basit yaklaşım, Eşitlik 2.2 (Tarakçıoğlu, 1979) ile verilen alınan flotte miktarını (A_F) artırmaktır.

$$A_F = \frac{E_2 - E_1}{E_1} \times 100 \quad (2.2)$$

Burada E_1 ; kuru tekstil ürününün ve E_2 ; emdirilmiş tekstil ürününün ağırlığıdır. Ancak alınan flotte miktarı; lif cinsi ve kumaş yapısı, kumaşın daha önce gördüğü işlemler, silindirlerin sıkma basıncı, flottenin sıcaklığı ve kumaşın flotteden geçiş hızı gibi faktörlerden etkilenmektedir (Tarakçıoğlu, 1979). Dolayısıyla, alınan flotte miktarı artırıldığında, daha fazla çözücünün buharlaştırılması gerekliliği ile birlikte anılan faktörlere göre hem üretim hızı düşecek hem de enerji tüketimi önemli ölçüde artacaktır. Ayrıca gerekli olan çözücü miktarının artması, prosesin çevresel yükünü de artıracaktır. Bunlardan ayrı olarak, kumaş tarafından daha yüksek miktarda emilen nanosol artmış bir kaplama kalınlığı anlamına gelmektedir ve bu da ortaya çıkan tekstil özellikleri açısından çok önemlidir ve belirleyicidir (Mahltig ve Textor, 2008).

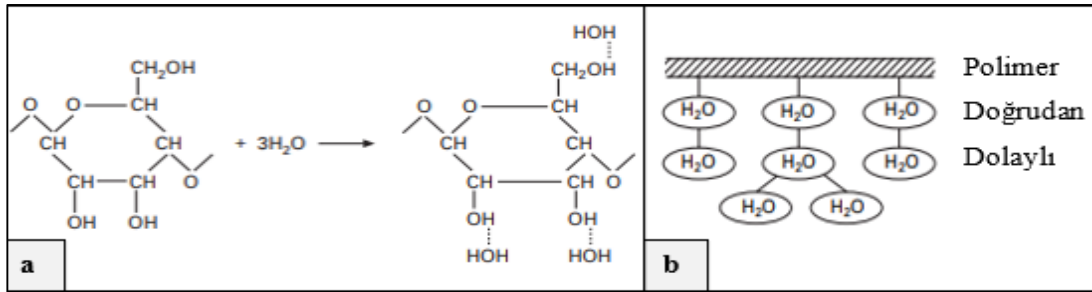
2.1.3.2 Tekrarlı Kaplamalar Yapılması

Alınan madde miktarını artırmak için bir seçenek olarak sol-jel teknolojisinin kullanıldığı daldırılmalı kaplama (dip-coating) yönteminde tekrarlı kaplama işlemlerine dayanan çalışmalar bulunmaktadır (Onar, Aksit, Sen ve Mutlu, 2011; Colleoni ve diğer., 2013; Onar, Mete, Aksit, Kutlu ve Celik, 2015; Onar ve Mete 2016). Tekrarlı

kaplama işlemlerinde, birinci kaplama adımının sonunda fikse olmuş kumaş, ikinci kaplama adımına girerken hala (belirli ölçüde) işlem görmemiş bir kumaş gibi davranmaktadır. Böylece ilk kaplamadan sonra lifler arasında amorf bölgelerin bir kısmı alınan madde miktarı ölçüsünde doldurulmuş olsa da potansiyel olarak hala bir kısım boşluk bulunmaktadır. Dolayısıyla, ilk adımdan sonra alınan flotte miktarı azalmakla birlikte tekrarlı kaplamalar sonunda alınan madde miktarını artırmak olanaklıdır. Ancak tekrarlayan kaplama, kurutma ve fiksaj işlemlerinin güç tutuşur özelliğın derecesini belirli ölçüde artıracığı gibi toplamda enerji kullanımını da artıracığı açıktır.

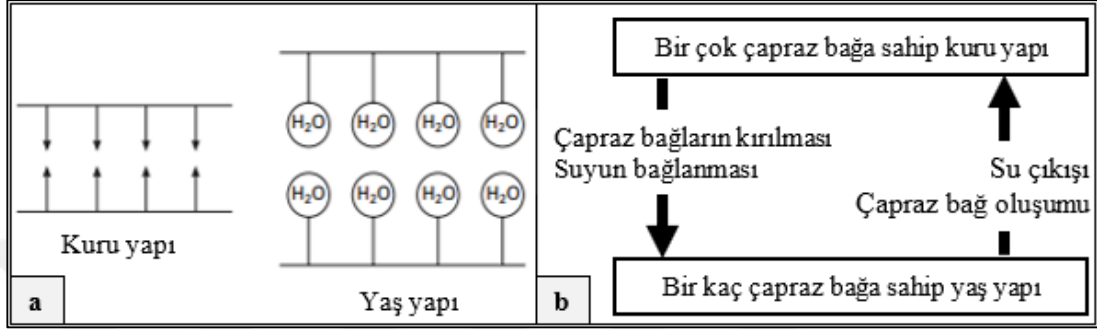
2.1.3.3 Çapraz Bağlanmanın Artırılması

Alınan madde miktarının artırılmasına yönelik olarak kaplama öncesinde kumaşa kimyasal/fiziksel modifikasyon uygulanması da bir alternatif oluşturmaktadır. Selüloz molekülü, fonksiyonel üç hidroksil grubu (OH) içerdiği için doğal olarak higroskopiktir (Siroka, Noisternig, Griesser ve Bachtold, 2008). Selülozik liflerin suyu emmesi, Şekil 2.2 (a)'da görüldüğü gibi, bu fonksiyonel gruplar vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Ancak, şekilde verildiği gibi her OH grubuna her zaman bir su (H_2O) molekülü bağlanmamaktadır. Atak yapan ilk su molekülleri Şekil 2.2 (b)'de görüldüğü gibi doğrudan hidrofilik gruplara bağlanırken bundan sonra gelenler ya diğer hidrofilik gruplara çekilmekte ya da önceden emilmiş su moleküllerinin üstünde dolaylı olarak başka tabakalar oluşturabilmektedirler (Hearle ve Morton, 2008).



Şekil 2.2 Bir selüloz molekülünde suyun hidrojen köprüleriyle hidroksil gruplarına bağlanması (Hearle ve Morton, 2008)

Lifin fiziksel özellikleri üzerinde etkili olan, moleküller arasındaki kuvvetleri değiştiren ve çapraz bağları kıran su, doğrudan bağlı olan su iken dolaylı su molekülleri, gevşek olarak tutunmaktadır. Doğal selüloz liflerinde kuru durumda çapraz bağlar ve yaş durumda su molekülleri Şekil 2.3 (a)'da gösterildiği gibi fibrillerin yüzeyinde ve arasında bulunmaktadır.



Şekil 2.3 Selüloz liflerinin kuru ve yaş yapısı (Hearle ve Morton, 2008)

Her iki yapı da (kuru ve yaş) aynı atmosferde olduğunda, Şekil 2.3 (b)'de verildiği gibi bir döngü içinde gerçekleşen çapraz bağların kırılması veya suyun buharlaşması nedeniyle aktif gruplar aralıklarla serbest kalmaktadır. Serbest bir aktif grup uzun süre bu durumunu koruyamayacağından ya bir su molekülünü çekecek ya da çapraz bağ oluşturacaktır. Su emilimi yaş durumda iken, çapraz bağ oluşumu da, diğer aktif grupların birbirlerine yakınlığı ve molekülleri ağda bir arada tutma eğilimi nedeniyle liflerin kuru olduğu durumda daha yüksektir (Hearle ve Morton, 2008). Hidroksil grupları, su ile etkileşiminin yanı sıra selüloz molekülleri arasında hidrojen köprülerinin oluşumuna da dahil olmaktadır. Bu da, fonksiyonel grupların sol-jel nano kaplama ile etkileşimini azaltmaktadır.

Selülozun yapısındaki fonksiyonel gruplardan daha etkin şekilde faydalanmak açısından, (1) selüloz molekülünden dolaylı olarak bağlı suyun uzaklaştırılması ile matrise bağlanmayı artıracak yeni boşluklar oluşturulabilir, (2) selüloz molekülünde doğrudan bağlı suyun bir kısmının uzaklaştırılmasıyla aktif grupların oluşmasının ardından sol-jel nano kaplama yapısında bulunan silanol gruplarının selülozun aktif hidroksil gruplarıyla reaksiyona girmesi sağlanabilir, (3) GPTMS gibi epoksi silan başlatıcılarla/çapraz bağlayıcılarla lif ile sol-jel nano kaplama arasındaki hidroksil

grubu sayısı azaltılarak ve çapraz bağlanma derecesi artırılarak selüloz ile sol-jel matrisi arasında yeni çapraz bağların oluşumu sağlanabilir. Sonuçta tüm bu geliştirme seçenekleri ile lif yüzeyi ile sol-jel nano kaplama arasındaki adhezyon kuvvetlendirilebilir (Kalia, Kaith ve Kaur, 2009; Brizibski, Kowalczyk, Borak, Jasiorski ve Tracz, 2012).

Tüm bunlara dayanarak, pratik bir yöntem olarak kumaşın yapısına zarar vermeden yapılacak bir ön kurutma ile liflerdeki fonksiyonel gruplara bağlı suyun (nemin) bir kısmının uzaklaştırılmasıyla belirli ölçüde boşluk yaratmak olanaklıdır. Böylece, uzaklaştırılan nem yerine nanosol aktarma imkânı doğmakta ve alınan madde miktarı potansiyel olarak artmaktadır. Bu amaçla uygulanacak herhangi bir ön işlem (ister basit bir ön kurutma ister plazma gibi diğer ileri teknolojiler olsun) prosesteki toplam enerji kullanımını artıracak olsa da tekrarlı kaplama yapmanın iş ve enerji yüküne karşı daha uygun bir alternatif olabilir. Bu doğrultuda bu tez çalışmasında tekrarlı kaplama yapmanın alternatifi olarak, alınan madde miktarının ve güç tutuşurluk özelliğinin tek işlem adımıyla artırılması amacıyla yönelik olarak nemli kumaşlara ön kurutma prosesi uygulanmıştır. Bunun için Tablo 2.1’de verilen nemli kumaşlardan bir dizi numune ramöz makinasında 150 °C sıcaklıkta 5 dakika ön kurutma prosesine tabi tutulmuştur. Ön kurutma işlemi görmüş kumaşlar Tablo 2.1’deki sıraya uygun olarak; P1-K, P2-K, P3-K, K-K ve V-K kumaş kodlarıyla adlandırılmıştır. Kumaş kodundaki K harfi, o kumaşın ön kurutma işlemi gördüğünü göstermektedir. Örneğin P1-N nemli kumaşı ön kurutma işlemi gördüyse, kodu P1-K olmaktadır.

Nemli kumaşlara uygulanan ön kurutma prosesi sonucunda oluşan nem kaybı Eşitlik 2.3 kullanılarak bulunmuştur.

$$Nem\ kaybı\ (\%) = \frac{Nemli\ ağırlık - Ön\ kurutmalı\ ağırlık}{Nemli\ ağırlık} \times 100 \quad (2.3)$$

Burada *nemli ağırlık*; standart atmosfer koşullarında (20 ± 2 °C sıcaklık ve %65 ± 2 bağıl nem) 24 saat kondisyonlanmış numunelerin ağırlığını ifade etmektedir.

2.1.4 Sol-Jel Güç Tutuşurluk İşlemi

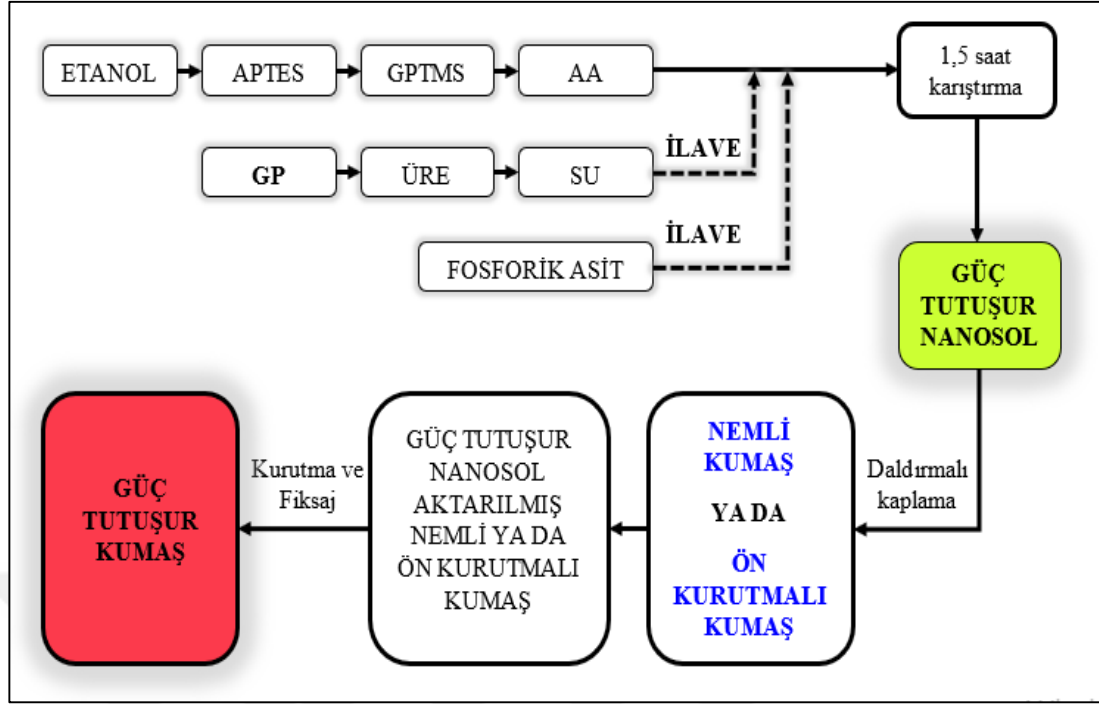
Güç tutuşurluk özelliği ile güç tutuşurluk işleminde ortaya çıkacak potansiyel çevresel etkiler arasındaki dengenin gözetilmesi açısından uygulanan ön kurutmalı prosesin yanı sıra tekrarlı sol-jel kaplama işlemi de değerlendirilmiştir. Bunun için bu tez çalışmasının birinci kısmında nemli kumaşlardan P2-N kodlu kumaş sol-jel kaplama sayısı; bir, iki ve üç olacak şekilde tekrarlı kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Böylece sol-jel tekniği kullanılarak bir, iki ve üç kere kaplanmış üç ayrı kumaş elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında güç tutuşur nanosol, nemli ve ön kurutmalı kumaşlara daldırılmalı kaplama (dip-coating) tekniğine göre aktarılmıştır. Bu işlemin ardından, önce etüvde kurutma sonra ramözde fiksaj işlemleri gerçekleştirilmiştir. Böylece tek kaplama adımıyla sol-jel yöntemiyle güç tutuşur kumaşlar elde edilmiştir. Nanosolün kumaşlara aktarılması sırasında uygulanan işlem koşulları Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4 Nanosolün kumaşlara aktarılmasında uygulanan işlem koşulları

Kumaş Kodu	Kaplama Koşulları		Kurutma Koşulları		Fiksaj Koşulları	
	Silindir Basıncı (Bar)	Alınan Flotte (%)	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)
P1-S ve P1-K	2,2	90	100	22	140	3
P2-S ve P2-K	1,8	90	100	10	140	3
P3-S ve P3-K	1,9	90	100	8	140	3
K-S ve K-K	1,9	90	100	10	140	3
V-S ve V-K	2,2	90	100	20	140	3

Hem nanosol eldesi hem de nanosolün nemli ve ön kurutmalı kumaşlara tek adımda aktarılmasını gösteren işlem akışı Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4 Nanosol eldesi ve kumaşlara aktarılması

2.1.5 Güç Tutuşurluk Değerlendirmesi

Standart ve ön kurutmalı kumaşların güç tutuşurluk özellikleri ASTM D2863 – 13 standardıyla tanımlanan limit oksijen indeksi (LOI) testi ile değerlendirilmiştir. Deneyler ve güç tutuşurluk değerlendirmesi (LOI) iki tekrarlı olarak yapılmıştır, sonuç elde edilen değerlerin ortalaması olarak verilmiştir.

2.1.6 Proses Koşullarını Etkileyen Faktörlerin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada kullanılan kumaşlar, moleküler yapı itibarıyla selüloz esaslı olsalar da sıklık ve gramaj gibi ölçülen özellikleri açısından farklılıklar göstermektedirler. Ayrıca bu tez çalışması kapsamında ölçülmeyen kalınlık, gözenek boyutu, lif morfolojisi, kapılar yapı vb. gibi diğer yapısal, kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından da farklılıklar göstermeleri olasıdır. Tüm bu farklılıklar, bir tekstil ürünün güç tutuşurluk özelliklerini etkilediği gibi (Reeves, Perkins, Piccolo ve Drake, 1970) kumaşa uygulanan bitim işleminin etkinliğini ve koşullarını da belirlemektedir. Örneğin lif yapısına ve işlem koşullarına bağlı olarak alınan madde miktarı değişebilir (Mahltig ve Textor, 2008). Öte yandan nanosol ile muamele sonunda kumaş

yapısındaki lifler (özellikle selülozik lifler) şişmektedir. Lifin şişmesi de kumaşın kuruma davranışıyla ilgili olarak amorf bölgelerdeki sıvı ve gaz karışımının taşınması için mevcut boş alanı etkileyebilmektedir (Sousa, Motta Lima ve Pereira, 2006). Ayrıca kurutma ve fiksaj gibi ısı işlemler sırasında buharlaşma veya kondenzasyonu sağlayan karşılıklı ısı ve nem transferi, (1) sıcaklık, (2) nem dağılımı, (3) gözenek boyutu dağılımı ve (4) lif çapından önemli ölçüde etkilenmektedir (Zhu ve Li, 2003). Bu gerçekler, hem malzemenin iç yapısının hem de proses koşullarının kurutmada önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Sousa, Motta Lima ve Pereira, 2006; Santos, Llanos, Quadri ve Rocha, 2015). Ancak tüm bu kumaş ve lif özelliklerinin tayini ve güç tutuşur kumaş eldesinde proses dinamiklerine olan etkisi, *gözenekli ortamlarda ısı, kütle ve momentum transferi* ile ilişkili bir takım başka analiz ve çalışmalar gerektirmesi sebebiyle çalışma kapsamının dışında tutulmuştur. Sol-jel güç tutuşur kaplama sonrasında nem içeriğinin gravimetrik yolla belirlenmesi doğru sonuçlar vermeyeceğinden ve bu tez çalışması kapsamında ısı ve kütle transferi hesapları yapılmadığından ve/veya hassas nem ölçerler kullanılmadığından güç tutuşur kumaşların nem içeriği bilinmemektedir. Ancak alınan flotte miktarı ile kurutmada uzaklaştırılacak çözücü miktarının her kumaş için farklı olabileceği göz önünde bulundurularak tüm kumaşlar için aynı proses koşullarının gözetilmesi uygun görülmüştür ve aşağıdaki maddeler belirlenmiştir.

- Fular makinasında farklı silindir basınçları ayarlanarak nanosolün tüm kumaşlara aynı flotte miktarında (%90) aktarılması sağlanmıştır. Böylece kaplama prosesinde kumaşlar kendi yapılarına bağlı olarak gerekli miktarlarda nanosol ile muamele edilirken alınan flotte miktarı sabit kalmıştır.
- Etüvde aynı sıcaklık değerlerine karşılık farklı kurutma süreleri ayarlanarak kumaşlara aktarılmış olan nanosolün aynı oranda uzaklaştırılması sağlanmıştır (kumaşa bağlı olarak alınan flotte miktarının ortalama %85'i). Böylece daha önce yürütülen deneysel çalışmaların bir sonucu olarak tüm kumaşlar için aynı ya da benzer kurutma etkisi sağlandığı düşünülmektedir.
- Ramözde gerçekleştirilen ön kurutma ve fiksaj prosesleri için aynı sıcaklık değerleri ve aynı işlem süreleri ayarlanarak proses koşulları sabit tutulmuştur.

Kumaş üretiminde tüketilen toplam enerjinin yaklaşık yarısı kurutmadan kaynaklanmaktadır (Kudra, 2004). Bununla beraber enerji tüketimi endüstriyel, pilot ve laboratuvar ölçeklerinde büyük farklılıklar göstermektedir (Manda ve diğer., 2015). Bu sebeple bu çalışmada kurutma ve fiksaj proseslerinde tüketilen enerjinin, ticari ve pilot uygulamalara kıyasla daha fazla olacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Bundan ayrı olarak, kurutma prosesinin kendi içindeki termodinamik süreçler de enerji tüketiminde oldukça belirleyicidir. Çünkü çoğu malzemenin kurutulması, sadece serbest suyun buharlaşması için değil, aynı zamanda kılcal su giderimi için de enerji gerektirmektedir (Tarakçıoğlu, 1984). Bu bağlamda enerji verimliliği ya da enerjinin etkin kullanılması, malzeme özelliklerinin (gözeneklilik, sorpsiyon özellikleri, boyut ve şekil, nem bağlanması vb.), kurutucu tasarımının (tip, konfigürasyon, ısıtma modu vb.), çalışma parametrelerinin (kurutma sıcaklığı, gaz akış oranı vb.) ve ilk son nem içeriğinin bir fonksiyonu (Menshutina, Gordienko, Voynoykiy ve Kudra, 2004) olarak bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Dolayısıyla kumaş yapısına zarar vermeden gerçekleştirilebilecek enerji verimliliğinin yüksek olduğu bir kurutmanın sağlanamamış olabileceğine de dikkat edilmelidir.

2.2 Yaşam Döngüsü Analizi

2.2.1 Amaç ve Kapsam Tanımı

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen yaşam döngüsü analizinin amacı, sol-jel yöntemi ile güç tutuşur kumaş eldesinin sürdürülebilir üretim tasarımı açısından tekrarlı sol-jel kaplama ve kaplama öncesi ön kurutma işleminin uygulanması gibi güç tutuşurluk özelliğinin derecesini arttırıcı farklı proses koşullarının değerlendirilerek, çevresel etkilerinin nicel olarak belirlenmesidir. Bunun için öncelikle P2-N kodlu kumaş için sol-jel reçetesiyle yapılan kaplamaların, sol-jel kaplama tekrar sayısı açısından çevresel etkileri araştırılmıştır (Sistem I). Daha sonra aynı reçetenin tek adımda farklı kumaş tiplerine (pamuklu, keten ve viskon) uygulanmasıyla ortaya çıkan çevresel etkiler araştırılmıştır (Sistem II ve Sistem III). Farklı fiziksel yapı ve özelliklere sahip pamuk, keten ve viskon kumaşlar hem normal işlem akışında hem de ön kurutma prosesi dahil edildiğinde uygulama sırasında kumaşın bünyesine aldığı

madde miktarı bakımından farklılıklar göstermektedirler. Bu farklılıklar elde edilen güç tutuşur kumaşların ağırlıkça farklı olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle kumaş ağırlığından ziyade, elde edilen kumaşın eş birim alana sahip olması değerlendirme açısından uygun görülerek fonksiyonel birim“sol-jel yöntemi ile 1 m² güç tutuşur kumaş eldesi” olarak belirlenmiştir.

2.2.2 Sistem ve Sistem Sınırları

Çalışma kapsamında sol-jel güç tutuşurluk uygulamasını içeren ve farklı işlem gruplarından oluşan üç sisteme ilişkin çevresel etkiler değerlendirilmiştir. Sistemlerin karşılaştırıldığı akış şeması Şekil 2.5’te verilmiştir. Sistem I yalnızca P2-N için ayrı bir, iki ve üç kat sol-jel kaplama yapılmasını, Sistem II nemli kumaşlar için bir kat sol-jel kaplama yapılmasını ve Sistem III ön kurutmalı kumaşlar için bir kat sol-jel kaplama yapılmasını içermektedir.

SİSTEM I



Sol-jel kaplama sayısı farklılaştırılmış kumaş

SİSTEM II



Nemli kumaşlar

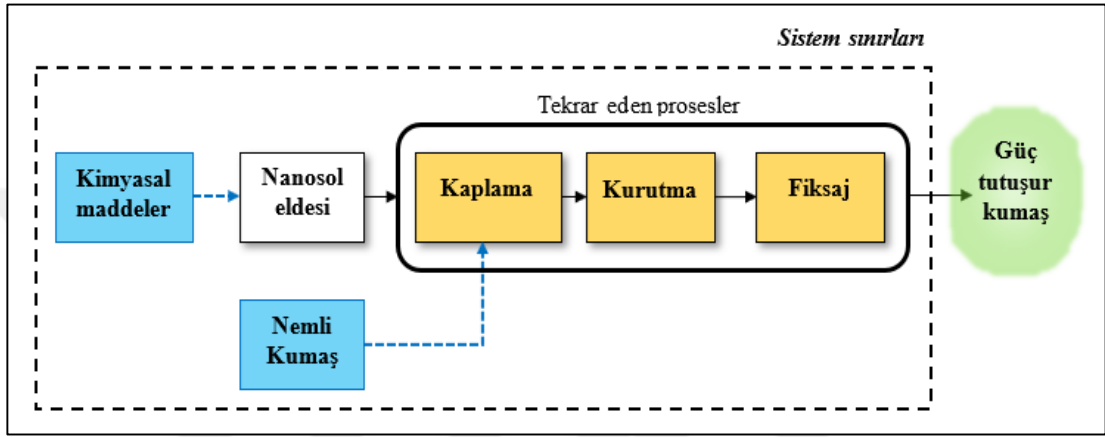
SİSTEM III



Ön kurutmalı kumaşlar

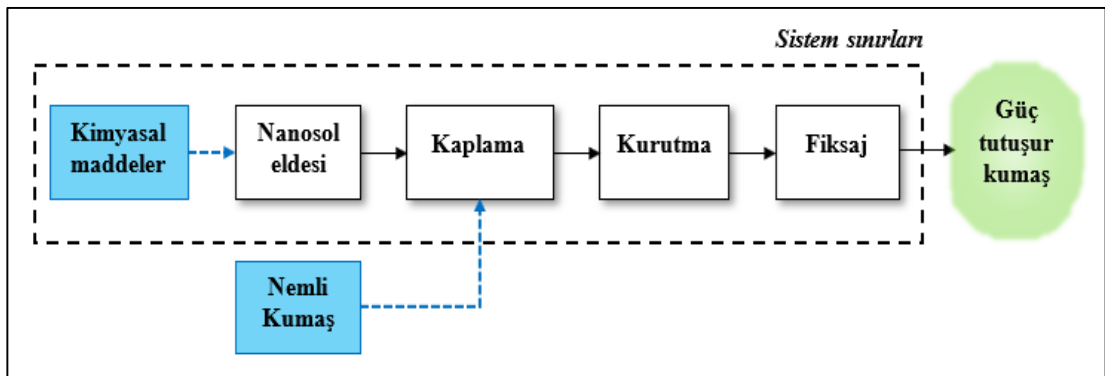
Şekil 2.5 Yaşam döngüsü analizinde karşılaştırılan Sistem I, Sistem II ve Sistem III (Kişisel arşiv)

Sol-jel kaplama sayısının farklılaştırıldığı “Sistem I” dört ana işlem grubundan oluşmaktadır. Bunlar; nanosol eldesi, kaplama (daldırmalı kaplama), kurutma ve fiksaj işlemleridir. Sistem I’e ilişkin YDA sistem sınırları Şekil 2.6’da verilmiştir. Her bir kaplama için gerekli miktar ölçüsünde bir defaya mahsus olmak üzere nanosol hazırlandıktan sonra, kaplama, kurutma ve fiksaj işlemleri öngörülen sol-jel kaplama sayısına göre tekrar edilerek güç tutuşur kumaşların üretimi gerçekleştirilmiştir.



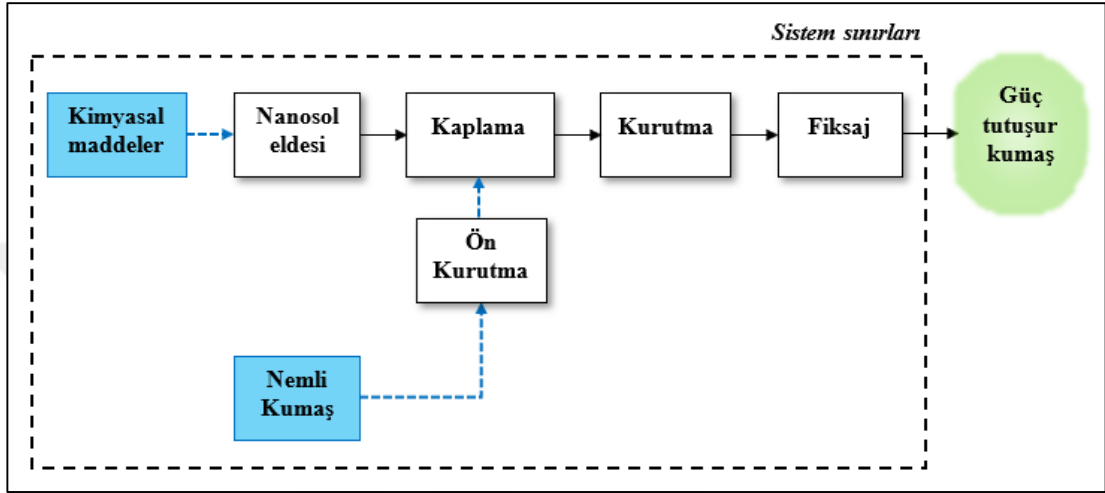
Şekil 2.6 Sistem I bir, iki ve üç adımlı kaplamalar için sistem sınırları

Nemli kumaşlar için yalnızca bir kat güç tutuşur sol-jel uygulamasının gerçekleştirildiği Sistem II; nanosol eldesi, kaplama (daldırmalı kaplama), kurutma ve fiksaj işlemlerinden oluşmaktadır. Nemli kumaşlar için YDA sistem sınırları Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7 Sistem II nemli kumaşlar için sistem sınırları

Nemli kumaşların kaplama öncesi ön kurutma işlemine tabi tutulduğu ve yalnızca bir kat güç tutuşur sol-jel uygulamasının gerçekleştirildiği Sistem III; nanosol eldesi, ön kurutma, kaplama (daldırmalı kaplama), kurutma ve fiksaj işlemlerinden oluşmaktadır. Ön kurutmalı kumaşlar için YDA sistem sınırları Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8 Sistem III ön kurutmalı kumaşlar için sistem sınırları

2.2.3 Envanter Analizi

Bu çalışmada, sol-jel yönteminin uygulanmasına ilişkin reçete Sergin (2017)’in tez çalışmasından alınmıştır. Tez çalışması kapsamında ilgili reçete laboratuvar ölçeğinde tekrar edilerek, sistem bileşenleri sol-jel kaplama sayısı (Sistem I), kumaş türü ve ön işlemler farklılaştırılarak (Sistem II ve Sistem III), yaşam döngüsü analizi için gerekli girdi çıktı verileri elde edilmiştir. Her bir kumaş için kullanılan nanosol miktarı alınan flotte miktarına eşittir. Kumaşlar, kaplama sırasında alınan flotte miktarından daha fazla miktarda nanosol ile muamele edilmiş olsa bile fular makinası silindirlerinde sıkma sonucunda uzaklaştırılan nanosol, fular makinasının teknesine geri döndürülmüştür. Böylece herhangi bir kumaş için belirlenmiş flotte miktarını (%90) alması sağlandıktan sonra diğer bir kumaş için kalan flotte ile çalışılmıştır. Bu çalışma, laboratuvar uygulamaları sırasında flottenin kullanımı açısından ticari ölçekli işletme koşullarına benzetilmeye çalışılmıştır ve olası kayıplar göz ardı edilmiştir.

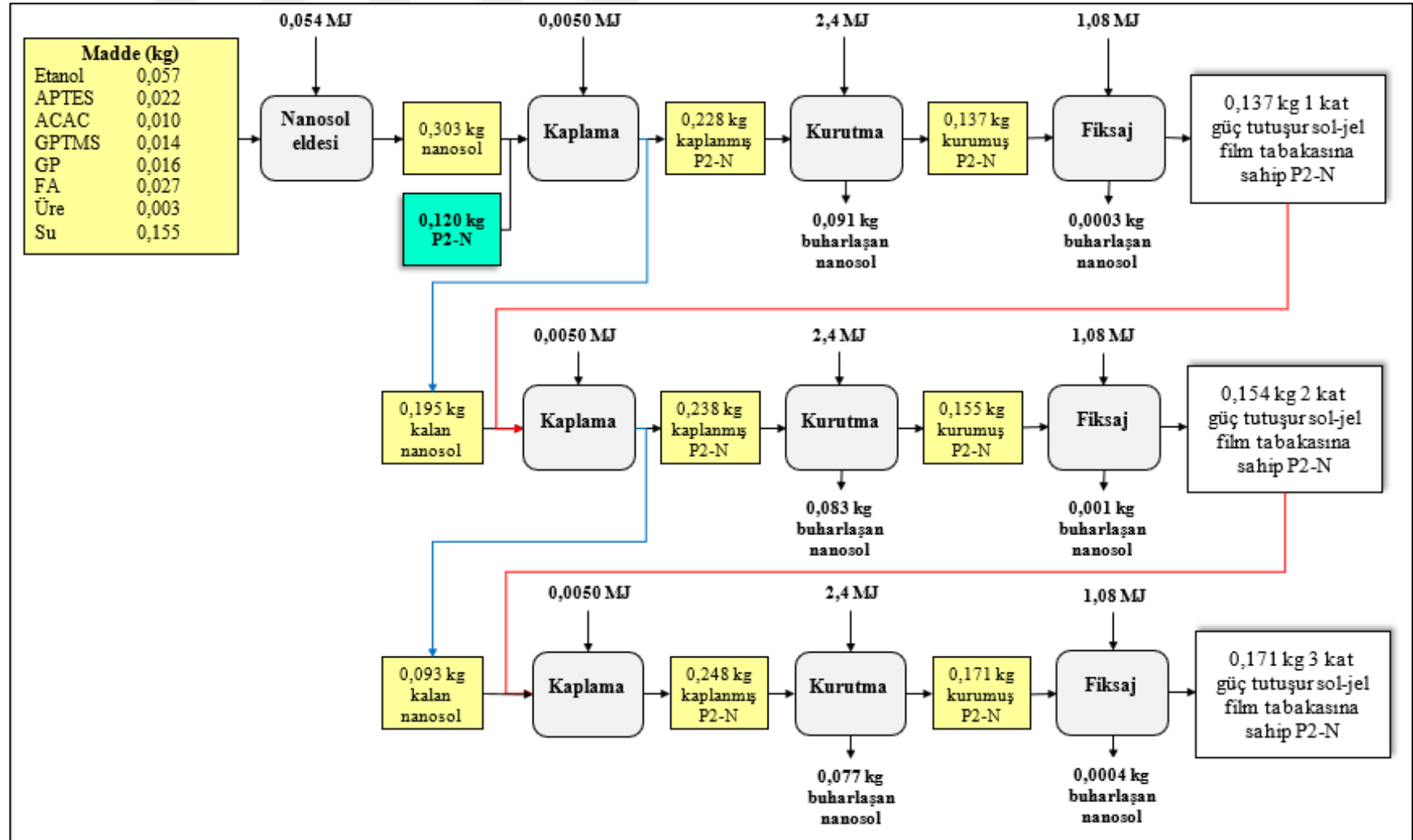
Ön kurutma, nanosol eldesi, kaplama, kurutma ve fiksaj prosesleri için enerji tüketimleri kullanılan makinaların (Tablo 2.2) kurulu gücü ve ısı işlem içeren proseslerin süreleri (Tablo 2.4) üzerinden Eşitlik 2.4'e göre MJ biriminde hesaplanmıştır ve Tablo 2.5'te verilmiştir.

$$\text{Enerji tüketimi (MJ)} = \text{Güç (W)} \left(\frac{\frac{1}{\text{S}} \frac{10^{-6} \text{MJ}}{\text{J}}}{\text{W}} \right) \times \text{Süre (dk)} \left(\frac{60 \text{ s}}{\text{dk}} \right) \quad (2.4)$$

Tablo 2.5 Ön kurutma, nanosol eldesi, kaplama, kurutma ve fiksaj prosesleri için enerji tüketimleri

Kumaş kodu	Ön kurutma (MJ)	Nanosol eldesi (MJ)	Kaplama (MJ)	Kurutma (MJ)	Fiksaj (MJ)
P1-N ve P1-K	1,8	0,054	0,005	5,28	1,08
P2-N ve P2-K	1,8	0,054	0,005	2,4	1,08
P3-N ve P3-K	1,8	0,054	0,005	1,92	1,08
K-N ve K-K	1,8	0,054	0,005	2,4	1,08
V-N ve V-K	1,8	0,054	0,005	4,8	1,08

Proses koşullarının kıyaslanabilmesi için ön kurutma, kurutma ve fiksaj işlemleri aynı sıcaklıkta gerçekleştirilmiş, ancak nanosol aktarılmış kumaşların kuruması, kumaş yapılarına bağlı olarak farklı sürelerde gerçekleşmiştir. Bu da Tablo 2.5'te görüldüğü gibi kumaşların kurutma prosesleri arasında enerji tüketimleri açısından farklılıklar oluşturmuştur. Envanter analizinde birim prosesler ve temel akışlara örnek olması açısından tekrarlı kaplama sayısına dayanan sol-jel kaplama prosesinin (üç katlı kaplama için) envanter analizi Şekil 2.9'da verilmiştir. Bu tez çalışmasında fonksiyonel birim 1 m² ve P2-N kumaşının gramajı 120 g/m² olduğu için P2-N kumaşının sol-jel kaplama prosesinin başlangıcında ağırlığı 0,120 kg'dır. Birinci kaplama adımının sonunda 0,137 kg, ikinci kaplama adımının sonunda 0,154 kg ve son olarak üçüncü kaplama adımının sonunda 0,171 kg olan ve üzerinde üç kat sol-jel film tabakası oluşturulan güç tutuşur P2-N kumaşı elde edilmiştir. Burada, fonksiyonel birimin işlem koşullarına göre değişen kumaş ağırlığından etkilenmediğine dikkat edilmelidir. Sol-jel kaplama işlemi kaç defa uygulanırsa uygulansın sonuçta elde edilen güç tutuşur kumaş 1 m² alana sahiptir.



Şekil 2.9 Sistem I üç katlı sol-jel kaplama envanter analizi

Sistem I sol-jel kaplama sayısına göre nanosol eldesi prosesi envanter tablosu Tablo 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.6 Sistem I kaplama sayısına göre nanosol eldesi prosesi envanter tablosu

Nanosol eldesi			
Girdiler	Sol-jel kaplama sayısı		
	1	2	3
Etanol (kg)	0,020	0,039	0,057
APTES (kg)	0,008	0,015	0,022
ACAC (kg)	0,004	0,007	0,010
GPTMS (kg)	0,005	0,009	0,014
GP (kg)	0,006	0,011	0,016
FA (kg)	0,010	0,019	0,027
Üre (kg)	0,001	0,002	0,003
Su (kg)	0,055	0,107	0,155
Enerji (MJ)	0,054	0,054	0,054
Çıktılar	1	2	3
Nanosol (kg)	0,108	0,209	0,303

Sistem I sol-jel kaplama sayısına göre kaplama, kurutma ve fiksaj prosesleri envanter tablosu Tablo 2.7’de verilmiştir. Tekrarlı kaplamalar kümülatif sonuç verdiği için Tablo 2.7, bir kaplama yapılacaksa 1.sol-jel kaplama tablosu, iki kaplama yapılacaksa 1. ve 2. sol-jel kaplama tabloları, üç kaplama yapılacaksa 1., 2. ve 3. sol-jel kaplama tabloları göz önüne alınarak okunmalıdır. Envanter analizinde birim proseslerin bir akış içinde modellendiği hatırlanırsa, bir birim prosesin çıktısı sonraki birim prosesin girdisini oluşturmaktadır (Bkz. Şekil 2.9). Bundan ayrı olarak, kullanılan diğer girdiler de (enerji) envanter analizinde dikkate alınmıştır ve envanter tablolarında verilmiştir.

Tablo 2.7 Sistem I sol-jel kaplama sayısına göre kaplama, kurutma ve fiksaj prosesleri envanter tablosu

1.SOL-JEL KAPLAMA					
Kaplama		Kurutma		Fiksaj	
Girdiler		Girdiler		Girdiler	
P2-N (kg)	0,120	Kaplama yapılmış P2-N (kg)	0,228	Kurumuş P2-N (kg)	0,137
Nanosol (kg)	0,108				
Enerji (MJ)	0,0050	Enerji (MJ)	2,4	Enerji (MJ)	1,08
Çıktılar		Çıktılar		Çıktılar	
Kaplama yapılmış P2-N (kg)	0,228	Kurumuş P2-N (kg)	0,137	Fikse olmuş P2-N (kg)	0,137
		Buharlaştıran nanosol (kg)	0,091	Buharlaştıran nanosol (kg)	0,0004
2.SOL-JEL KAPLAMA					
Kaplama		Kurutma		Fiksaj	
Girdiler		Girdiler		Girdiler	
Fikse olmuş P2-N (kg)	0,137	Kaplama yapılmış P2-N (kg)	0,238	Kurumuş P2-N (kg)	0,155
Nanosol kg	0,101				
Enerji (MJ)	0,0050	Enerji (MJ)	2,4	Enerji (MJ)	1,08
Çıktılar		Çıktılar		Çıktılar	
Kaplama yapılmış P2-N (kg)	0,238	Kurumuş P2-N (kg)	0,155	Fikse olmuş P2-N (kg)	0,154
		Buharlaştıran nanosol (kg)	0,083	Buharlaştıran nanosol (kg)	0,0005
3.SOL-JEL KAPLAMA					
Kaplama		Kurutma		Fiksaj	
Girdiler		Girdiler		Girdiler	
Fikse olmuş P2-N (kg)	0,154	Kaplama yapılmış P2-N (kg)	0,248	Kurumuş P2-N (kg)	0,171
Nanosol kg	0,093				
Enerji (MJ)	0,00504	Enerji (MJ)	2,4	Enerji (MJ)	1,08
Çıktılar		Çıktılar		Çıktılar	
Kaplama yapılmış P2-N (kg)	0,248	Kurumuş P2-N (kg)	0,171	Fikse olmuş P2-N (kg)	0,171
		Buharlaştıran nanosol (kg)	0,077	Buharlaştıran nanosol (kg)	0,0004

Sistem I için sol-jel kaplama sayısına göre nanosol miktarları, örneğin üç katlı kaplama yapılacaksa Tablo 2.6’da verildiği gibi 0,303 kg olacak şekilde hazırlandıktan sonra, Tablo 2.7’de verildiği gibi birinci kaplamada 0,108 kg nanosol kullanılıp Şekil 2.9’da görüldüğü gibi 0,195 kg nanosol kalmaktadır. İkinci kaplamada 0,101 kg nanosol kullanılıp Şekil 2,9’da görüldüğü gibi 0,093 kg nanosol kalmaktadır. Üçüncü kaplamada kalan son 0,093 kg nanosol de kullanılarak toplamda hazırlanan 0,303 kg nanosolün tamamı kullanılmış olmaktadır.

Sistem II nemli kumaşlar için nanosol eldesi prosesi envanter tablosu Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.8 Sistem II nanosol eldesi prosesi envanter tablosu

Nanosol Eldesi					
Girdiler	P1-N	P2-N	P3-N	K-N	V-N
Etanol(kg)	0,041	0,020	0,027	0,027	0,036
APTES(kg)	0,016	0,008	0,010	0,010	0,014
ACAC(kg)	0,007	0,004	0,005	0,005	0,006
GPTMS(kg)	0,010	0,005	0,006	0,006	0,008
GP(kg)	0,011	0,006	0,007	0,007	0,010
FA(kg)	0,019	0,010	0,013	0,013	0,017
Üre(kg)	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002
Su(kg)	0,111	0,055	0,074	0,074	0,097
Enerji (MJ)	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054
Çıktılar	P1-N	P2-N	P3-N	K-N	V-N
Nanosol (kg)	0,216	0,108	0,144	0,144	0,189

Sistem II nemli kumaşlar için kaplama, kurutma ve fiksaj prosesleri envanter tablosu Tablo 2.9’da verilmiştir.

Tablo 2.9 Sistem II kaplama, kurutma ve fiksaj prosesleri envanter tablosu

Kaplama					
Girdiler	P1-N	P2-N	P3-N	K-N	V-N
Nemli kumaş (kg)	0,240	0,120	0,160	0,160	0,210
Nanosol (kg)	0,216	0,108	0,144	0,144	0,189
Enerji (MJ)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Çıktılar	P1-N	P2-N	P3-N	K-N	V-N
Kaplama yapılmış kumaş (kg)	0,456	0,228	0,304	0,304	0,399
Kurutma					
Girdiler	P1-N	P2-N	P3-N	K-N	V-N
Kaplama yapılmış kumaş (kg)	0,456	0,228	0,304	0,304	0,399
Enerji (MJ)	5,3	2,4	1,9	2,4	4,8
Çıktılar	P1-N	P2-N	P3-N	K-N	V-N
Kurumuş kumaş (kg)	0,283	0,137	0,187	0,190	0,248
Buharlaşan nanosol (kg)	0,173	0,091	0,117	0,114	0,151
Fiksaj					
Girdiler	P1-N	P2-N	P3-N	K-N	V-N
Kurumuş kumaş (kg)	0,283	0,137	0,187	0,190	0,248
Enerji (MJ)	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
Çıktılar	P1-N	P2-N	P3-N	K-N	V-N
Fikse olmuş kumaş (kg)	0,283	0,136	0,180	0,190	0,245
Buharlaşan nanosol (kg)	0,0002	0,0011	0,0072	0,0002	0,0028

Sistem III ön kurutmalı kumaşlar için ön kurutma ve nanosol eldesi prosesleri envanter tablosu Tablo 2.10’da verilmiştir.

Tablo 2.10 Sistem III ön kurutma ve nanosol eldesi prosesleri envanter tablosu

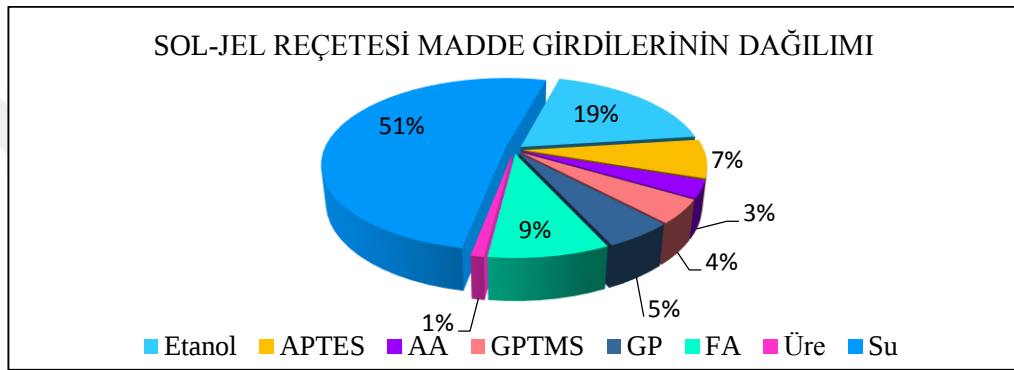
Ön Kurutma					
Girdiler	P1-N	P2-N	P3-N	K-N	V-N
Nemli kumaş (kg)	0,240	0,120	0,160	0,160	0,210
Enerji (MJ)	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Çıktılar	P1-K	P2-K	P3-K	K-K	V-K
Ön kurutmalı kumaş (kg)	0,224	0,113	0,148	0,147	0,181
Buharlaşan nem (kg)	0,016	0,007	0,012	0,013	0,029
Nanosol Eldesi					
Girdiler	P1-K	P2-K	P3-K	K-K	V-K
Etanol (kg)	0,050	0,023	0,029	0,028	0,043
APTES (kg)	0,019	0,009	0,011	0,011	0,016
ACAC (kg)	0,009	0,004	0,005	0,005	0,007
GPTMS (kg)	0,012	0,006	0,007	0,007	0,010
GP (kg)	0,014	0,006	0,008	0,008	0,012
FA (kg)	0,024	0,011	0,014	0,013	0,020
Üre (kg)	0,003	0,001	0,002	0,001	0,002
Su (kg)	0,136	0,064	0,079	0,077	0,116
Enerji (MJ)	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054
Çıktılar	P1-K	P2-K	P3-K	K-K	V-K
Nanosol (kg)	0,266	0,125	0,155	0,150	0,227

Sistem III ön kurutmalı kumaşlar için kaplama, kurutma ve fiksaj prosesleri envanter tablosu Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.11 Sistem III kaplama, kurutma ve fiksaj prosesleri envanter tablosu

Kaplama					
Girdiler	P1-K	P2-K	P3-K	K-K	V-K
Ön kurutmalı kumaş (kg)	0,224	0,113	0,148	0,147	0,181
Nanosol (kg)	0,266	0,125	0,155	0,150	0,227
Enerji (MJ)	0,00504	0,00504	0,00504	0,00504	0,00504
Çıktılar	P1-K	P2-K	P3-K	K-K	V-K
Kaplama yapılmış kumaş (kg)	0,490	0,237	0,303	0,298	0,407
Kurutma					
Girdiler	P1-K	P2-K	P3-K	K-K	V-K
Kaplama yapılmış kumaş (kg)	0,490	0,237	0,303	0,298	0,407
Enerji (MJ)	5,28	2,40	1,92	2,40	4,80
Çıktılar	P1-K	P2-K	P3-K	K-K	V-K
Kurumuş kumaş (kg)	0,288	0,140	0,186	0,182	0,237
Buharlaştıran nanosol (kg)	0,203	0,097	0,116	0,116	0,170
Fiksaj					
Girdiler	P1-K	P2-K	P3-K	K-K	V-K
Kurumuş kumaş (kg)	0,287819	0,140	0,186	0,182	0,237
Enerji (MJ)	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
Çıktılar	P1-K	P2-K	P3-K	K-K	V-K
Fikse olmuş kumaş (kg)	0,2875	0,138	0,182	0,182	0,235
Buharlaştıran nanosol (kg)	0,000319	0,0025	0,0043	0,0003	0,0023

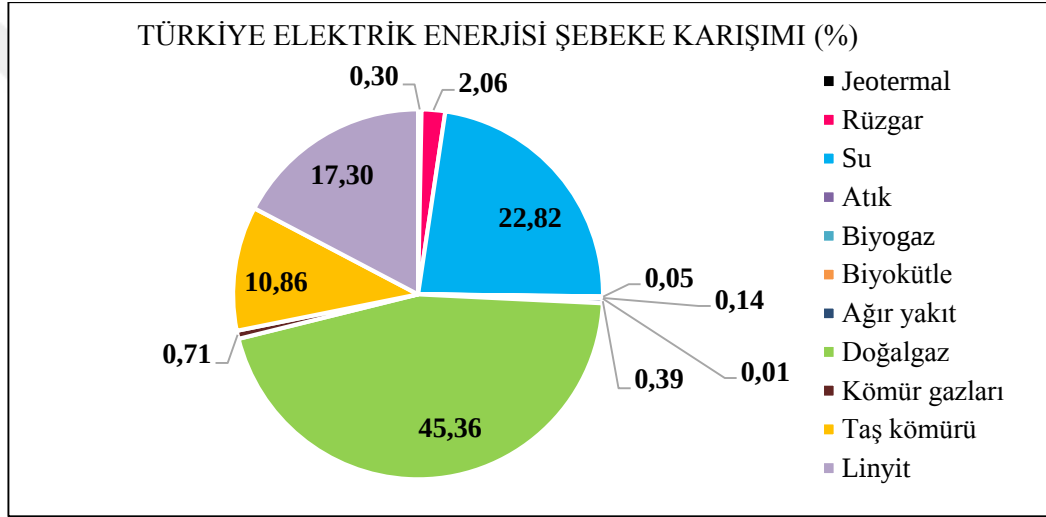
Envanter analizi sürecinde doğru, kesin ve geçerli verilerin bulunmadığı durumlarda bazı varsayımların yapılması gerekli görülmüştür. Varsayımların üretim sisteminin esasına aykırı düştüğü durumlarda ise ilgili veriler sistem sınırları dışında bırakılmıştır. Her sistemde çevresel yük fonksiyonel birime göre hesaplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan sol-jel reçetesinin madde girdilerinin dağılımı Şekil 2.10'da verilmiştir. Sol-jel reçetesindeki maddelerin çoğunun prosese özel kimyasallar olmaları ve/veya işlemde kullanılan toplam kimyasal miktarının %1'inin altında olmaları nedeniyle ihmal edilmiştir.



Şekil 2.10 Sol-jel reçetesi madde girdilerinin dağılımı

Yaşam döngüsü analizi değerlendirmesine dahil edilen girdiler; sol-jel reçetesinde miktar olarak en önemli üç girdi olan su, etanol ve asit kaynağı ile elektrik enerjisi tüketimidir. GaBi veri tabanındaki bilgilere göre, (1) etanolün endüstriyel üretimi, etilenin hidrasyonu ile gerçekleştirilmektedir, (2) ham ürün, aldehitlerin uzaklaştırılması için damıtılmakta ve sodyum hidroksit ilavesiyle saflaştırılmaktadır. Etanolün üretim sürecinde elektrik enerjisi, termal enerji, buhar gibi girdilerin sağlanması için kömür, ham petrol, doğal gaz ve uranyum gibi enerji kaynakları kullanılmaktadır. Veritabanında yer almaması nedeniyle fosforik asit üretim verilerinin yerine hidroklorik asit üretimine ilişkin veriler kullanılmıştır. GaBi veritabanındaki bilgilere göre, klorik asit, klorinasyon ve halojen değişim reaksiyonlarının bir yan ürünü olarak üretilmektedir (örneğin epiklorohidrin veya metanol üretimi). Endüstriyel olarak kullanılan tüm klorik asitlerin yaklaşık %90'ı bu şekilde üretilirken %8'lik bir kısmı özellikle saf hidrojen klorür gerektiğinde doğrudan hidrojen ile klorun reaksiyonu ile üretilmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda, nanosol eldesinde kullanılan fosforik asitin konsantrasyonu (%85) ve nanosolde istenen pH

aralığına (3-3,5) etkisi gözetildiğinde en uygun seçeneğin yan ürün olarak üretilen hidroklorik asit olduğuna karar verilmiştir. Yapılan varsayımda kullanılan asit miktarı aynı tutulmuştur. Çalışmada kullanılan su, yeryüzü sularının ters osmoz yöntemi ile iyonlarından arındırılmasıyla elde edilen saf sudur. Ulusal veya bölgesel elektrik enerjisi şebeke karışımı (electricity grid mix), ülkeye/bölgeye özgüdür ve elektrik enerjisi üretimi için o bölgede kullanılan farklı birincil enerji kaynaklarının üretimini ve komşu ülkelerden ithalatına ilişkin verileri içermektedir. GaBi veritabanındaki verilere göre Türkiye için elektrik enerjisi şebeke karışımı çeşitli enerji kaynaklarından gelen katkılarla Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11 Türkiye elektrik enerjisi şebeke karışımı (GaBi veritabanı)

2.2.4 Etki Değerlendirmesi

Potansiyel çevresel etkiler, Leiden Üniversitesi Çevre Bilim Merkezi’nin geliştirmiş olduğu CML (2001) karakterizasyon faktörleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Sistemlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla seçilen etki kategorileri; abiyotik kaynakların tükenim potansiyeli, asitleştirme potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, insan toksisite potansiyeli, temiz su ekotoksisite potansiyeli, deniz ekotoksisite potansiyeli, toprak ekotoksisite potansiyeli, küresel ısınma potansiyeli, ozon tükenim potansiyeli ve fotokimyasal ozon oluşturma potansiyelidir. Yaşam döngüsü analizi yöntemi ile GaBi 6 (Thinkstep) yazılımı ve GaBi veri tabanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

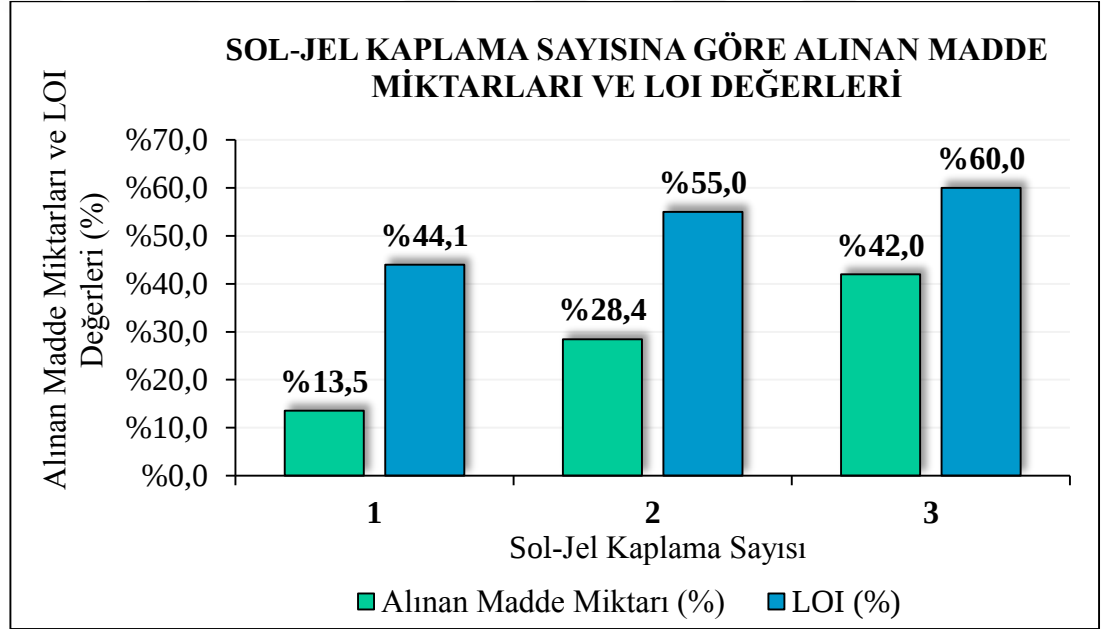
BÖLÜM ÜÇ

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1 Güç Tutuşur Kumaş Eldesine İlişkin Bulgular

3.1.1 Sol-Jel Kaplama Sayısına Yönelik Güç Tutuşurluk Bulguları (Sistem I)

Tez çalışmasının tekrarlı sol-jel güç tutuşur kaplamaları içeren birinci kısmı için P2-N kumaşına uygulanan kaplama sayısına göre alınan madde miktarları ve LOI değerleri Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Bir, iki ve üç katlı sol-jel uygulamaları için alınan madde miktarları ve LOI değerleri

Kaplama koşulları sabit tutulmak kaydıyla, ilk kaplamada %90 oranında flotte alımı söz konusu iken, ikinci kaplamaya geçildiğinde alınan flotte miktarı %74,5’e ve üçüncü kaplama sonunda %60’a düşmüştür. Ancak alınan madde miktarı kümülatif bir sonuç olduğundan birinci, ikinci ve üçüncü kaplamalardaki alınan madde miktarları sırasıyla %13,5, %28,5 ve %42 olarak bulunmuştur. Kaplama sayısının artmasına bağlı olarak alınan madde miktarı arttıkça, LOI değerleri de artmıştır. Hem alınan madde miktarı hem de LOI değerleri açısından ortaya çıkan artış, ilk kaplamadan sonra ikinci kaplamada belirgin şekilde kendini gösterirken, üçüncü kaplamada bir miktar

azalmıştır. Bu da muhtemelen kumaşın ikinci kaplama adımından sonra doyma noktasına yaklaşmasından kaynaklanmaktadır.

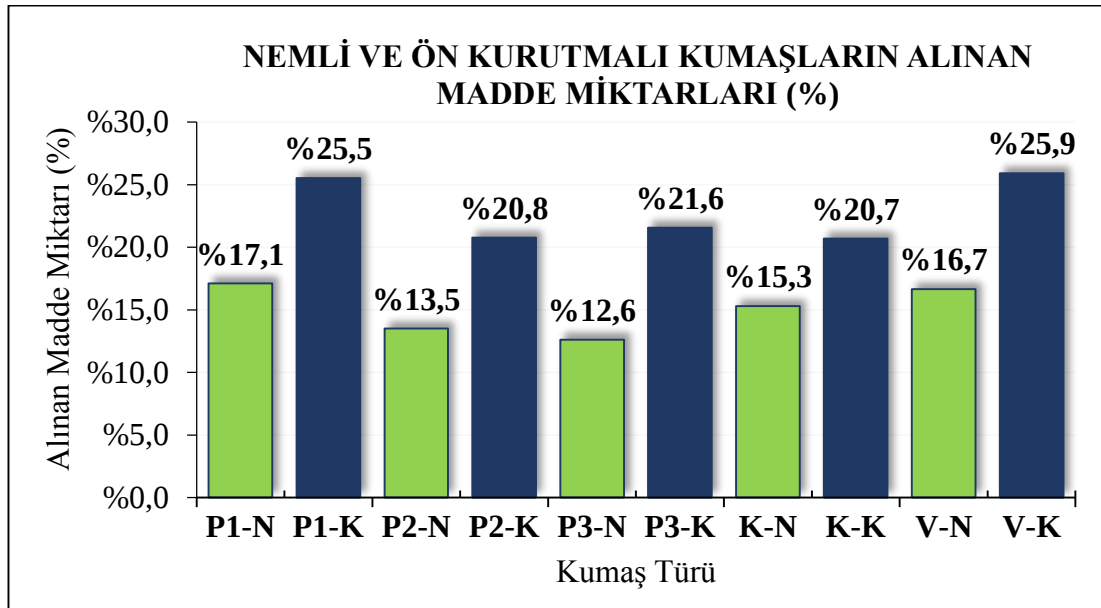
3.1.2. Nemli (Sistem II) ve Ön Kurutmalı (Sistem III) Kumaşlara Yönelik Güç Tutuşurluk Bulguları

3.1.2.1 Nem Kaybı (%)

Tez çalışmasının ikinci kısmı için uygulanan ön kurutma prosesi sonucunda oluşan nem kayıpları; P1 için %6,7, P2 için %6, P3 için %7,7, K için %8,0 ve V için %14,0 olarak bulunmuştur. Ortaya çıkan nem kayıpları kumaş yapısına atfedilebilecek özellikler sebebiyle değişkenlik gösterse de kullanılan tüm kumaşlar selüloz esaslı olduğu için elde edilen bulgular, tipik bir selülozik kumaştan uzaklaştırılabilecek nem içeriğiyle tutarlıdır.

3.1.2.2 Ön Kurutmanın Alınan Madde Miktarına Etkisi

Sol-jel yöntemi kullanılarak %90 A_F ile çalışıldığında nemli ve ön kurutmalı kumaşların alınan madde miktarları Şekil 3.2’de verilmiştir.

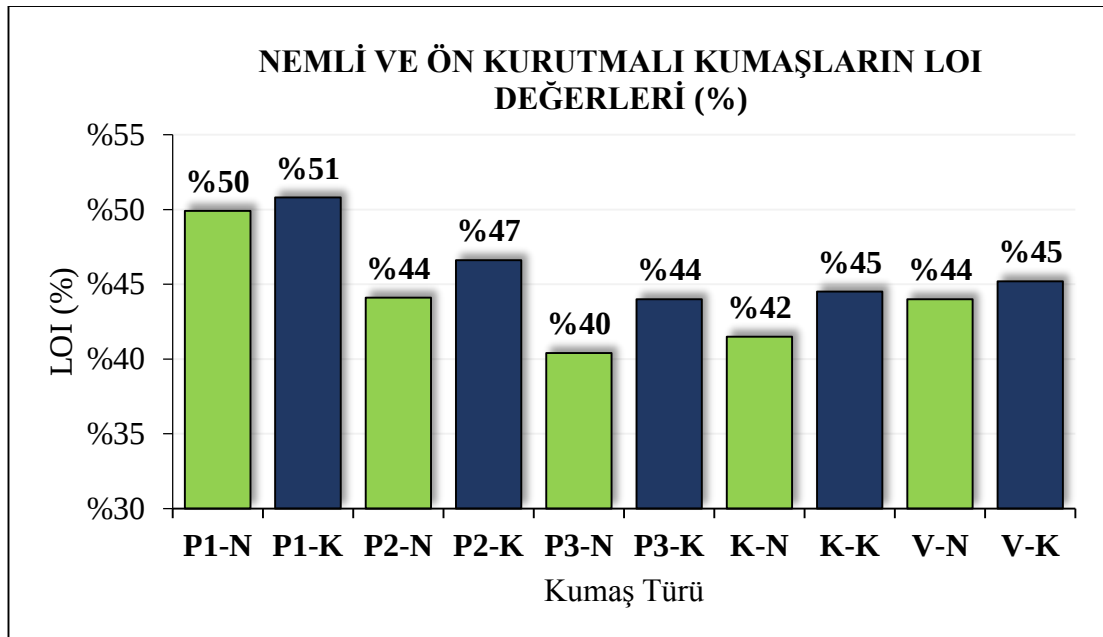


Şekil 3.2 Nemli ve ön kurutmalı kumaşlar için alınan madde miktarları (%)

Ön kurutma yapılan kumaşların alınan madde miktarı sırasıyla P1 için %8,4, P2 için %7,3, P3 için %9, K için %5,4 ve V için %9,3 artmıştır. Ön kurutma prosesinin selülozun yapısında bulunan fonksiyonel gruplara bağlı suyun uzaklaştırılmasını sağlayarak bu gruplardan daha fazla kimyasal bağlanmasına imkan tanıdığı düşünülmektedir.

3.1.2.3 LOI (%) Değerleri

İşlem görmemiş selülozik kumaşların LOI değerleri P1, P2, P3, K ve V için sırasıyla %19,2, %18,2, %18,2, %18,4 ve %18,9 olarak ölçülmüştür. Nemli ve ön kurutmalı güç tutuşur kumaşların LOI (%) değerleri Şekil 3.3'te verilmiştir. Şekil 3.3'te verilen sonuçlara bakıldığında nemli kumaşlar için LOI değerlerinin %40 ila %50 oranlarına ulaştığı ve selüloz esaslı tekstil materyalleri için oldukça yüksek değerler olduğu görülmektedir. Selülozik materyaller söz konusu olduğunda, P ve N esaslı güç tutuşur maddelerin şu anda kullanılan en iyi performans gösteren sistemler olduğu kanıtlanmıştır (Alongi ve diğer., 2013; Akşit, Onar, Kutlu, Sergin ve Yakın 2016; Deh, Gahr ve Buchmeiser, 2016; Samanta, Basak ve Chattopadhyay, Sergin 2017) ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar da bu argümanı desteklemektedir.

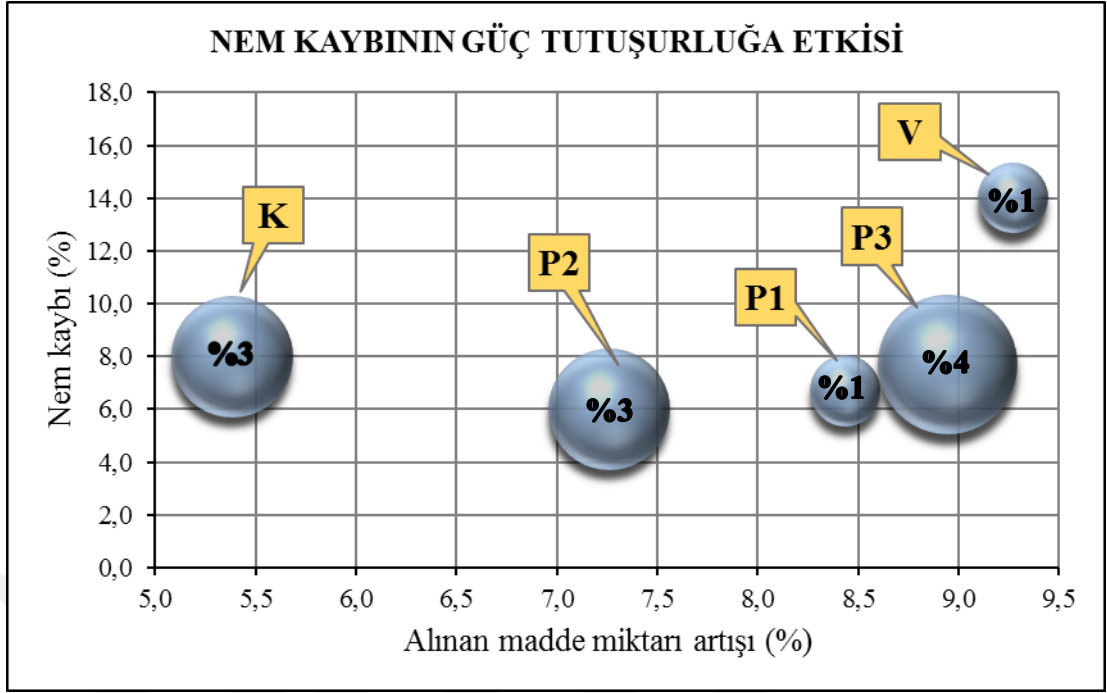


Şekil 3.3 Nemli ve ön kurutmalı kumaşların LOI (%) değerleri

Ağır kumaşların tutuşması zaman alacağından genel olarak ağır gramajlı tekstillerin daha hafif olanlara nazaran daha geç tutuştuğu bilinmektedir (Hollen, Saddler ve Langford, 1968). Özellikle pamuklu kumaşlar için gramaj ve sıklık arttıkça LOI değerinin arttığı bildirilmiştir (Horrocks, Tune ve Ceniella, 1988). Güç tutuşurluk performansı açısından benzerlik gözetildiğinde, alınan madde miktarının ağır gramajlı kumaşlar için %12-15, hafif gramajlı kumaşlar için %20 olması gerektiği belirtilmiştir (EFRA, 2012). Sol-jel kaplama prosesinde tüm kumaşlar için aynı proses koşullarının geçerli olduğu göz önünde bulundurulursa, P1-N'nin nemli kumaşlar arasında en yüksek gramaja (240 g/m^2), en yüksek sıklığa (çözü 60 tel/cm ve atkı 26 tel/cm)ve en yüksek alınan madde miktarına (%17,5) sahip olması nedeniyle en yüksek LOI değerine (%50) sahip olması beklenen bir sonuçtur. Çünkü kumaş yapısı daha sıkı oldukça yanmayı destekleyecek erişilebilir oksijen seviyesi azalmaktadır. Bu açıdan P3-N'nin en düşük LOI değerine sahip olması (%40) gramaj etkisinden ayrı olarak örme kumaş yapısında olduğu için dokuma kumaşlara göre daha gözenekli olmasına atfedilebilir (Hollen, Saddler ve Langford, 1968). Sıklığın LOI değerine etkisi keten kumaşta daha belirgin olarak gözlemlenmiştir. K-N dokuma kumaşlar arasında en az sıklığa sahip kumaş olarak en düşük LOI değerine (%42) sahiptir. P1-N ve V-N ile kıyaslandığında hem gramajı hem de sıklığı daha düşük olduğu için daha düşük LOI değerine sahip olması beklenen bir durumken P2-N'ye kıyasla gramajı daha fazla olmasına rağmen LOI değerinin daha düşük olması muhtemelen sıklığının daha az olmasına dayanmaktadır. Öte yandan P2-N (120 g/m^2 , çözü 26 tel/cm ve atkı 30 tel/cm) ile V-N (210 g/m^2 , çözü 36 tel/cm ve atkı 30 tel/cm) arasında (1) kaydadeğer bir gramaj farkı, (2) az da olsa sıklık farkı ve (3) alınan madde miktarı açısından viskon kumaşın lehine %3,2 fark bulunmasına rağmen LOI değerleri (%44) aynı bulunmuştur. Çalışma kapsamında kullanılan kumaşlardaki iplik numaraları ve üretim teknolojileri bilinmemektedir, ancak P2-N ve V-N arasında ortaya çıkan bu sonuç, LOI ile güçlü korelasyon gösteren ve gramaj/sıklık parametreleriyle birlikte iplik cinsi ve numarasını da içeren örtme faktörünün etkisine atfedilebilir (Horrocks, Tune ve Ceniella, 1988). LOI değerlerinin birçok kumaş değişkeninden etkilendiği bilinmektedir (Nazara ve Horrocks, 2008). Bu nedenle nemli kumaşlar açısından ortaya çıkan LOI değerlerinin yalnızca alınan madde miktarının artmasıyla doğrusal

olarak artmadığı ve en azından gramaj, sıklık, doku tipi, iplik özellikleri gibi parametrelerin de sonuca etki ettiği görülmektedir.

Ön kurutmalı kumaşların LOI değerlerinin, nemli kumaşların LOI değerlerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Hem lifin hem de kaplamanın nem tutuma kapasitesi arttıkça kumaşların (özellikle pamuklu kumaşların) güç tutuşurluk özelliğinin arttığı bilinmektedir (Zeronian, Ellison ve Alger, 1980; Horrocks, Tune ve Ceniella, 1988; Zhu ve Li, 2011; Alongi ve Malucelli, 2013). Bu sebeple uygulanan ön kurutma prosesi ile kumaşların nem içeriği azalmış olsa da hem yüksek oranda su içeren nanosolün hem de yüksek nem tutuma kapasitesine sahip olan sol-jel (silika) kaplamanın (Alongi, Ciobanu ve Malucelli, 2011) birleşik etkisiyle elde edilen güç tutuşur kumaşların nem içeriğinin, güç tutuşurluğu destekleyecek seviyede yeniden kazanımı olasıdır. En azından sol-jel reçetesinin sağladığı etkili güç tutuşurluk, ön kurutma prosesinden sonra da devam ettiğine ve hatta arttığına göre (1) kumaşların ortam havasında bulunan su buharını yeniden kazanmalarının mümkün olduğu ölçüde kısıtlanmış olması, (2) ön kurutma prosesiyle uzaklaştırılan su buharı yerine selülozun fonksiyonel gruplarına nanosolde bulunan GPTMS'nin bağlanması, (3) kumaşların nemli durumuna göre silika kaplama ile selüloz arasındaki çapraz bağların daha da artırılması ve (4) ön kurutmalı kumaşların nem içeriğinin nemli kumaşlara yakın ve belki de daha fazla olması potansiyel olarak mümkündür. Bu nedenle ön kurutmalı kumaşların LOI değerlerinin tüm bu etkenler sonucunda arttığı düşünülmektedir. Ön kurutma prosesi sonucunda kumaş yapısından uzaklaştırılan su (nem) miktarları, buna bağlı olarak alınan madde miktarlarındaki ve LOI değerlerindeki artış Şekil 3.4'te bir arada verilmiştir. Şekil 3.4'te dikey eksen nem kaybını, yatay eksen alınan madde miktarındaki artışı ve kabarcıklar o kumaş için ön kurutma sonunda ortaya çıkan LOI değerindeki artışı ifade etmektedir.



Şekil 3.4 Ön kurutmalı proseslerde nem kaybına karşılık alınan madde miktarı ve LOI değeri artışları

Şekil 3.4'te verildiği gibi, P1, P2, P3, K ve V kodlu kumaşlardan (nemli kumaşlar) uzaklaşan su miktarları sırası ile %6,7, %6, %7,7, %8,0 ve %14,0 olup ön kurutma işleminden sonra alınan madde miktarlarındaki artışlar %8,4, %7,3, %9, %5,4 ve %9,3 olarak gerçekleşmiştir. Ön kurutma prosesi ile alınan madde miktarının artırılması, LOI değerlerinde %1 ila %4 oranında artış sağlamıştır. Ancak LOI değerlerindeki artış beklenildiği gibi alınan madde miktarındaki artış ile doğru orantılı olmamıştır. Şekil 3.4'te görüldüğü gibi pamuklu kumaşlardan uzaklaşan nem miktarı ve alınan madde miktarı açısından P1 ve P3 birbirine yakın olmakla birlikte P3 için LOI değerlerindeki artış %4 olurken P1 için %1 olmuştur. Bu durum, başta ön kurutma proses koşullarının P1 ve V gibi ağır kumaşlar açısından daha az etkili olması sonucuyla ilgilidir. Ancak burada tıpkı nemli kumaşlarda olduğu gibi yalnızca gramajın etkisi değil, başka faktörlerin de etkisi söz konusudur. Bu da pamuklu kumaşlar için gramaj arttıkça LOI değerinin arttığı, fakat neme karşı hassasiyetin azaldığıyla ilgili diğer bir argümana işaret etmektedir (Horrocks, Tune ve Ceniella, 1988). Bu sonuç P1 için sol-jel reçetesinin başarısının, güç tutuşurluk işleminin nemli ya da ön kurutmalı kumaşlara uygulanmasından çok etkilenmediğini göstermektedir. LOI artış oranı %1 olsa da P1 hala tüm kumaşlar arasında en yüksek (herhangi bir selülozik kumaş için de oldukça yüksek) LOI değerine sahiptir. Öte yandan tekstil yüzeyleri gibi gözenekli ortamların

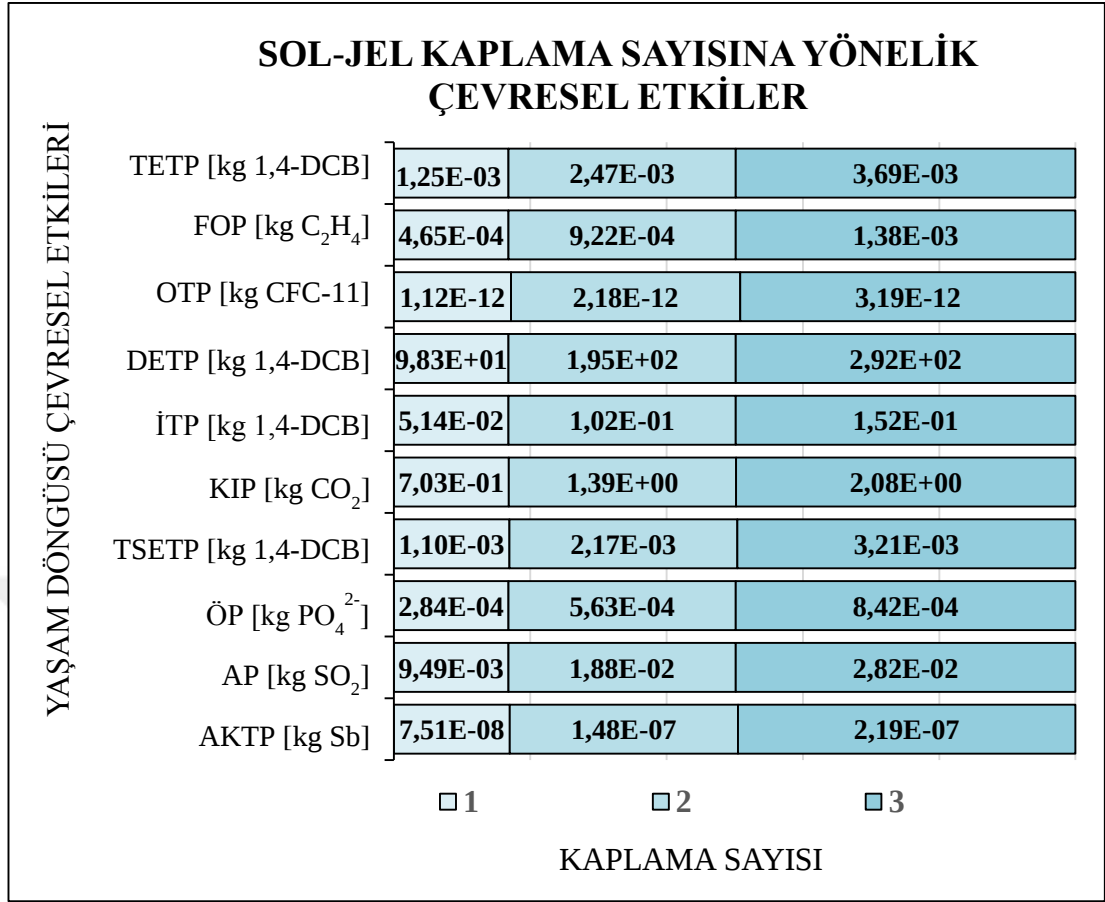
tüm makroskobik özellikleri az ya da çok gözenek yapısından etkilenmektedir (Dullen, 1979). Bu nedenle, LOI değerlerinin sadece alınan madde ile değil, aynı zamanda kumaşın yapısı ile de çok ilgili olduğu görülmektedir. P1'e kıyasla P3 için ortaya çıkan bu etkili artış gözenek yapısıyla ilgili olarak ortaya çıkmış olabilir. Pamuklu kumaşlar arasında P2'nin, en az alınan madde miktarıyla %3 LOI değeri artışı sağladığı görülmüştür.

Amorf bölgeler ve boşlukların iç yüzey alanı liflerin erişilebilirlik, reaktiflik ve adsorpsiyon özellikleri bakımından belirleyicidir (Stana-Kleinschek, Kreze, Ribitsch ve Strnad, 2001). Viskonun pamuğa göre daha büyük bir iç yüzey alanına sahip olduğu bilinmektedir (Klemm ve diğer., 1998). Bu da viskon kumaş açısından daha fazla nem tutmasına ve buna bağlı olarak ön kurutma esnasında daha fazla nemin uzaklaşmasına yol açmış olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte viskon kumaşta ön kurutma sırasında uzaklaştırılan su miktarının, çoğunlukla yüzey suyu olduğu yani selüloz molekülleri üzerinde dolaylı olarak bulunan su moleküllerinden geldiği ve iç kısımlardaki fonksiyonel gruplara bağlı suyun çok fazla uzaklaştırılamadığı düşünülmektedir. Bu durum suyun hidroksil grupları üzerinden uzaklaştırılmamasına bağlı olarak çapraz bağlanmanın ve dolayısıyla alınan madde miktarının doğrusal olarak artmama sebebini açıklamaktadır.

3.2 Yaşam Döngüsü Analizine Yönelik Bulgular

3.2.1 Sol-Jel Kaplama Sayısına Yönelik Çevresel Etkiler (Sistem I)

Sol-jel kaplama prosesinin tekrar sayısına bağlı olarak bir, iki ve üç güç tutuşur film tabakasına sahip pamuklu kumaş (P2-N) için sonuçlar, Şekil 3.5'te on ayrı çevresel etki kategorisinde verilmiştir. Tüm etki kategorilerinde, artan sol-jel film tabakası sayısı ile tabaka sayısı ile ilişkilendirilmiş çevresel etkilerin arttığı görülmüştür.

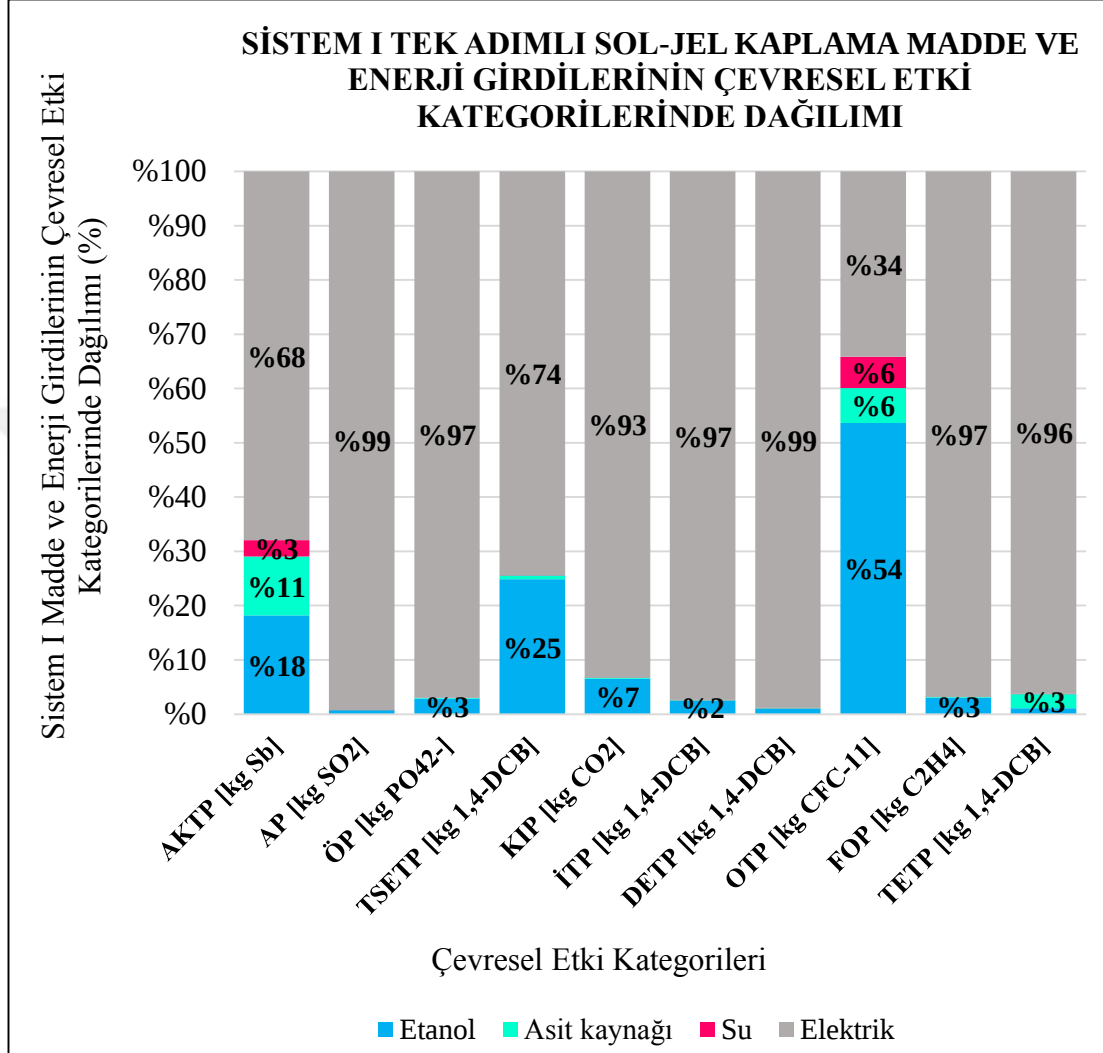


Şekil 3.5 Sol-jel kaplama sayısına göre ortaya çıkan çevresel etkiler

İlk kaplamadan sonra ikinci kaplamada tüm etki kategorilerinde ortalama %98 artış görülürken, üçüncü kaplamada (ikinci kaplamadan üçüncü kaplamaya geçişte) çevresel yük artışı %50 dolaylarındadır. Bu durum güç tutuşurluk bulgularında ilk ilki kaplama arasında alınan flotte miktarının daha fazla olduğu ancak üçüncü kaplamada kumaşın doyma noktasına yaklaşmasıyla azaldığı bulgusuyla uyumlu görünmektedir. Bu sebeple güç tutuşurluk için kullanılan madde ve enerji miktarı arttıkça çevresel etkilerde de artış görülmüştür. AKTP, TSEP ve OTP kategorindeki artışlar nispeten az bulunmuştur. Ancak kümülatif olarak değerlendirildiğinde ve bir kat kaplama esas alındığında tüm etki kategorilerinde ortalama olarak iki kat kaplamanın %98 ve üç kat kaplamanın %195 çevresel etki artışına yol açtığı bulunmuştur.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, bir, iki ya da üç kaplama yapılmasının, madde ve enerji girdilerinin belirlenen çevresel etki kategorisine olan katkılarının oranlarını anlamlı şekilde değiştirmedeği görülmüştür. Bu nedenle emsal teşkil etmesi

bakımından yalnızca tek adımlı kaplamaya ait sonuçların verilmesi uygun görülmüştür (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Tek kat sol-jel kaplama için sistem girdilerin çevresel etki kategorilerine göreli katkıları

Madde ve enerji girdilerinin çevresel etkiler üzerindeki görelî katkıları incelendiğinde elektrik üretim proseslerinin ozon tüketim potansiyeli haricinde tüm etki kategorilerine dikkate değer düzeyde bir katkısı olduğu görülmektedir. Asitleştirme, ötrofikasyon, insan toksisitesi, deniz ekotoksisite kategorileri temelde elektrik enerjisi üretimiyle ilişkilidir. Abiyotik kaynakların tüketim potansiyeline, etanol üretim prosesleri %18, asit kaynağının üretimi prosesleri %11 ve su tüketimi %3 oranında katkıda bulunmaktadır. Ancak bu kategorideki ana etken, proseslerde kullanılan elektrik enerjisinin üretiminde petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklı

hammadelerin kullanılmasıyla ilişkilidir ve elektrik üretiminin bu etki kategorisine katkısı %68'dir. Temiz su ekosistemlerine etkisi bakımından TSETP kategorisinde etanol (%25) üretiminde kullanılan kimyasalların ve enerji üretimi (%74) için hammadelerin çıkarılması sırasında suya salınan toksik maddelerin etkisi öne çıkmaktadır. Küresel ısınma potansiyeli, özellikle doğal gaz, linyit ve taş kömürünün yanma prosesleriyle ilişkili olarak elektrik üretimi sırasında ortaya çıkmaktadır (Guinee, 2015). KIP ile ilgili bulgular temelde elektrik enerjisinin kullanımına dayanmaktadır. Etanolün küresel ısınma potansiyeli etki kategorisine katkısının %7 olduğu belirlenmiştir. Ozon tükenim potansiyelini oluşturan başlıca sebep etanol kullanımı (%54) olarak görülürken elektrik tüketimi (%34) ikinci sırada yer almaktadır. Bununla birlikte su ve asit kullanımı az da olsa toplamda %12 oranında katkı vermiştir. Etanolün ozon tükenim potansiyeline katkısı, uçucu organik bileşik olması sebebiyle üretim sırasında havaya salınımıyla ilişkili olarak öne çıkmaktadır. Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli, %3 oranında etanolden %97 oranında elektrik enerjisi üretimi sırasında oluşan emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Toprak ekotoksikite potansiyelinde de elektriktüketiminin katkısının baskın olduğu süreçlerin etkisi öne çıkmakla birlikte, asit kullanımı sebebiyle az da olsa bir katkı (%3) görülmektedir.

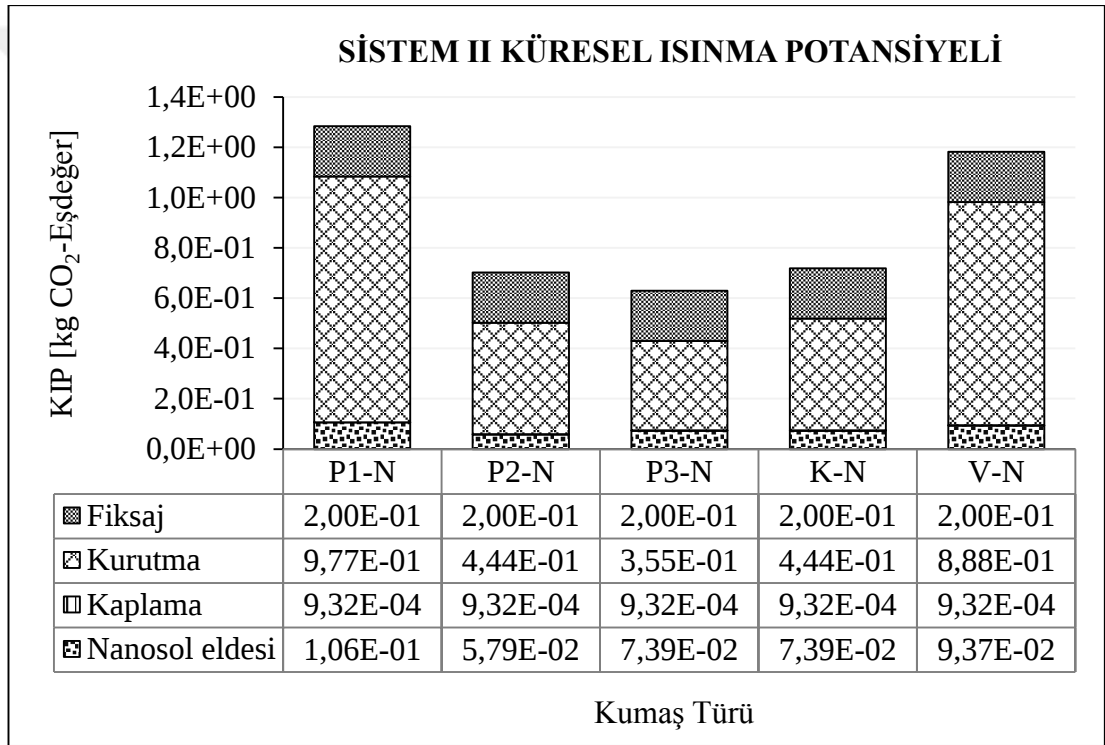
Madde ve enerji girdileri esas alındığında, bazı etki kategorilerindeki çevresel verilen katkıların temelde enerji tüketimiyle ilişkili olması sistemin bütünü için anlamlı bir fark yaratmadığından sonraki bölümde değerlendirmeye alınan etki kategorilerinde kısıtlamaya gidilmiştir.

3.2.2 Nemli (Sistem II) ve Ön Kurutmalı (Sistem III) Kumaşların Sol-jel Kaplamalarına Yönelik Çevresel Etkiler

3.2.2.1 Küresel Isınma Potansiyeli

Sistem II (nemli kumaşlar) için küresel ısınma potansiyeli sonuçları Şekil 3.7'de verilmiştir. Küresel ısınma potansiyelinin temelde kurutma ve fiksaj gibi enerji tüketiminin baskın olduğu süreçlerden kaynaklandığı görülmüştür. Kurutma süresi

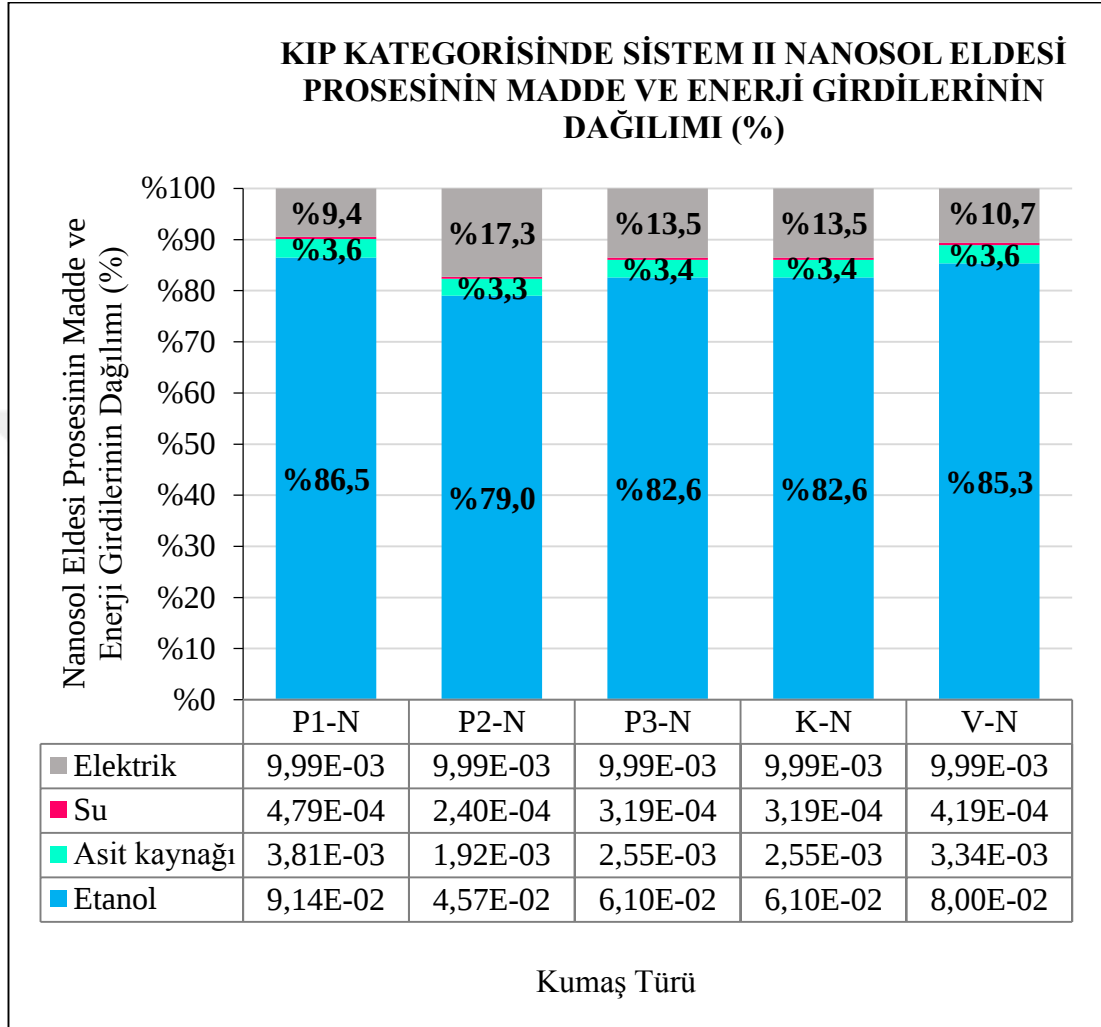
uzadıkça artan enerji tüketimi sistemin karbon ayak izini artırmıştır. Bu durum özellikle P1-N ve V-N gibi nispeten ağır ve uzun sürede kuruyan kumaşlarda daha belirgin olarak gözlenmiştir. Öte yandan P3-N, P2-N'ye göre daha fazla ve K-N ile eş miktarda nanosol almasına rağmen her iki kumaştan da daha az sürede kuruması nedeniyle Sistem II içinde en az küresel ısınma potansiyeline sahip kumaş olmuştur. Bu durum, kurutma süresini artırmadığı sürece kullanılan nanosol miktarının artırılmasının, sistemin toplam karbon ayak izine ihmal edilebilir bir etkisi olduğunu göstermektedir. Kaplama prosesinin, yalnızca çok düşük bir enerji tüketimiyle gerçekleştirilmesi sebebiyle Sistem II içindeki katkısının ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür.



Şekil 3.7 Sistem II için küresel ısınma potansiyeli

Nanosol eldesi prosesinde artan kumaş gramajına bağlı olarak kullanılan nanosol miktarı arttıkça, nanosol eldesi prosesinin KIP kategorisine olan katkısı artmıştır. Nanosol eldesi prosesinin KIP kategorisine katkısı, prosesin kendi içindeki madde ve enerji girdilerinin dağılımına göre Şekil 3.8’de verilmiştir. Nanosol eldesi prosesinden gelen katkılar incelendiğinde, etanol kullanımından gelen katkının kumaş yapısına bağlı olmaksızın baskın olduğu bulunmuştur. Öte yandan tüm kumaşlar için su

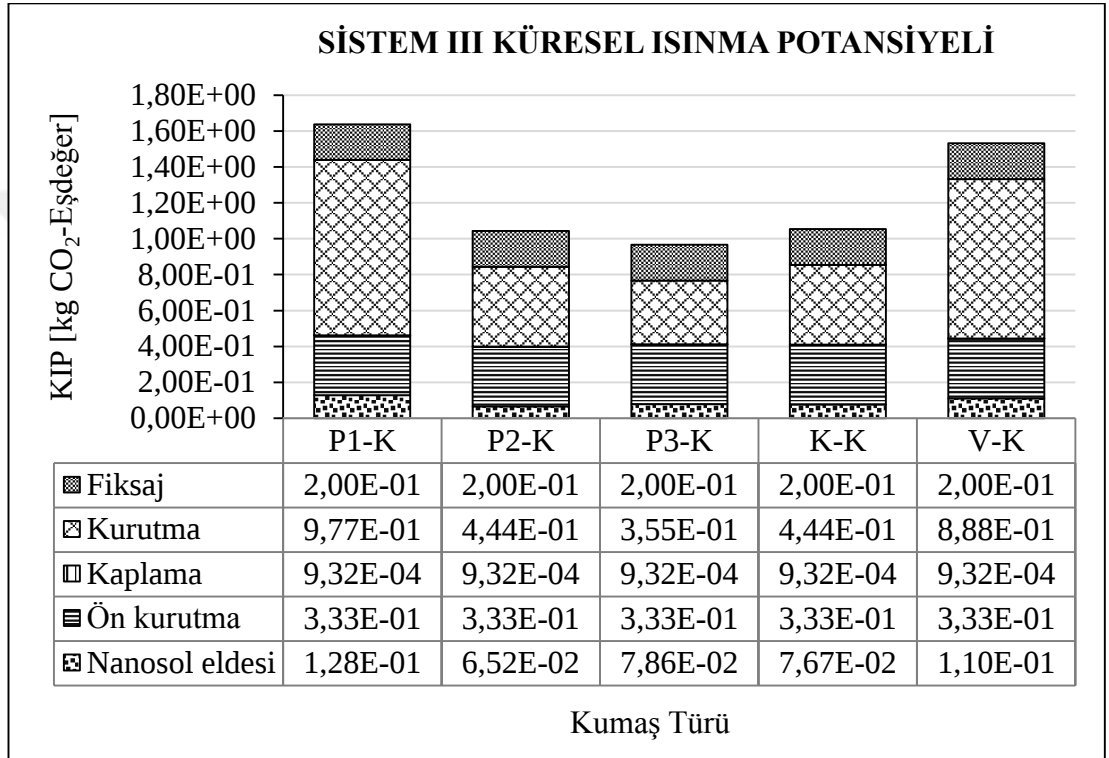
tüketiminden gelen katkı %1'in altında kalırken asit kullanımının katkısı %3,3 ila %3,6 arasında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 3.8 KIP kategorisinde Sistem II nanosol eldesi prosesinin madde ve enerji girdilerinin dağılımı

Sistem II genelinde küresel ısınma potansiyelinin, temelde elektrik enerjisi tüketimine dayandığı ve kurutma prosesinin KIP kategorisinde belirleyici işlem aşaması olduğu görülmüştür. Etanol kullanımının, ortalama %8 payla bu kategori için katkı veren ikinci önemli girdi olduğu belirlenmiştir. Nanosol eldesinde kullanılan asit ve su miktarının, KIP kategorisine doğrudan etkisinin yok denecek kadar az olduğu görülmüştür. Bununla birlikte kumaş sıklığının kumaşların kuruma süreleri üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle kullanılan su miktarının kumaşların kuruma davranışlarını etkileyebilecek diğer faktörlerle birlikte doğrudan olmasa da dolaylı şekilde sistemin karbon ayak izini etkilediği görülmüştür.

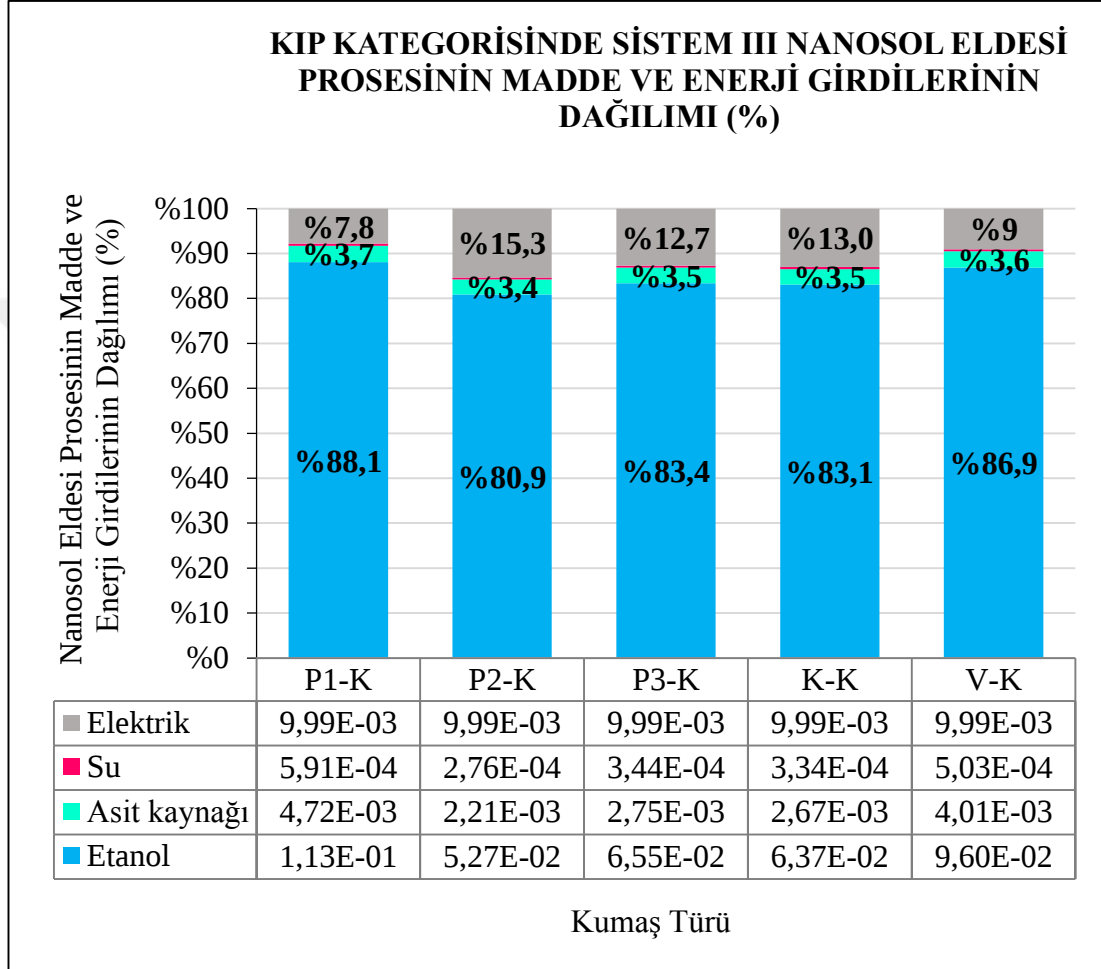
Sistem III (ön kurutmalı kumaşlar) için küresel ısınma potansiyeli sonuçları Şekil 3.9’ da verilmiştir. Sistem III için bu kategoride ortaya çıkan sonuçlar, enerji baskın süreçlerin varlığı sebebiyle Sistem II ile benzerlik göstermektedir. Ancak Sistem III, ön kurutma prosesinden kaynaklanan ek enerji ve nanosol tüketimine bağlı olarak, daha yüksek küresel ısınma potansiyeline sahiptir.



Şekil 3.9 Sistem III için küresel ısınma potansiyeli

Karbon ayak izi açısından Sistem III kumaşlarında ortaya çıkan bu artış, kurutma süresinin uzun olduğu P1-K ve V-K kumaşlarında sırasıyla %28 ve %30 iken P2-K, P3-K ve K-K kumaşlarında sırasıyla %48, %54 ve %47 olarak bulunmuştur. Bu durum, Sistem II içinde (ön kurutma yapılmadan önce) daha düşük karbon ayak izine sahip kumaşların ön kurutma prosesinden çok daha fazla etkilendiklerini göstermektedir. Ön kurutmalı kumaşların karbon ayak izi artışının %94 ila %99’undan sorumlu olan girdi ek elektrik tüketimidir. Yalnızca P1-K ve V-K için sırasıyla %6 ve %5 oranında gelen KIP katkılarının artan nanosol alımıyla ilgili olduğu görülmüştür. Sistem III nanosol eldesinin KIP kategorisine katkısı, prosesin kendi içindeki madde ve enerji girdilerinin

dağılımına göre Şekil 3.10'da verilmiştir. Nanosol eldesi prosesinde elektrik tüketimi her iki sistem için sabit bir değer olduğundan ($0,054 \text{ MJ}$), ortaya çıkan katkı ($9,99\text{E}-03$) da sabittir. Bu nedenle Sistem III kumaşlarında artan nanosol alımı, Sistem II'ye göre madde girdilerinin katkısını az da olsa artırmıştır.



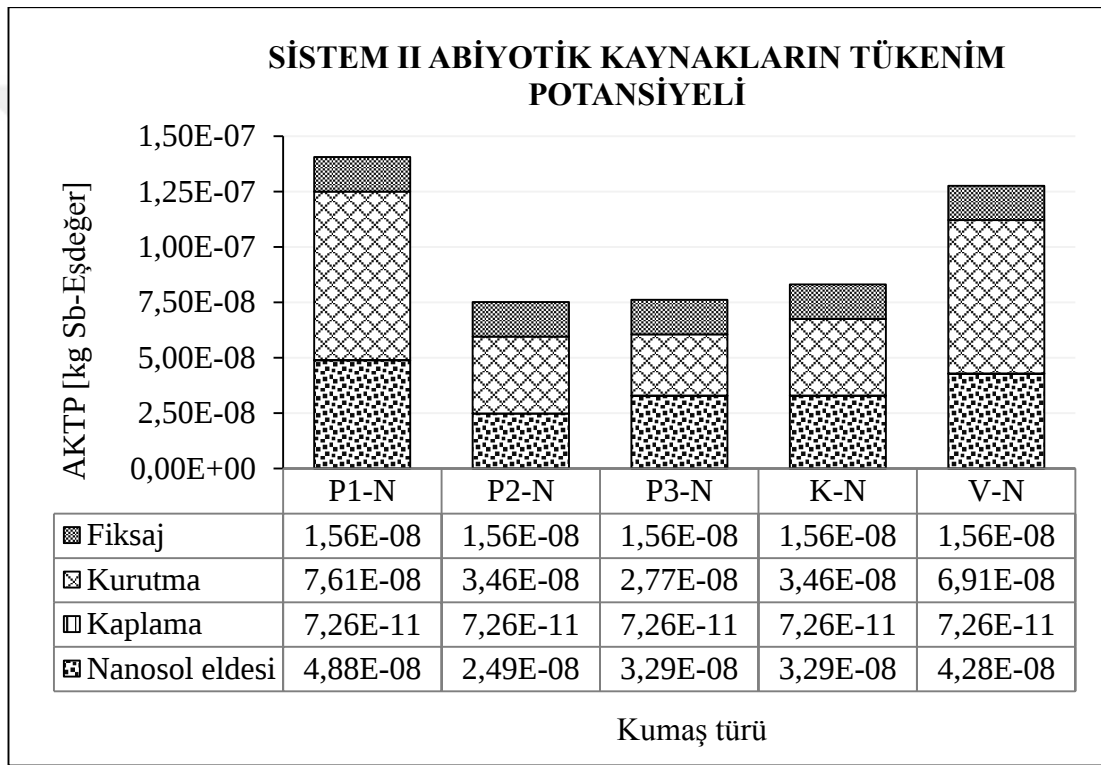
Şekil 3.10 KIP kategorisinde Sistem III nanosol eldesi prosesinin madde ve enerji girdilerinin dağılımı

Elektrik kullanımının KIP etki kategorisine en fazla katkıda bulunan aşamalardan biri olduğu bilinmektedir (Kılıç, Puig, Zengin, Zengin ve Fullana-i-Palmer, 2018). Sistem II ve Sistem III için küresel ısınma potansiyeli kategorisinde ortaya çıkan sonuçlar, elektrik kullanımının başlıca etken olduğunu göstermiştir ve KIP kategorisine olan etkisini doğrulamıştır. Elektrik kullanımından gelen bu katkı, elektrik enerjisinin üretim proseslerinde çoğunlukla fosil yakıtların kullanılmasıyla ilişkili olarak ortaya çıkmıştır. Küresel ısınma potansiyeline en fazla katkıda bulunan

ikinci etkenin etanolün üretim prosesleri (petrol ürünü olan etilenin hidrasyonu ile üretilmesi nedeniyle) olduğu görülmüştür.

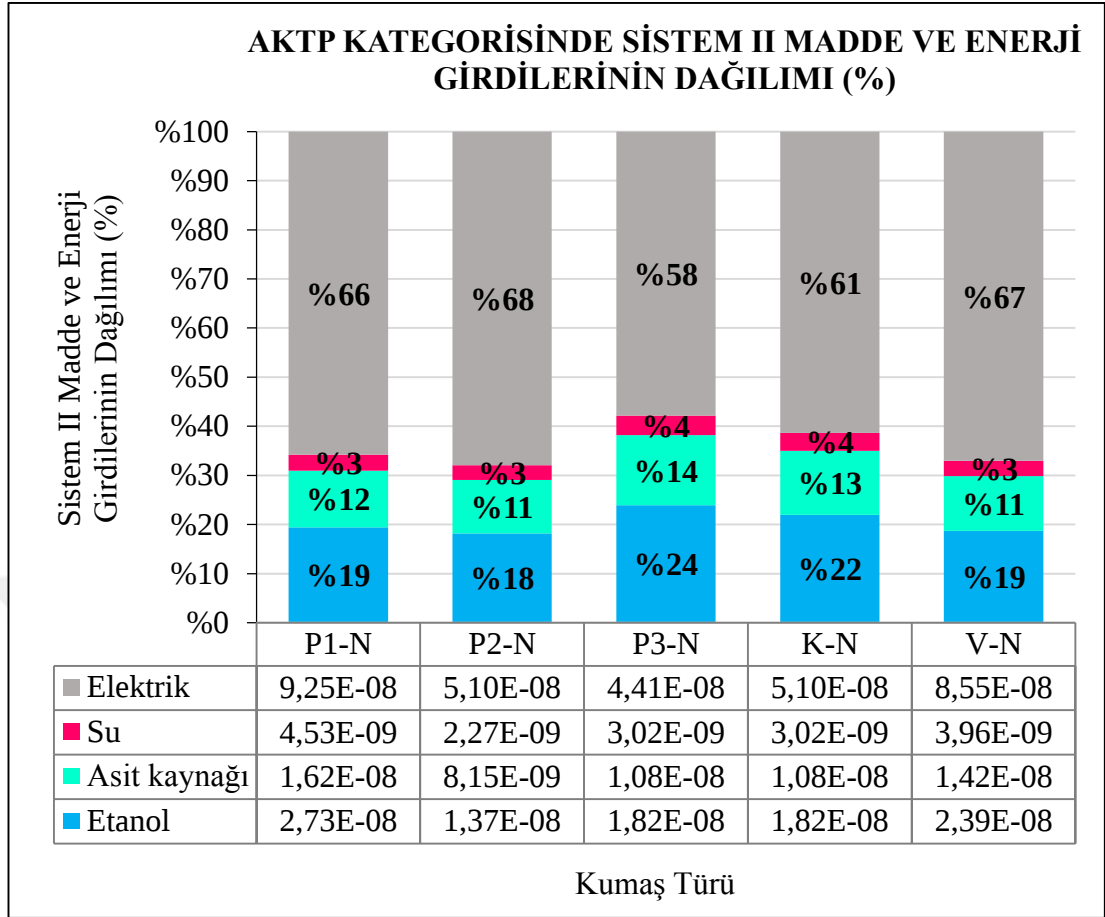
3.2.2.2 Abiyotik Kaynakların Tükenim Potansiyeli

Sistem II (nemli kumaşlar) için abiyotik kaynakların tükenim potansiyeli sonuçları Şekil 3.11’de verilmiştir. Bu kategoride en etkili proseslerin kurutma ve nanosol eldesi prosesleri olduğu ve birbirlerine yakın katkılar verdiği görülmüştür.



Şekil 3.11 Sistem II için abiyotik kaynakların tükenim potansiyeli

Kurutma süresinin uzaması KIP kategorisinde olduğu gibi AKTP kategorisinde de kurutma prosesinin etkisini artırmıştır. Bu sebeple kurutma prosesinin en fazla etkisini gösterdiği kumaşlar P1- N ve V-N olmuştur. Benzer eğilim nanosol eldesi prosesinde de görülmüştür, gramaja bağlı olarak artan nanosol kullanımı AKTP kategorisindeki etkiyi artırmıştır. AKTP kategorisinde Sistem II madde ve enerji girdilerinin dağılımı incelendiğinde (Şekil 3.12), ortalama olarak madde girdilerinin %36 ve elektriğin %64 paya sahip olduğu bulunmuştur.



Şekil 3.12 AKTP kategorisinde Sistem II madde ve enerji girdilerinin dağılımı

Alınan nanosol miktarına göre kuruma süresinin nispeten az olduğu P3-N¹² ve K-N¹³ kumaşlarında etanol başta olmak üzere madde girdilerinin katkısının daha fazla olduğu belirlenmiştir. Tam tersi alınan nanosolün en uzun sürede uzaklaştırıldığı V-N¹⁴ için de elektrik kullanımının payının daha fazla olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında etki değerlendirmesinde kullanılan CML yöntemi, abiyotik kaynakların tükenim potansiyeli etki kategorisinden maden rezervleri, fosil yakıtlar, atmosferik ve nükleer enerji kaynaklarını içermektedir (Swart, Alvarenga ve Dewulf, 2015). AKTP kategorisinde elektrik kullanımının, hem enerji baskın süreçlerin varlığı hem de Türkiye elektrik şebekesi karışımının çoğunlukla fosil yakıtlara dayanması sebebiyle en büyük katkıya sahip olduğu görülmüştür. Bu kategoride ikinci büyük

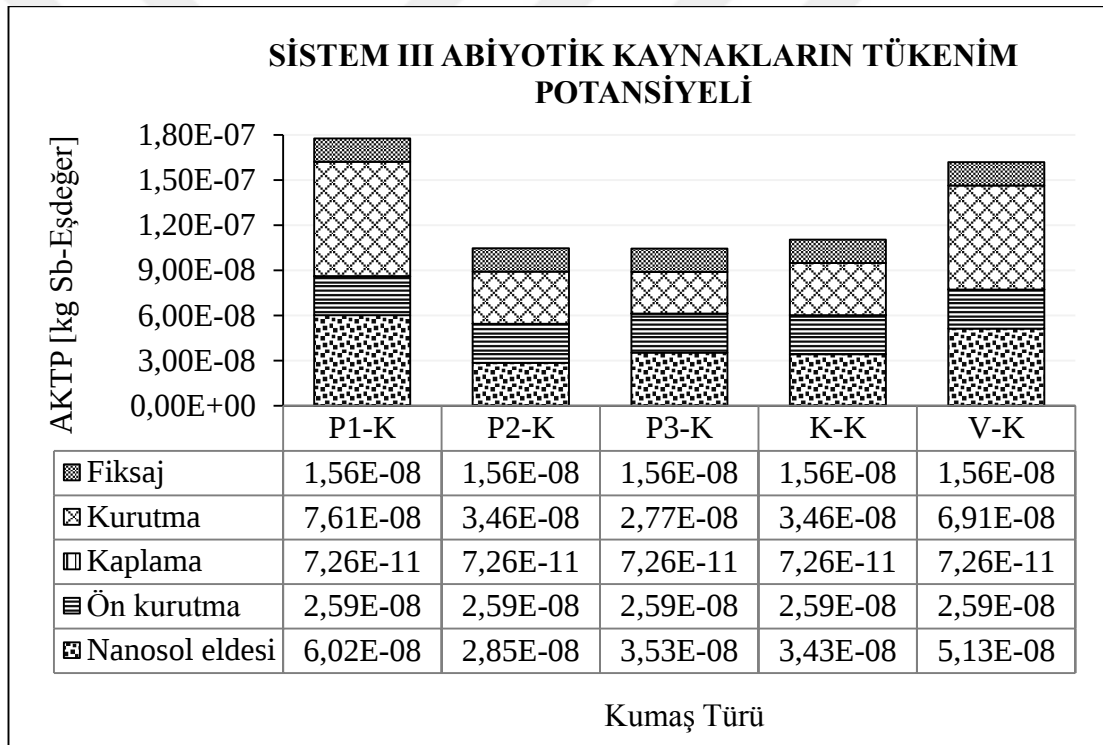
¹² 0,144 kg nanosol ve 8 dk kurutma

¹³ 0,144 kg nanosol ve 10 dk kurutma

¹⁴ 0,189 kg nanosol ve 20 dk kurutma

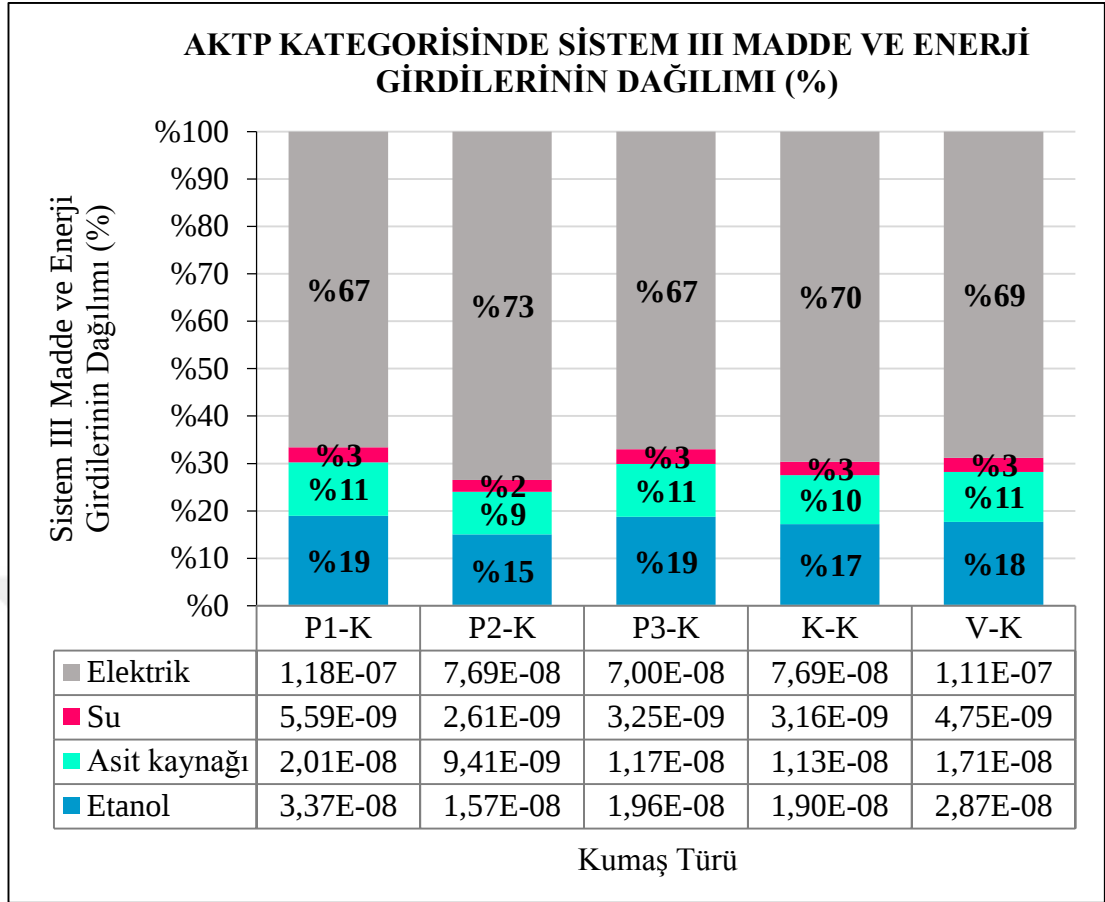
katkı ortalama %20 payla etanol kullanımından gelmektedir. Etanolün üretim süreçlerinde (1) hammadde olarak bir petrol ürünü olan etilenin kullanılması ve (2) bu üretim süreçleri için gerekli olan elektrik enerjisi, termal enerji, buhar gibi girdilerin sağlanmasında kömür, ham petrol, doğal gaz ve uranyum gibi enerji kaynaklarının kullanılması AKTP kategorisi için etanolden gelen büyük katkıyı açıklamaktadır. Asit kaynağı olarak bir yan ürün olan hidroklorik asitin kullanımı üçüncü sırada yer almıştır. Su kullanımının AKTP kategorisine katkısı yaklaşık %3 civarındadır.

Sistem III (ön kurutmalı kumaşlar) için abiyotik kaynakların tükenim potansiyeli sonuçları Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13 Sistem III için abiyotik kaynakların tükenim potansiyeli

Ön kurutma prosesi sebebiyle nanosol tüketiminin artması ve ek elektrik tüketimi Sistem III için AKTP kategorisinde ortaya çıkan etkiyi artırmıştır. AKTP kategorisinde Sistem III madde ve enerji girdilerinin dağılımı incelendiğinde (Şekil 3.14) ve Sistem II ile karşılaştırıldığında P1-K ve V-K kumaşları için elektrik kullanımının etkisi sırasıyla %1 ve %2 oranında arttığı ve anlamlı bir fark yaratmadığı görülmüştür.

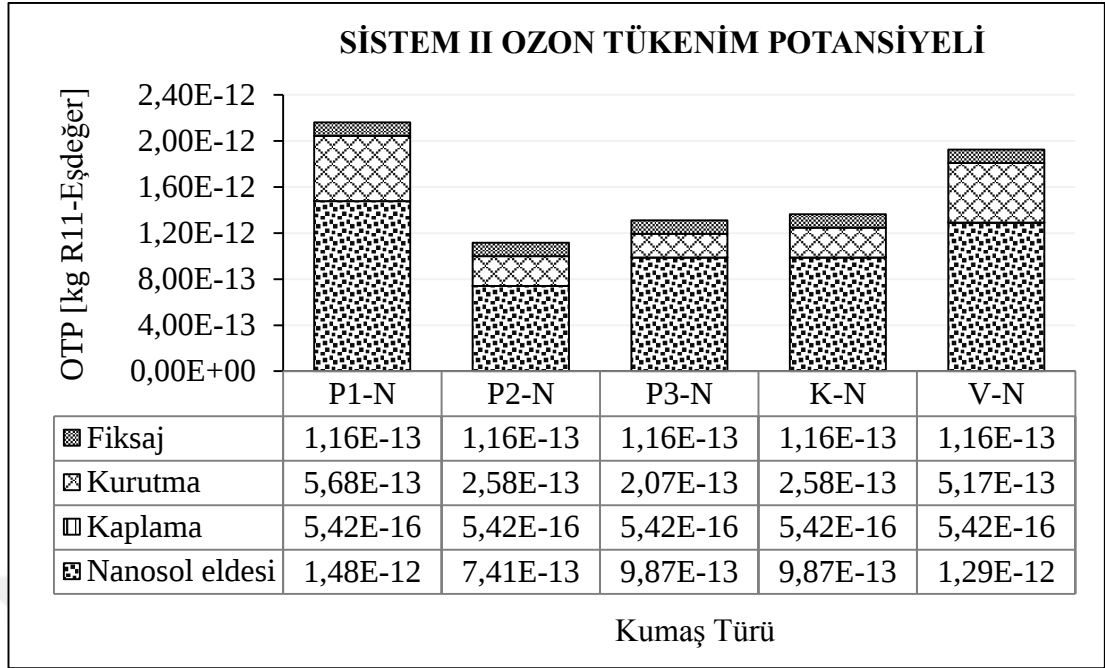


Şekil 3.14 AKTP kategorisinde Sistem III madde ve enerji girdilerinin dağılımı

Ön kurutma prosesinin AKTP kategorisinde elektrik tüketiminden gelen etkiyi P3-K ve K-K kumaşlarında %9 ve P2-N kumaşında %5 oranında artırdığı görülmüştür. Genel olarak hem ek elektrik kullanımı hem daha fazla nanosol gerekliliği sebebiyle Sistem III kumaşlarının abiyotik kaynakların tükenim potansiyeli artmıştır. Ancak P2-K, P3-K ve K-K kumaşları için ek elektrik tüketimi artan nanosol alımından daha fazla etkili olmuştur.

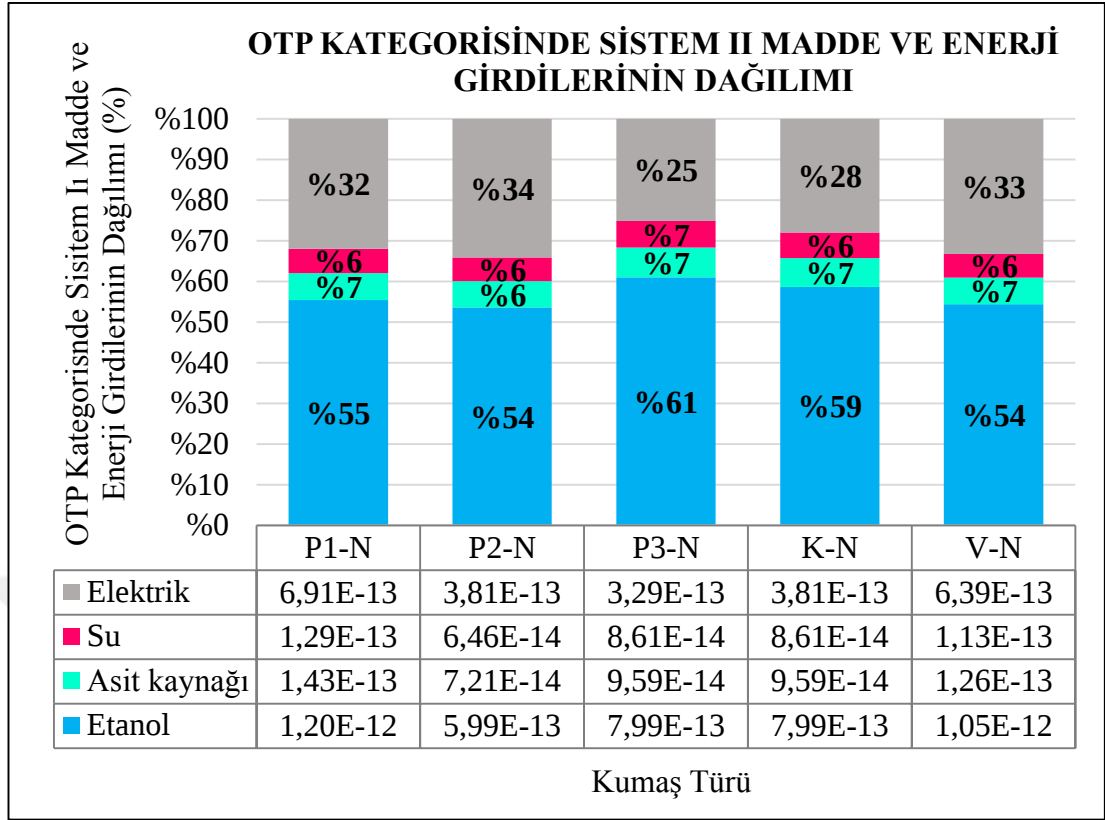
3.2.2.3 Ozon Tükenim Potansiyeli

Nemli kumaşlara ait ozon tükenim potansiyeli Şekil 3.15'te verilmiştir. Nanosol eldesi prosesinin ozon tükenim potansiyeline katkı veren başlıca etken olduğu görülmüştür. Gramaja bağlı olarak alınan nanosol miktarı arttıkça OTP kategorisi için ortaya çıkan katkının arttığı görülmüştür.



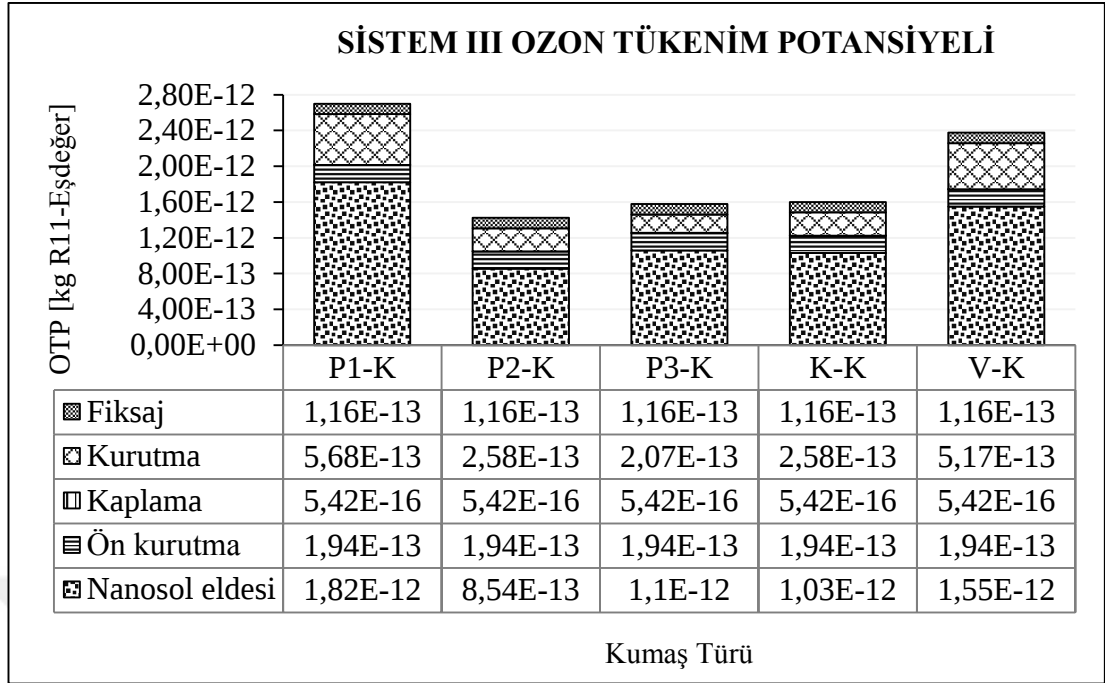
Şekil 3.15 Sistem II için ozon tükenim potansiyeli

Ozon tükenim potansiyeli için Sistem II girdilerinin dağılımı incelendiğinde (Şekil 3.16), neredeyse tüm kumaşlar için etanolün kullanılması, ozon tükenim potansiyelinin yarısından fazlasını oluşturmuştur. OTP kategorisinde önemli olan asit kaynağının, hemen hemen suya eşdeğer katkı vermesi az miktarda kullanılmasına atfedilebilir. Elektrik tüketiminden gelen katkı %35 seviyelerindedir. Ancak alınan nanosol miktarına göre daha çabuk kuruyan P3-N ve K-N gibi kumaşlarda elektrik kullanımının payı %25 ve %28 olarak bulunmuştur.



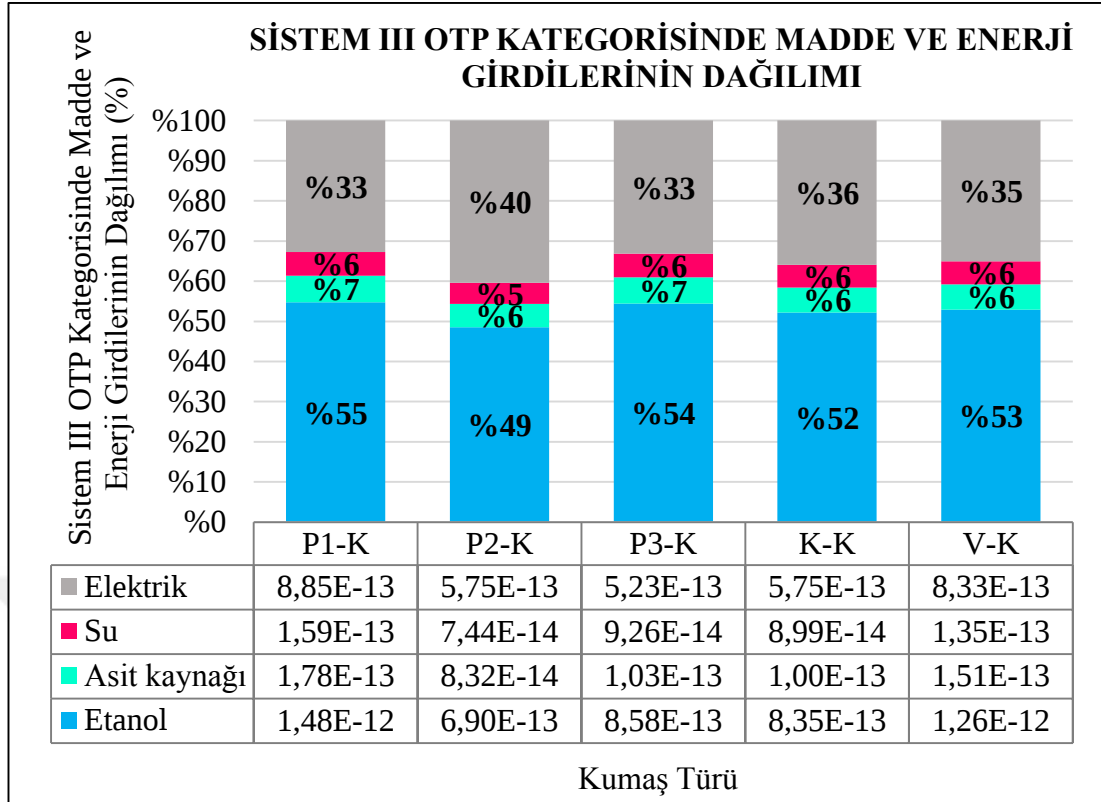
Şekil 3.16 OTP kategorisinde Sistem II madde ve enerji girdilerinin dağılımı

Sistem III ön kurutmalı kumaşlar için ozon tüketim potansiyeli Şekil 3.17’de verilmiştir. Sistem III için OTP sonuçları Sistem II ile benzerlik göstermektedir ancak bununla birlikte ön kurutma prosesi nedeniyle artan enerji ve nanosol tüketimi nedeniyle OTP kategorisine olan katkıların arttığı görülmüştür.



Şekil 3.17 Sistem III için ozon tüketim potansiyeli

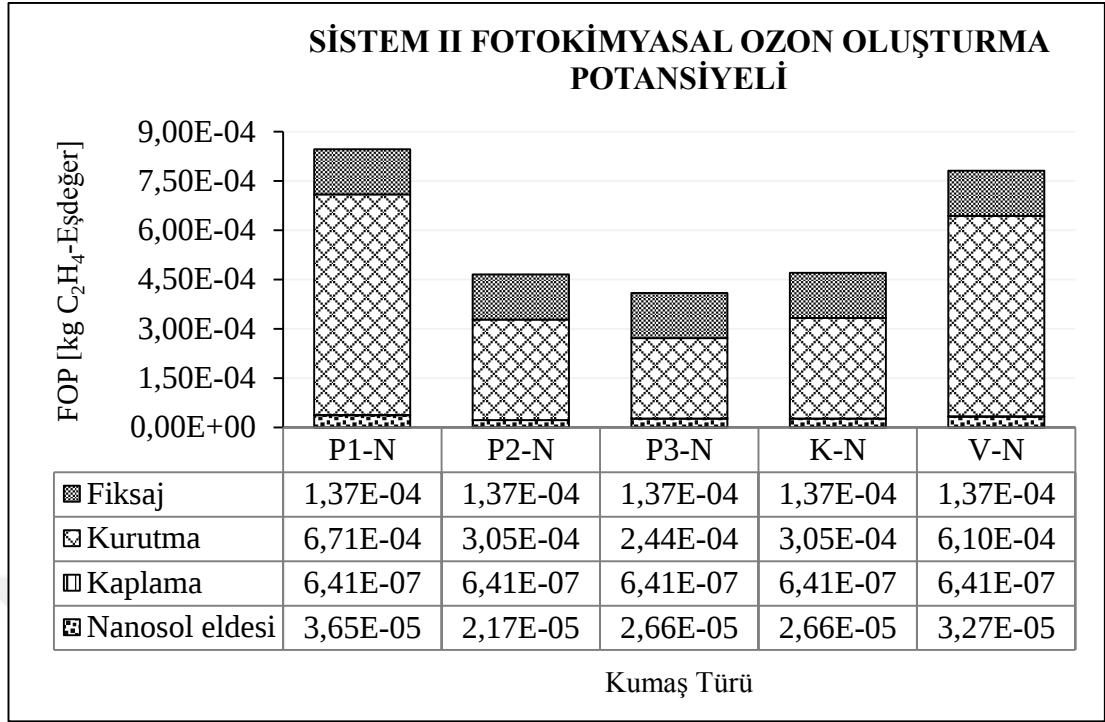
Sistem III madde ve enerji girdilerinin ozon tüketim potansiyeline göreli katkıları Şekil 3.18’de verilmiştir. Nispeten hafif ve çabuk kuruyan kumaşların, Sistem II içinde baskın olan kütle girdileri ön kurutmalı proseslerde ön kurutma işleminde kullanılan elektrik enerjisinden kaynaklanan ek katkıdan dolayı enerji girdisi daha baskın görülmektedir. Yine benzer eğilim OTP kategorisinde de görülmüştür; ağır gramajlı, daha fazla nanosol kullanımı gerektiren ve daha geç kuruyan kumaşlar (P1 ve V) için ön kurutma prosesinin etkisi belli belirsizken, hafif ve az madde girdisi ile işlem gören kumaşlar (P2, P3 ve K) için bu etki daha dikkate değerdir.



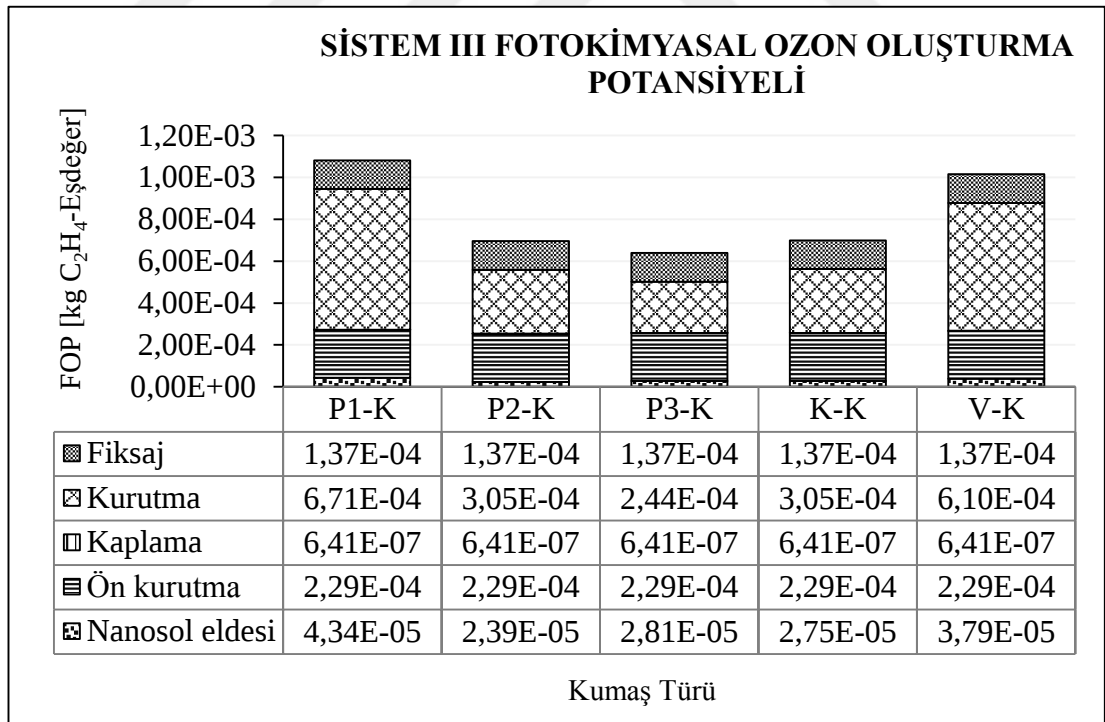
Şekil 3.18 Sistem III OTP kategorisinde madde ve enerji girdilerinin dağılımı

3.2.2.4 Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli

Nemli ve ön kurutmalı kumaşlara ait fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli Şekil 3.19’da verilmiştir. Ozon oluşumunu arttıran faktörler büyük miktarlarda hidrokarbonların havaya salınması ya da yanma süreçleriyle birlikte azot oksitlerin var olmasıdır (Haagen-Smit, Bradley ve Fox, 1953). Enerji baskın süreçlerin FOP’ a katkısı, enerji üretiminde gerçekleştirilen yanma süreçlerine ve süreçle ilişkili emisyonlara dayandırılabilir. Organik çözücülerin çoğu uçucudur ve kontrol edilmedikçe fotokimyasal dumanlara neden olmada etkili olabilecekleri atmosfere kaçmaktadırlar (Choudhury, 2014). Etanol kullanımı sebebiyle ortaya çıkan %3 ila %5 arasındaki katkılar, bu kategori açısından havaya salınmasına dayandırılabilir. Sistem III için FOP kategorisinde ortaya çıkan etkiler Şekil 3.20’de verilmiştir. Benzer şekilde Sistem III için de FOP kategorisinde ortaya çıkan etkiler temelde elektrik enerjisinin üretim süreçlerine dayanamaktadır.



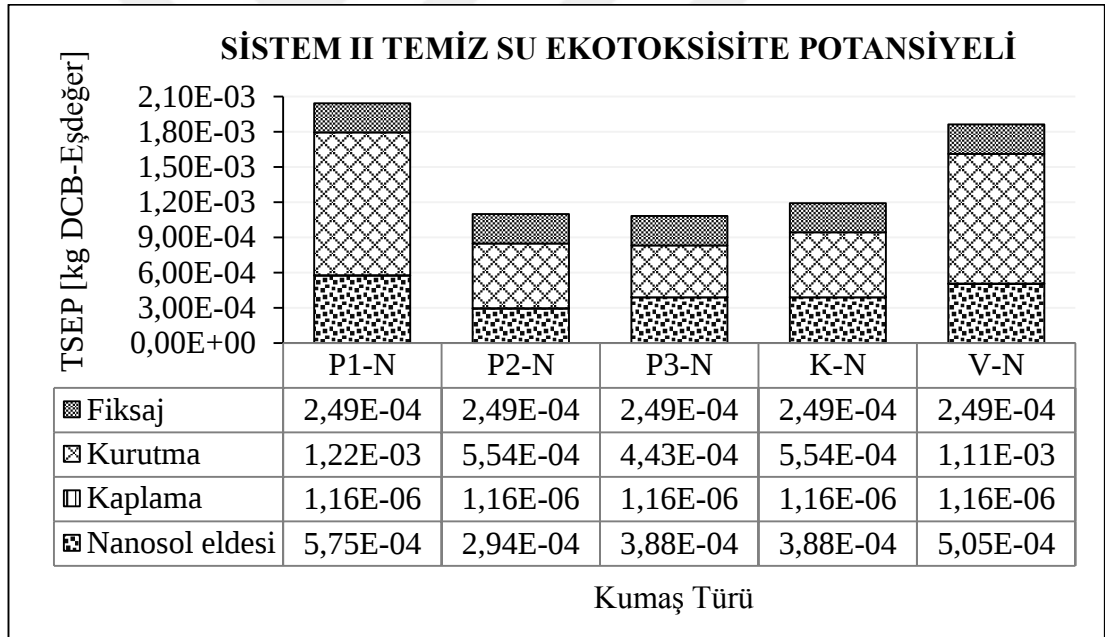
Şekil 3.19 Sistem II fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli



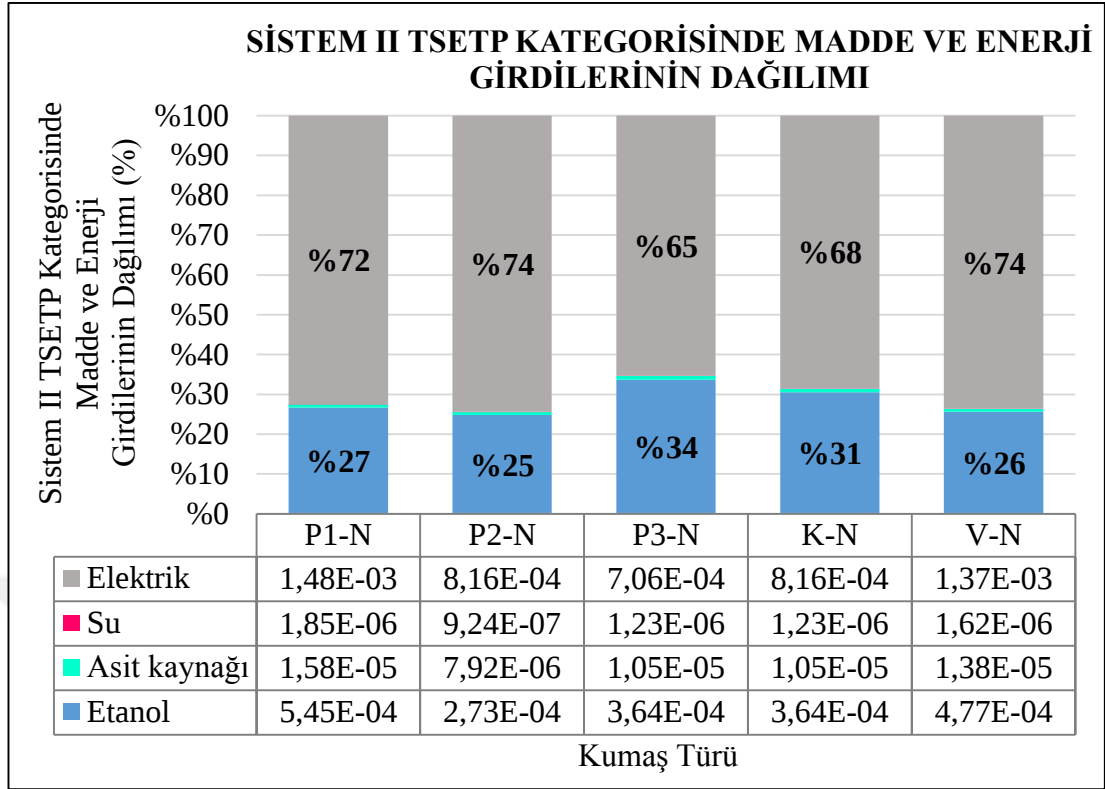
Şekil 3.20 Sistem III fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli

3.2.2.5 Temiz Su Ekotoksosite Potansiyeli

Nemli ve ön kurutmalı kumaşlara ait temiz su ekotoksosite potansiyeli Şekil 3.21’de verilmiştir. Sol-jel prosesinden kaynaklanan sıvı atık neredeyse yoktur çünkü hazırlanan nanosol olduğu gibi kullanılmıştır. Silindirler üzerinde bir miktar kalıntı oluşsa da (bunu engellemek GPTMS varlığı sebebiyle oldukça zordur), tüm sistem ele alındığında kayıplar ve suya verilen toksik madde miktarı oldukça az olduğu için bu kayıplar ihmal edilmiştir. Bu sebeple nanosol eldesi prosesinden kaynaklanan TSETP, etanol ve hidroklorik asitin üretim süreçlerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 3.22). Elektrik üretim süreçleri de su ekosistemlerine etkisi bakımından baskındır (Şekil 3.22). Bu da ön kurutma, kurutma ve fiksaj prosesleri için tüketilen enerjinin, TSETP kategorisine belirgin katkı vermesini açıklamaktadır.

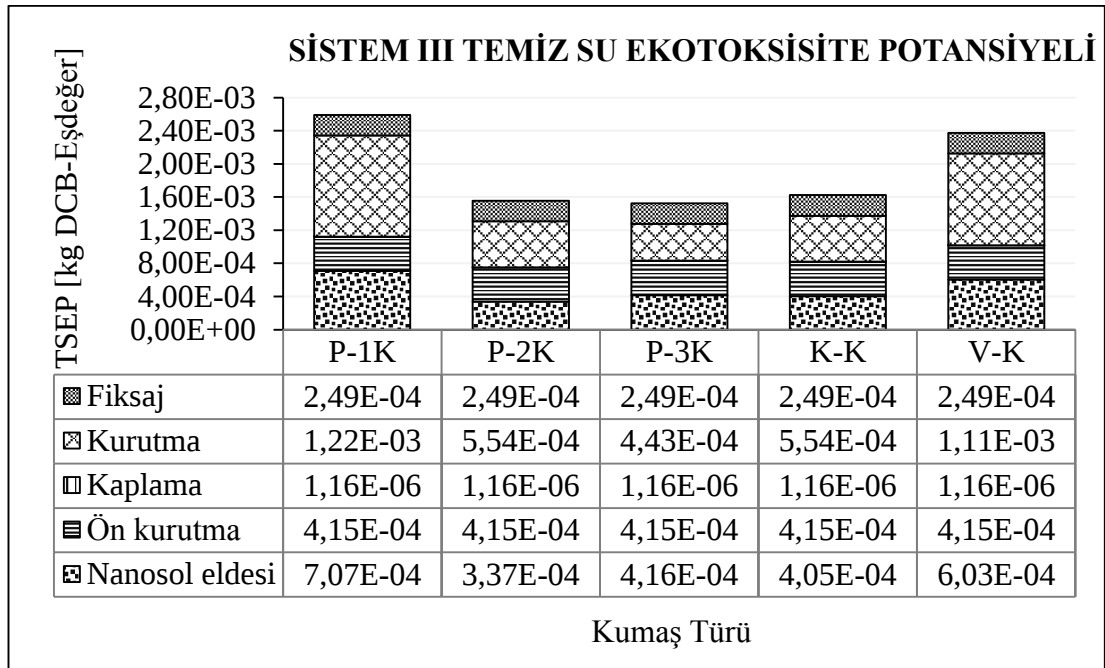


Şekil 3.21 Sistem II temiz su ekotoksosite potansiyeli



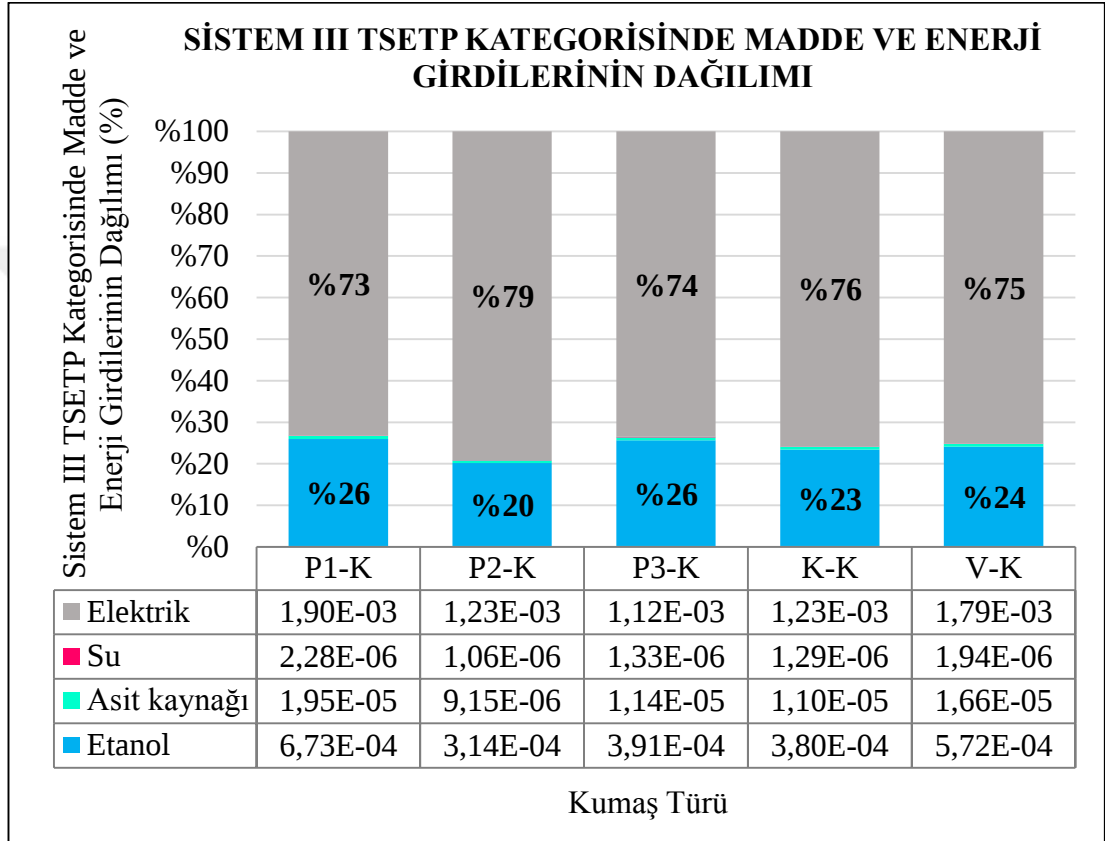
Şekil 3.22 Sistem II TSETP kategorisinde madde ve enerji girdilerinin dağılımı

Sistem III ön kurutmalı kumaşlar için temiz su ekotoksisite potansiyeli Şekil 3.23'te verilmiştir.



Şekil 3.23 Sistem III temiz su ekotoksisite potansiyeli

Diğer kumaşlara nazaran P3 ve K için etanolün kullanımı, standart procesten ön kurutmalı prosese geçişte belirgin bir artış gösterirken elektrik tüketiminden gelen etkinin azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi, ön kurutma sonunda bu kumaşların daha fazla nanosol almaları ancak daha az sürede kurumalarına dayanmaktadır. Girdilerin temiz su ekotoksisite potansiyeline göreli katkıları Şekil 3.24'te verilmiştir.



Şekil 3.24 Sistem III TSETP kategorisinde madde ve enerji girdilerinin dağılımı

Sistem II içinde etanol ve elektrik kullanımıyla ilgili durum net olarak görülmektedir. Sistem III için kullanılan madde ve enerji girdileri arttıkça, bu kategoride baskın olan elektrik ve etanol üretim proseslerinin TSETP kategorisine olan katkısı da artmıştır.

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında güç tutuşur tekstil üretiminde *etkili güç tutuşurluk* eldesine olanak sağlayan sol-jel yönteminin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve sonuçlarının literatüre kazandırılması amacıyla sol-jel kaplama sayısının (Sistem I), kumaş türlerinin ve proses koşullarının (Sistem II ve Sistem III) farklılaştırıldığı üç sistem için yaşam döngüsü analizi yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan sol-jel reçetesiyle selüloz esaslı kumaşlar için %60'a varan LOI değerleri elde edilmiştir ve sistemlere göre aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

- **Sistem I:** Sol-jel kaplama sayısı arttıkça pamuklu kumaşın LOI değerinin arttığı bulunmuştur. Birinci kaplamada %44, ikinci kaplamada %55 ve üçüncü kaplamada %60 LOI değeri elde edilmiştir.
- **Sistem II:** Tek kat sol-jel kaplama yapılması ile en az %40 en fazla %50 LOI değeri elde edilmiştir. LOI değerlerinin alınan madde miktarının artmasıyla doğrusal olarak artmadığı bulunmuştur. Kumaşların güç tutuşur performansının gramaj, sıklık, doku tipi gibi kumaş bileşenlerinden de etkilendiği görülmüştür.
- **Sistem III:** Ön kurutma prosesiyle kumaşların bünyesinde bulunan nemin bir kısmı uzaklaştırılmış ve böylece kumaşlara daha fazla nanosol aktarılabilmiştir. Ön kurutma prosesi uygulanan tüm kumaşların alınan madde miktarı %5,4 ila %9,3 ve LOI değerleri %1 ila %4 oranında artmıştır. Ancak bu çalışmada belirlenen ön kurutma proses koşullarının nispeten hafif ve sıklığı az olan kumaşlarda daha etkili sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tüm sistemler için elektrik enerjisi tüketiminin, ozon tükenim potansiyeli haricinde tüm çevresel etki kategorilerine %58 ila %99 oranında katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Kurutma prosesinin güç tutuşur kumaşların çevresel performansı açısından belirleyici olduğu bulunmuştur. Sol-jel yöntemiyle güç tutuşur kumaş eldesinde çevresel etki kaynakları ve iyileştirme önerileri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Sol-jel yöntemiyle güç tutuşur kumaş eldesinde çevresel etki kaynakları ve iyileştirme önerileri

Çevresel etki kaynakları	İyileştirme önerileri
Sol-jel reçetesinde kullanılan su oranının fazla olması nedeniyle kurutma süresinin uzaması ve elektrik tüketiminin yüksek olması	▪ Sol-jel yönteminde kullanılan güç tutuşur kimyasallarının çözünürlükleri iyileştirilmelidir. ▪ Sol-jel reçetesinde su kullanımını azaltabilecek proses koşulları araştırılmalı ve geliştirilmelidir.
Gramajı ve sıklığı fazla olan kumaşlar için nanosol tüketiminin artması, kurutma süresinin uzaması ve elektrik tüketiminin artması	▪ İstenen güç tutuşurluk derecesine ve talep edilen kullanım yerine göre en uygun kumaş yapısı belirlenmelidir. ▪ Ağır ve sık kumaşlar gerekli hallerde ve talep edilirse tercih edilmelidir.
Alınan flotte miktarının fazla olması nedeniyle kurutma sırasında elektrik tüketiminin yüksek olması	▪ İstenen güç tutuşurluk derecesine göre mümkün olduğu kadar düşük flotte miktarıyla çalışılmalıdır.
Sol-jel kaplama sayısının arttırılması sonucu elektrik ve kimyasal madde tüketiminin artması	▪ Kaplama sayısı, istenen güç tutuşurluk derecesine göre belirlenmelidir.
Ön kurutma prosesinin sisteme dahil edilmesiyle elektrik ve kimyasal madde tüketiminin artması	▪ İstenen güç tutuşurluk derecesine göre en azından iki tekrarlisol-jel kaplama yapmanın alternatifi olarak gerekli hallerde tercih edilmelidir. ▪ Ön kurutma yapılacaksa hafif ve gözenekli kumaşlar tercih edilmelidir. ▪ Kumaş yapısına göre en verimli ön kurutma proses koşulları belirlenmelidir.
Isıl işlemlerde kullanılan elektrik enerjisinin çoğunlukla fosil yakıtlardan elde edilmesi	▪ Elektrik enerjisi üretimi, fosil kaynaklar yerine yenilenebilir kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilmelidir.

Tablo 4.1 devamı

Kullanılan kurutucuların verimliliği ile ilgili belirsizlikler	▪ Tekstil bitim işlemleri için en verimli kurutucu tipiyle çalışılmalıdır. ▪ Kurutuculara yerleştirilecek uygun nem ölçerlerle anlık nem ölçümü sağlanarak fazla kurutmadan kaçınılmalıdır. ▪ Kurutmada enerji verimliliğinin sağlanması ve/veya artırılması için kurutma sistemine uygun ısı değiştiriciler vb. ekipmanlar eklenmelidir ve kontrol sistemleri kurulmalıdır.
Kumaşların nem içeriğinin ölçülmemesi nedeniyle kurutma veriminin düşük olması	▪ Sol-jel yöntemiyle güç tutuşur kumaş eldesinde nemin proses dinamiklerine olan etkisi detaylı şekilde incelenmelidir. ▪ Sistemin optimize edilmesi için ısı, kütle ve momentum transferi gibi diğer disiplinler çalışmaya dahil edilmelidir. ▪ YDA için kullanılan GaBi yazılımıyla birlikte kurutma veriminin iyileştirilmesi için uygun çoklu fizik yazılımları kullanılarak tam bir modelleme yapılmalıdır.
Etanolün petrol ürünü olan etilenden üretilmesi ve üretimi sırasında gerekli enerji girdilerinin fosil kaynaklardan elde edilmesi	▪ Biyo-etanol üretim şekilleri incelenerek yenilenebilir kaynaklardan üretilmiş ve üretimden kaynaklanan çevresel etkileri en az olan etanol kullanılmalıdır.

Bu tez çalışmasından çıkan sonuçlar, selülozik liflerin neme karşı hassasiyetinden faydalanılarak sol-jel yöntemiyle daha etkili güç tutuşur üretim sistemlerinin tasarlanabileceği yönünde bazı fırsatlar olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları, nemin sol-jel proses dinamiklerine olan etkisinin detaylı şekilde incelenmesiyle ilgili yeni çalışmalara yön verebilir. Böylece sol-jel yöntemiyle güç tutuşur kumaş eldesinden nem içeriğinin kullanım yerine göre uygun sınırlar dahilinde en yüksek değerde tutulmasını sağlayan hemhammadde ve sol-jel kimyasallarının hem de proses koşullarının iyi bir seçimi ile selülozik lifler için daha ileri bir güç tutuşurluk sağlanırken, enerji tüketiminin ve ilişkili çevresel etkilerin azaltılması sağlanabilir.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen yaşam döngüsü analizi çalışmasından elde edilen sonuçlar, sol-jel yönteminin çevresel performansının iyileştirilmesine yönelik elektrik tüketimi ve kurutma verimliliği ile ilgili bazı olanaklara dikkat çekmiştir. Bu YDA çalışmasının çıktıları akademilerin, araştırma ve geliştirme merkezlerinin ve başta tekstil endüstrisi olmak üzere diğer endüstrilerin sürdürülebilir güç tutuşur üretim sistemleri geliştirilmesiyle ilgili geleceğe yönelik karar alma süreçlerinde kullanılabilir. Aynı zamanda bu YDA çalışmasının çıktıları, sol-jel prosesinde daha ileri çevresel geliştirme olanaklarının araştırılması için temel alınabilir.

Son olarak geleneksel YDA modellerinde, daha yüksek yangın performansı, tıpkı bu tez çalışmasında olduğu gibi, var olan ürün sistemine sadece enerji ve malzeme tüketiminde bir değişiklik olarak dahil edilmektedir ve güç tutuşur ürünün sağladığı daha yüksek yangın performansının olumlu etkisine ilişkin hiçbir hesaplama yapılmamaktadır. Oysaki yangınlardan kaynaklanan emisyonlar, ürünlerin çevresel etkilerine katkıda bulunmaktadır(Anderson ve diğer., 2004). Bu sebeple özellikle bir ürünün güç tutuşur özelliğinden faydalanılıyorsa, bu ürünün çevresel etkilerinin daha doğru ve eksiksiz şekilde değerlendirilebilmesi için sonraki çalışmalarda yangın YDA modelinin uygulanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Aksit, A., Onar, N., Kutlu, B., Sergin, E. ve Yakin, I. (2016). Synergistic effect of phosphorus, nitrogen and silicon on flame retardancy properties of cotton fabric treated by sol-gel process. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 28(3), 319-327.
- Aleman, J. V., Chadwick, A. V., He, J., Hess, M., Horie, K., Jones, R. G. ve Penczek, S. (2007). Definitions of terms relating to the structure and processing of sols, gels, networks, and inorganic-organic hybrid materials (IUPAC Recommendations 2007). *Pure and Applied Chemistry*, 79(10), 1801-1829.
- Alongi, J., Ciobanu, M., Tata, J., Carosio, F. ve Malucelli, G. (2011). Thermal stability and flame retardancy of polyester, cotton, and relative blend textile fabrics subjected to sol-gel treatments. *Journal of Applied Polymer Science*, 119(4), 1961-1969.
- Alongi, J., Ciobanu, M. ve Malucelli, G. (2011). Sol-gel treatments for enhancing flame retardancy and thermal stability of cotton fabrics: optimisation of the process and evaluation of the durability. *Cellulose*, 18(1), 167-177.
- Alongi, J. ve Malucelli, G. (2012). State of the art and perspectives on sol-gel derived hybrid architectures for flame retardancy of textiles. *Journal of Materials Chemistry*, 22(41), 21805-21809.
- Alongi, J. ve Malucelli, G. (2013). Heat and moisture transfer in sol-gel treated cotton fabrics. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 111(1), 459-465.
- Alongi, J., Carosio, F. ve Malucelli, G. (2014). Current emerging techniques to impart flame retardancy to fabrics: an overview. *Polymer Degradation and Stability*, 106, 138-149.

- Anastas, P. T. ve Warner, J. C. (2000). *Green chemistry: theory and practice*, 30. Oxford: Oxford University Press.
- Azapagic, A. (1999). Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation. *Chemical engineering journal*, 73(1), 1-21.
- Baccile, N., Babonneau, F., Thomas, B. ve Coradin, T. (2009). Introducing ecodesign in silica sol–gel materials. *Journal of Materials Chemistry*, 19(45), 8537-8559.
- Baydar, G., Ciliz, N. ve Mammadov, A. (2015). Life cycle assessment of cotton textile products in Turkey. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 213-223.
- Bjorn, A., Laurent, A., Owsianiak, M. ve Olsen, S. I. (2018). Goal definition. M. Z. Hauschild, R. K. Rosenbaum ve S. I. Olsen, (Ed.), *Life cycle assessment* içinde (67-74). Switzerland, Cham: Springer International Publishing.
- Bjorn, A., Owsianiak, M., Laurent, A., Olsen, S. I., Corona, A. ve Hauschild, M. Z. (2018). Scope definition. M. Z. Hauschild, R. K. Rosenbaum ve S. I. Olsen, (Ed.), *Life cycle assessment* içinde (75-116). Switzerland, Cham: Springer International Publishing.
- Bjorn, A., Moltesen, A., Laurent, A., Owsianiak, M., Corona, A., Birkved, M. ve Hauschild, M. Z. (2018). Life cycle inventory analysis. M. Z. Hauschild, R. K. Rosenbaum ve S. I. Olsen, (Ed.), *Life cycle assessment* içinde (117-165). Switzerland, Cham: Springer International Publishing.
- Blackburn, R ve Payne, J. (2004). Life cycle analysis of cotton towels: impact of domestic laundering and recommendations for extending periods between washing. *Green Chemistry*, 6(7), G59-G61.
- Blackburn, R. (Ed.). (2009). *Sustainable textiles: life cycle and environmental impact*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

- Brinker, C. J. ve Scherer, G. W. (1990). Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing. USA: Academic press.
- Bourbigot, S. (2008). Flame retardancy of textiles: new approaches. Horrocks A.R. ve Price D., (Ed), *Advances in fire retardant materials* içinde (9-40), Cambridge UK, Woodhead Publishing.
- Camlibel, N. O. ve Arik, B. (2017). Sol-gel applications in textile finishing processes. U. Chandra, (Ed.), *Recent applications in sol-gel synthesis* içinde (253-281). London UK, IntechOpen.
- Cireli, A., Onar, N., Ebeoglugil, M. F., Kayatekin, I., Kutlu, B., Culha, O. ve Celik, E. (2007). Development of flame retardancy properties of new halogen-free phosphorous doped SiO₂ thin films on fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 105 (6), 3748-3756.
- Colleoni, C., Donelli, I., Freddi, G., Guido, E., Migani, V. ve Rosace, G. (2013). A novel sol-gel multi-layer approach for cotton fabric finishing by tetraethoxysilane precursor. *Surface and Coatings Technology*, 235, 192-203.
- Consoli, F., Allen, D., Boustead, I., Oude, N., Fava, J., Franklin, W., Quay, B., Parrish, R., Perriman, R., Postlethwaite, D., Seguin, J. ve Vigon, B., 1993, *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice* SETAC, Eds. Consoli F., Allen D., Boustead I., Oude N., Fava J., Franklin W., Quay B., Parrish R., Perriman R., Postlethwaite D., Seguin J. ve Vigon B., Pensacola, USA.
- Deh, S., Gahr, F. ve Buchmeiser, M. R. (2016). Synergistic effects in the pyrolysis of phosphorus-based flame-retardants: The role of Si-and N-based compounds. *Polymer Degradation and Stability*, 130, 155-164.
- Deng, Y., Paraskevas, D., Tian, Y., Van Acker, K., Dewulf, W. ve Duflou, J. R. (2016). Life cycle assessment of flax-fibre reinforced epoxidized linseed oil composite with

- a flame retardant for electronic applications. *Journal of Cleaner Production*, 133, 427-438.
- Dullen, F. A. L. (1979). *Porous media: Fluid transport and pore structure*. New York: Academic Press.
- EFRA, keeping fire in check, An introduction to flame retardants used in upholstered furniture and textile applications.
- Esteve-Turrillas, F. A. ve de la Guardia, M. (2017). Environmental impact of Recover cotton in textile industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 116, 107-115.
- Fatarella, E., Parisi, M. L., Varheenmaa, M. ve Talvenmaa, P. (2015). Life cycle assessment of high-protective clothing for complex emergency operations. *The Journal of The Textile Institute*, 106(11), 1226-1238.
- Guinee, J. B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., Ekvall, T. ve Rydberg, T. (2011). Life cycle assessment: past, present, and future. *Environmental Science & Technology*, 45, 90–96
- Guinee, J. B., Udo de Haes, H. A. ve Huppes, G. (1993). Quantitative life cycle assessment of products1: Goal definition and inventory. *Journal of Cleaner Production*, 1(1), 3-13.
- Guinee, J. B. (2015). Selection of impact categories and classification of LCI results to impact categories. M. Z. Hauschild ve M. A. Huijbregts, (Ed.), *Life cycle impact assessment* içinde (17-37). Dordrecht, Springer.
- Haagen-Smit, A. J., Bradley, C. E. ve Fox, M. M. (1953). Ozone formation in photochemical oxidation of organic substances. *Industrial & Engineering Chemistry*, 45(9), 2086-2089.

- Hasanbeigi, A. ve Price, L. (2015). A technical review of emerging technologies for energy and water efficiency and pollution reduction in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 95, 30-44.
- Hauschild, M. Z. ve Huijbregts, M. A. (2015). Introducing life cycle impact assessment. M. Z. Hauschild ve M. A. Huijbregts, (Ed.), *Life cycle impact assessment* içinde (1-16). Dordrecht Switzerland, Springer.
- Hauschild, M. Z. (2018). Introduction to LCA methodology. M. Z. Hauschild ve M. A. Huijbregts, (Ed.), *Life cycle assessment* içinde (59-66). Cham: Springer International Publishing, Heidelberg Newyork London.
- Hauschild, M. Z., Bonou, A., ve Olsen, S. I. (2018). Life cycle interpretation. M. Z. Hauschild ve M. A. Huijbregts, (Ed.), *Life cycle assessment* içinde (323-334). Cham: Springer International Publishing, Heidelberg Newyork London.
- Hearle, J. W. ve Morton, W. E. (2008). *Physical properties of textile fibres*. Elsevier Manchester, UK.
- Hicks, A. L., Gilbertson, L. M., Yamani, J. S., Theis, T. L. ve Zimmerman, J. B. (2015). Life cycle payback estimates of nanosilver enabled textiles under different silver loading, release, and laundering scenarios informed by literature review. *Environmental science & technology*, 49(13), 7529-7542.
- Hollen, N. R., Saddler, J. ve Langford, A. L. (1968). *Textiles*. New York, Macmillan.
- Horrocks, A. R., ve Anand, S. C. (Ed.). (2000). *Handbook of technical textiles*. Cambridge, Woodhead Publishing Limited.
- Horrocks, A. R. ve Price, D.(Ed.). (2001). *Fire retardant materials*. Cambridge, Woodhead Publishing Limited.

- Horrocks, A. R., Tune, M. ve Cegielka, L. (1988). The burning behaviour of textiles and its assessment by oxygen-index methods. *Textile Progress*, 18(1-3), 1-186.
- Hull, T. R. ve Kandola, B. K. (2009). *Fire retardancy of polymers: new strategies and mechanisms*. England, Royal Society of Chemistry Publishing.
- Innocenzi, P. (2016). *The sol to gel transition*. Switzerland, Springer International Publishing.
- Innes, J. ve Innes A. (2003). *Plastic flame retardants: technology and current developments* (Report 168). Rapra Review Reports, 14(12), United Kingdom, Smithers Rapra Publishing.
- Ismail, W. N. W. (2016). Sol–gel technology for innovative fabric finishing—A Review. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 78(3), 698-707.
- IUPAC, Periyodik tablo, (2016) 10 Temmuz 2018, <https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements/>
- Jonkers, N., Krop, H., van Ewijk, H. ve Leonards, P. E. (2016). Life cycle assessment of flame retardants in an electronics application. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(2), 146-161.
- Kalia, S., Kaith, B. S. ve Kaur, I. (2009). Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites-a review. *Polymer Engineering & Science*, 49(7), 1253-1272.
- Khoo, H. H., Isoni, V. ve Sharratt, P. N. (2018). LCI data selection criteria for LCA applied to solvents and chemicals. *Sustainable Production and Consumption*, 16(68-87).

- Kılıç, E. (2010). *Deri Endüstrisi Arıtma Çamurlarından Kromun Oksidatif Yöntemle Geri Kazanılması ve Çevresel Etkisinin Yaşam Döngüsü Analizi ile Değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Kılıç, E., Puig, R., Zengin, G., Zengin, C. A. ve Fullana-i-Palmer, P. (2018). Corporate carbon footprint for country Climate Change mitigation: A case study of a tannery in Turkey. *Science of The Total Environment*, 635, 60-69.
- Kiliaris, P. ve Papaspyrides, C. D. (2014). Polymers on fire. Papaspyrides, C. D. ve Kiliaris, P., (Ed), *Polymer green flame retardants* içinde (1-43). Newnes.
- Klemm, D., Philpp, B., Heinze, T., Heinze, U. ve Wagenknecht, W. (1998). *Comprehensive cellulose chemistry. Volume 1: Fundamentals and analytical methods*. Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Klöpffer, W. (2014). Introducing life cycle assessment and its presentation in 'LCA Compendium'. Klöpffer, W., (Ed.), *Background and future prospects in life cycle assessment* içinde (1-37). Springer, Dordrecht.
- Kudra, T. (2004). Energy aspects in drying. *Drying Technology*, 22(5), 917-932.
- Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Cuesta, J. M. ve Dubois, P. (2009). New prospects in flame retardant polymer materials: from fundamentals to nanocomposites. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 63(3), 100-125.
- Leisewitz, A., Kruse, H. ve Schramm, E. (2001). *Substituting environmentally relevant flame retardants: Assessment fundamentals*. Umweltbundesamt, Berlin.
- Liang, S., Neisius, N. M. ve Gaan, S. (2013). Recent developments in flame retardant polymeric coatings. *Progress in Organic Coatings*, 76 (11), 1642-1665.

- Madsen, J., Hartlin, B., Perumalpillai, S., Selby, S. ve Aumonier, S. (2007). *Mapping of Evidence on Sustainable Development Impacts that Occur in Life Cycles of Clothing: A Report to the Department for Environment, Food and Rural Affairs*. Environmental Resources Management (ERM) Ltd. Defra, London.
- Mahltig, B., Haufe, H. ve Böttcher, H. (2005). Functionalisation of textiles by inorganic sol-gel coatings. *Journal of Materials Chemistry*, 15(41), 4385-4398.
- Mahltig, B. ve Textor, T. (2008). *Nanosols and textiles*. Singapore, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Malucelli, G. (2016). Surface-engineered fire protective coatings for fabrics through sol-gel and layer-by-layer methods: An overview. *Coatings*, 6(3), 33.
- Manda, B. K., Worrell, E. ve Patel, M. K. (2015). Prospective life cycle assessment of an antibacterial T-shirt and supporting business decisions to create value. *Resources, Conservation and Recycling*, 103, 47-57.
- Menshutina, N. V., Gordienko, M. G., Voynovskiy, A. A. ve Kudra, T. (2004). Dynamic analysis of drying energy consumption. *Drying Technology*, 22(10), 2281-2290.
- Meyer, D. E., Curran, M. A. ve Gonzalez, M. A. (2011). An examination of silver nanoparticles in socks using screening-level life cycle assessment. *Journal of Nanoparticle Research*, 13(1), 147-156.
- Morgan, A. B. ve Gilman, J. W. (2013). An overview of flame retardancy of polymeric materials: application, technology, and future directions. *Fire and Materials*, 37(4), 259-279.

- Morgan, A. B., Cusack, P. A. ve Wilkie, C. A. (2014). Other Non- Halogenated Flame Retardant Chemistries and Future Flame Retardant Solutions. *Non-Halogenated Flame Retardant Handbook*, 347-403.
- Nazare, S. ve Horrocks, A. R. (2008). Flammability testing of fabrics. Hu, J., (Ed.), *Fabric Testing* içinde 339-388, Woodhead Publishing Limited Cambridge UK.
- NFPA, (2018), 14.04.2018, <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Fire-statistics>
- Nguyen, T. M. D., Chang, S., Condon, B., Uchimiya, M. ve Fortier, C. (2012). Development of an environmentally friendly halogen- free phosphorus–nitrogen bond flame retardant for cotton fabrics. *Polymers for Advanced Technologies*, 23(12), 1555-1563.
- Onar, N. ve Mete, G. (2016). Development of water-, oil-repellent and flame-retardant cotton fabrics by organic-inorganic hybrid materials. *The Journal of the Textile Institute*, 107(11), 1463-1477.
- Onar, N., Aksit, A. C., Sen, Y. ve Mutlu, M. (2011). Antimicrobial, UV-protective and self-cleaning properties of cotton fabrics coated by dip-coating and solvothermal coating methods. *Fibers and Polymers*, 12(4), 461-470.
- Onar, N., Mete, G., Aksit, A., Kutlu, B. ve Celik, E. (2015). Water-and oil-repellency properties of cotton fabric treated with Silane, Zr, Ti based nanosols. *International Journal of Textile Science*, 4(4), 84-96.
- Palamutçu, S. (2017). *Textiles and Clothing Sustainability: Sustainable Textile Technologies*. Singapur: Springer.

- Parisi, M. L., Fatarella, E., Spinelli, D., Pogni, R. ve Basosi, R. (2015). Environmental impact assessment of an eco-efficient production for coloured textiles. *Journal of Cleaner Production*, 108, 514-524.
- Price, D. ve Horrocks, A. R. (2013). Combustion processes of textile fibres. A.Kilinc ve F. Selcen., (Ed.), *Handbook of Fire Resistant Textiles* içinde (3-25) Woodhead Publishing Cambridge UK.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T. ve Pennington, D. W. (2004). *Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications*. Environment international, 30(5), 701-720.
- Reeves, W. A., Perkins, R. M., Piccolo, B. ve Drake JR, G. L. (1970). Some chemical and physical factors influencing flame retardancy. *Textile Research Journal*, 40(3), 223-231.
- Roos, S., Posner, S., Jönsson, C. ve Peters, G. M. (2015). Is unbleached cotton better than bleached? Exploring the limits of life-cycle assessment in the textile sector. *Clothing and Textiles Research Journal*, 33(4), 231-247.
- Russell, A., Ekvall, T. ve Baumann, H. (2005). Life cycle assessment introduction and overview. *Journal of Cleaner Production*, 13(13-14), 1207-1210.
- Samanta, K. K., Basak, S. ve Chattopadhyay, S. K. (2017). Sustainable dyeing and finishing of textiles using natural ingredients and water-free technologies. *Textiles and Clothing Sustainability* içinde (99-131). Springer, Singapore.
- Sandin, G. ve Peters, G. M. (2018). Environmental impact of textile reuse and recycling—A review. 184(353-365), *Journal of Cleaner Production*.

- Santos, R. M., Llanos, J. W. P., Quadri, M. B. ve da Rocha, I. C. C. (2015). Study of Drying and Consumption of Natural Gas in a Textile Stenter of Direct Heating. *Drying Technology*, 33(1), 37-54.
- Schindler, W. D. ve Hauser, P. J. (2004). *Chemical finishing of textiles*. England: CRC Press.
- Sergin, E. (2017). *Sol-jel yöntemi ile çevreye duyarlı, yıkama dayanımı yüksek, güç tutuşur hibrid tekstil kaplama malzemelerinin geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Simonson, M. ve Andersson, P. (2008). Life cycle assessment of consumer products with a focus on fire performance. Horrocks A.R., Price D.,(Ed.), *Advances in Fire Retardant Materials* içinde (331-359), Sweeden Woodhead Publishing.
- Siroka, B., Noisternig, M., Griesser, U. J. ve Bechtold, T. (2008). Characterization of cellulosic fibers and fabrics by sorption/desorption. *Carbohydrate Research*, 343(12), 2194-2199.
- Sousa, L. H. C., Motta Lima, O. C. ve Pereira, N. C. (2006). Analysis of drying kinetics and moisture distribution in convective textile fabric drying. *Drying Technology*, 24(4), 485-497.
- Stana-Kleinschek, K., Kreze, T., Ribitsch, V. ve Strnad, S. (2001). Reactivity and electrokinetical properties of different types of regenerated cellulose fibres. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 195(1-3), 275-284
- Swart, P., Alvarenga, R. A., & Dewulf, J. (2015). Abiotic resource use. M. Z. Hauschild ve M. A. Huijbregts, (Ed.), *Life cycle impact assessment* içinde (247-269), Switzerland Dordrecht: Springer.

Tarakçıoğlu, I. (1979). *Tekstil terbiyesi ve makinaları* (1. Baskı). İzmir, Ege Üniversitesi Matbaası.

Tarakçıoğlu, I. (1984). *Tekstil Terbiye İşletmelerinde Enerji Tüketimi ve Tasarrufu*. Uludağ Üniversitesi Basımevi.

Terinte, N., Manda, B. M. K., Taylor, J., Schuster, K. C. ve Patel, M. K. (2014). Environmental assessment of coloured fabrics and opportunities for value creation: spin-dyeing versus conventional dyeing of modal fabrics. *Journal of cleaner production*, 72, 127-138.

Töpfer, K. (2002). Editorial for Int J LCA on the launch of the UNEP-SETAC life cycle initiative. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(4), 191-191.

Tukker, A., Huppes, G., Guinee, J., Heijungs, R., De Koning, A., Van Oers, L., Suh, S., Geerken, T., Van Holderbeke, M., Jansen, B., Nielsen, P., 2006. Environmental Impact of Products (EIPRO) Analysis of the Life Cycle Environmental Impacts Related to the Final Consumption of the EU25. *Technical Report EUR 22284 EN*. European Commission, Joint Research Centre (DG JRC), Institute for Prospective Technological Studies.

Unger, N., Beigl, P. ve Wassermann, G. (2004). General requirements for LCA software tools. *Institute of Waste Management, BOKU–University of Natural Resources and Applied Life Sciences*, (1-6), Vienna Austria.

Vidal, R., Moliner, E., Martin, P. P., Fita, S., Wonneberger, M., Verdejo, E. ve González, A. (2018). Life Cycle Assessment of Novel Aircraft Interior Panels Made from Renewable or Recyclable Polymers with Natural Fiber Reinforcements and Non-Halogenated Flame Retardants. *Journal of Industrial Ecology*, 22(1), 132-144.

- Walser, T., Demou, E., Lang, D. J. ve Hellweg, S. (2011). Prospective environmental life cycle assessment of nanosilver T-shirts. *Environmental science & technology*, 45(10), 4570-4578.
- Windler, L., Height, M. ve Nowack, B. (2013). Comparative evaluation of antimicrobials for textile applications. *Environment international*, 53, 62-73.
- Yan, Y., Wang, C., Ding, D., Zhang, Y., Wu, G., Wang, L. ve Zhao, C. (2016). Industrial carbon footprint of several typical Chinese textile fabrics. *Acta Ecologica Sinica*, 36(3), 119-125.
- Yasin, S., Behary, N., Curti, M. ve Rovero, G. (2016). Global consumption of flame retardants and related environmental concerns: A study on possible mechanical recycling of flame retardant textiles. *Fibers*, 4(2), 16.
- Yasin, S., Behary, N., Perwuelz, A. ve Guan, J. (2018). Life cycle assessment of flame retardant cotton textiles with optimized end-of-life phase. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1080-1088.
- Zeronian, S. H., Ellison, M. S. ve Alger, K. (1980). Influence of moisture on the flame retardance of textile fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 25(7), 1311-1322.
- Zhu, Q. ve Li, Y. (2003). Effects of pore size distribution and fiber diameter on the coupled heat and liquid moisture transfer in porous textiles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46(26), 5099-5111.
- Zhu, F. ve Li, K. (2011). Numerical modeling of heat and moisture through wet cotton fabric using the method of chemical thermodynamic law under simulated fire. *Fire Technology*, 47(3), 801-819.