

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ESNEK AMBALAJ SEKTÖRÜ ROTOGRAVÜR BASKI MAKİNALARINDA
ETİL ASETAT KAYNAKLI YANGINLARIN NEDENLERİ VE YANGINI
ÖNLEMELİK İÇİN ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre RESULOĞLU

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

İş Sağlığı ve Güvenliği Tezli Yüksek Lisans Programı

AĞUSTOS 2020

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ESNEK AMBALAJ SEKTÖRÜ ROTOGRAVÜR BASKI MAKİNALARINDA
ETİL ASETAT KAYNAKLI YANGINLARIN NEDENLERİ VE YANGINI
ÖNLEMELİK İÇİN ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emre RESULOĞLU
(181212003)**

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

İş Sağlığı ve Güvenliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Uğur ÖNCEL

AĞUSTOS 2020



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz, İş Sağlığı ve Güvenliği Tezli Yüksek Lisans Programı 181212003 numaralı öğrencisi **Emre RESULOĞLU**'nun "Esnek Ambalaj Sektörü Rotogravür Baskı Makinalarında Etil Asetat Kaynaklı Yangınların Nedenleri ve Yangını Önlemek İçin Alınması Gereken Tedbirler" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 20.07.2020 tarih ve 2020/11 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *Oy.Bicilipi*...ile Yüksek Lisans tezi olarak *kabul!*.....edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 12.08.2020

- | | | |
|------------------|-------------------------------|-------|
| 1)Tez Danışmanı: | Dr.Öğr.Üyesi Hasan Uğur ÖNCEL | |
| 2) Jüri Üyesi : | Prof.Dr.Bülent MERTOĞLU | |
| 3) Jüri Üyesi : | Dr.Öğr.Üyesi Mustafa YAĞIMLI | |

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Esnek Ambalaj Sektörü Rotogravür Baskı Makinalarında Etil Asetat Kaynaklı Yangınların Nedenleri ve Yangını Önlemek İçin Alınması Gereken Tedbirler” adlı tezin, proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (12/08/2020)

Emre RESULOĞLU

ÖNSÖZ

Günümüzde gerek dünya nüfusunun hızla artmasından gerekse de mobilitenin insan yaşamında daha fazla yer edinmesinden ötürü paketli gıdaya olan ihtiyaç oldukça yüksek seviyelere ulaşmıştır ve her geçen gün gıdaların daha uzak noktalara erişiminin sağlanmasına, ömrünün uzamasına olan gereksinim fazlalaşmaktadır. İnsanların temiz, sağlıklı gıdaya erişiminin sağlanması için Dünya'nın heryerinde ambalajlama fabrikaları kurulmuştur ve bu sektör artan ihtiyaca paralel olarak her geçen gün daha da büyümektedir.

Gıda üreticileri ürünlerinin ömürlerini uzatma arayışı içerisinde olmakla beraber pazarlama imkanlarını genişletmek adına görsel tasarımlar geliştirmekte bu düzeylerin ürün ambalajı üzerinde basılı olmasını talep etmektedirler. Dolayısıyla ambalaj üreticileri aynı zamanda birer matbaa işletmeleridirler. Müşterilerinden gelen talepler doğrultusunda ambalaj mazlemeleri üzerine baskı yapmaktadırlar. Ambalaj üzerine baskı esnasında kullanılan boyaları seyreltmek için birtakım kimyasallar kullanılmaktadır ki bunların başında Etil Asetat vardır. Oldukça yanıcı ve parlayıcı olan bu kimyasal üretim esnasında ciddi bir yangın tehlikesini ortaya çıkarmaktadır.

Baskı makinalarında en öncelikli iş güvenliği riski olan etil asetat kaynaklı yangınların önlenmesine yönelik hazırlanmış olan tezimde bana desteğini veren değerli hocam Uğur Öncel'e, Amcor Flexibles OHSE koordinatörü George Wagner'e teşekkür ederim. Bu çalışma esnasında istatistiksel verilerini, bilgi ve tecrübelerini, deneysel çalışmaları gerçekleştirmek üzere çalışma ortamını bize sunan Amcor Flexibles İstanbul Ambalaj San. ve Tic. A.Ş. firmasına, OHSE ekibine ve tedarikçilerine teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2020

Emre RESULOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE METOD	2
2.1 Materyal	2
3. YANGIN	3
3.1 Yangının Tanımı ve Meydana Gelme Koşulları	3
3.2 Etil Asetat.....	3
4. ROTOGRAVÜR BASKI MAKİNALARI	5
5. ROTOGRAVÜR BASKI MAKİNALARINDA ETİL ASETAT YANGINLARININ NEDENLERİ VE KONTROL TEDBİRLERİ	10
5.1 Yakıt.....	10
5.2 Tutuşturucu Kaynaklar.....	16
5.2.1 Statik elektrik	16
5.2.1.1 İnsan kaynaklı statik elektrik	17
5.2.1.2 Film kaynaklı statik elektrik.....	17
5.2.1.3 Makina kaynaklı statik elektrik.....	21
5.2.1.3 Akışkan kaynaklı statik elektrik.....	24
5.2.2 Sürtünme	26
6. İNLINE ROTOGRAVÜR BASKI MAKİNALARI LAMİNASYON ÜNİTELERİNDE YAŞANAN KRONİK TUTUŞMA PROBLEMİNE YÖNELİK DENEYSEL ÇALIŞMA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ	32
6.1 Makine Özellikleri	33
6.2 Araştırma Sonuçları ve Tartışma	34
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	49
7.1 Öneriler	50
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	54

KISALTMALAR

EA	: Etil Asetat
PE	: Polietilen
Al	: Alüminyum
PES	: Polyester
Al	: Aliminyum
PVC	: Polivinil Klorür
PET	: Polietilen Teraftalat
LEL	: Low Explosive Limit (Alt Patlama Noktası)
UEL	: Upper Explosive Limit (Üst Patlama Noktası)
SRU	: Solvent Recovery Unit (Solvent Geri Kazanım Ünitesi)
RTO	: Rejeneratif Isıl Yakma Ünitesi
OPP	: Oriyente Polipropilen
ESA	: Elektrostatik Asistan

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: Etil Asetatın Özellikleri [3]	4
Çizelge 5.1: Solventlerin İletkenlik Değerleri ve Gevşeme Süreleri [17]	24
Çizelge 5.2: Endüstride Meydana Gelen Elektrik Kaynaklı Yangınların Oranı [20]	28
Çizelge 6.1: Film Üzerindeki Statik Elektrik Yük Değerleri	36
Çizelge 6.2: Anti Statik Baranın Aktif Olduğu Durumda Film Üzerindeki Statik Elektrik Yük Değerleri	37
Çizelge 6.3: Baskı Makinası Laminasyon Ünitesinde Kullanılan İki Ayrı Baskı Kauçuğunun Yüzey ve Yalıtım Direnç Değerleri	41

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 : Yangın Üçgeni [1]	3
Şekil 4.1 : Baskı Üretim Şeması [4]	5
Şekil 4.2 : Rotogravür Baskı Makinası [5]	6
Şekil 4.3 : Rotogravür Makinaları Baskı Mekanizması [6]	6
Şekil 4.4 : Örnek Gravür Silindiri	7
Şekil 4.5 : Rotogravür Makinaları Tünel Mekanizması [7]	8
Şekil 4.6 : Rotogravür Makinaları Kurutma Mekanizması [7]	8
Şekil 5.1 : Baskı Ünitesi [4]	10
Şekil 5.2 : Parlayıcı Maddelerde Kabul Edilebilir Maksimum Konsantrasyon ve Sıcaklık Değerleri	11
Şekil 5.3 : Kurutucular ve Fırınlarda Sıcaklık ve LEL% Bağlantılı Çalışma Aralıkları[9]	13
Şekil 5.4 : Rotogravür Baskı Makinaları Kurutucu Tünellerinde Sıcaklık ve LEL%'ne Bağlı Çalışma Aralığı [9]	14
Şekil 5.5 : Tribo Elektrik Serisi [11]	18
Şekil 5.6 : Baskı Makinalarında Malzemelerin Birleşmesi/Sürtünmesi/Ayrılması [12]	19
Şekil 5.7 : Aktif İyanizasyon	20
Şekil 5.8 : Pasif İyanizasyon Ekipmanları [12]	20
Şekil 5.9 : ESA Çalışma Prensibi [15]	22
Şekil 5.10: Baskı Kauçuğu ve ESA Elektrot [15]	23
Şekil 5.11: Deşarj Barasının Montajı [15]	23
Şekil 5.12: Tipik Bir Solvent Kabı ve Topraklama Ekipmanı [17]	25
Şekil 5.13: Silindir Yatakları ve Sıçrama Önleyici Kapak	26
Şekil 5.14: Zirkon İle Çelik Silindirin Sürtünmesi Sonucu Hıza Bağlı Ortata Çıkan Sıcaklık Değerleri [18]	27
Şekil 5.15: Termal Kamera ve Lazerli Isı Ölçer	27
Şekil 5.16: Kabloda Aşırı Akıma Bağlı Isınma ve Tutuşma [19]	29
Şekil 5.17: Isınan Bir Motorun Termal Kamera Görüntüsü [21]	30
Şekil 6.1 : Fraser 710 Statik Metre	34
Şekil 6.2 : LEL Sensörü	35
Şekil 6.3 : Sleeve Yüzey ve Yalıtım Direnç Ölçümü	35
Şekil 6.4 : Dijital Nem Ölçme Cihazı	36
Şekil 6.5 : Anti Statik Bara Konumu	37
Şekil 6.6 : Anti statik Bara	37
Şekil 6.7 : Hava Akım Tespit Cihazı [23]	39
Şekil 6.8 : Solvent Buharlarının Alaylenebilirlik Koşulları [17]	40
Şekil 6.9 : Sleeve [24]	40
Şekil 6.10 : Tribo Elektrik Serisi [11]	43

Şekil 6.11 : Yangın Sonrası Kurutucu Tünel Alt Izgaralarda Meydana Gelen Hasar ve Kararma	44
--	-----------

**ESNEK AMBALAJ SEKTÖRÜ ROTOGRAVÜR BASKI
MAKİNELERİNDE ETİL ASETAT KAYNAKLI YANGINLARIN
NEDENLERİ VE YANGINI ÖNLEMELERİ İÇİN ALINMASI GEREKEN
TEDBİRLER**

ÖZET

Günümüz dünyasında hızla artan insan nüfusu, üretim alanlarının çeşitlenmesi, toplumların belli üretim konularında uzmanlaşması ve insanların artan mobilitesi hijyenik, uzun süre tazeliğini koruyabilen gıdaya olan ihtiyacı arttırmıştır. Özellikle endüstriyel tesislerde üretilen işlenmiş gıdaların uzak noktalara, marketlere sağlıklı bir şekilde ulaştırılabilmesi, gıdaların uygun ambalajlar içerisinde muhafaza edilmesini gerekli kılmaktadır. Bununla beraber gıda üreticilerinin ve pazarlamacılarının ürünlerini tanıtmaya, fark edilebilirliğini artırma, ürün imajı oluşturma gayretleri, ambalajların üzerine belli bir takım farklı tasarımların basılmasını gerekli kılmaktadır.

Türkiye’de ve Dünya’da polietilen, polyster, alüminyum, kağıt, polivinil klorür, cam, teneke gibi metaryeller başlıca ambalaj malzemeleri olarak ön plana çıkmaktadır. Bu malzemeler gıda maddesinin türüne, istenilen dayanım süresine, üreticinin tasarım kriterine göre tek başına veya birbiri ile lamine edilerek kullanılabilir. Örneğin hava geçirgenliğine hassas, tazeliğini daha kısa sürede kaybetmeye eğilimli bir kuruyemiş ürünü için aradaki alüminyum malzemenin bariyer özelliğinden faydalanmak adına PET-Al-PE lamine edilmiş yapı kullanılabilirken, bozulmaya daha dirençli bir şekerleme ürünü için tek katlı PVC yapı kullanılabilir. Ambalaj malzemelerinin lamine edilme sıralaması ürüne temas ettiğinde ortaya çıkardığı etki, üzerine baskı yapılabilme olanağı gibi nedenlerle değişiklik göstermektedir. Örneğin bir kuruyemiş ambalajı olan PET-Al-PE yapı sıralaması, üzerine kolay baskı yapılabilme olanağından ötürü PET malzeme üstte, gıdaya temas etmesinin önlenmesi için Al ortada olacak şekilde oluşturulmuştur. Bununla birlikte Dünya üzerinde oksijen ve nem geçirgenlik direnci yüksek, şeffaf yapılı, geri dönüştürülebilir ambalaj malzemeleri üzerine çalışmalar devam etmektedir hatta bazı ülkelerde üretime geçişi gerçekleşmiştir.

Gıda ürünlerinin temiz koşullarda, uzun süreler saklanması yanı sıra gıda üreticileri ürünlerinin müşteriler tarafından fark edilmesini sağlamak, ürün imajı oluşturmak, reklam ve tanıtım yapmak amaçlı dizaynlar geliştirmekte ve bunların ürünlerini muhafaza eden ambalajlar üzerinde basılı olmasını talep etmektedir. Pazarlama stratejilerinin önemli bir kısmını oluşturan bu gereksinime yönelik esnek ambalaj sektörü de kendisini ambalaj malzemelerine baskı yapabilir şekilde geliştirmiş ve bu doğrultuda büyüme gerçekleştirmiştir. Genel olarak bir esnek ambalaj fabrikası film üretimi için ekstrüzyon makinalarından, ambalaj üzerine baskı yapmak üzere baskı makinalarından, farklı yapıları üst üste birleştirmek amaçlı laminasyon makinalarından ve üretilen ambalajı nihai ebatlara getirmek için kesme makinalarından meydana gelmektedir.

Bu çalışmada ele alınan EA kaynaklı yangınlar, ambalaj fabrikalarının rotogravür baskı ve laminasyon makinalarında, eğer entegre tesis ise boyahane bölümlerinde meydana gelmektedir. Bu çalışmada rotogravür baskı makinalarında EA kaynaklı

yangınların nedenleri ve yangınları önlemek için alınması gereken tedbirler incelenmiş olmakla beraber sebepler ve önleme yöntemleri flexo baskı makinaları ve laminasyon makinalarında da benzerlik göstermektedir. Ayrıca bir ambalaj fabrikasında inline baskı makinasında sürekli tekrar eden bir yangın vakasının çözümlenme aşamaları da takip edilmiş ve çıkarımlar ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Yangın, Ambalaj, Gıda, İş sağlığı ve güvenliği, Etil asetat*

ETHYL ACETATE CAUSED FIRES AND PRECAUTIONS IN FLEXIBLE PACKAGING SECTOR ROTOGRAVUR PRINTING MACHINES

ABSTRACT

The rapidly increasing human population, the diversification of production areas, the specialization of societies in certain production fields and the increasing mobility of people in today's world have increased the need for food that can maintain hygiene, freshness for a long time. The fact that processed foods produced in industrial facilities can be transported to distant points and markets in a healthy way, requires keeping the foods in suitable packages. In addition, the efforts of food manufacturers and marketers to promote their products, increase their visibility and create a product image require printing certain designs on the packages.

Materials such as polyethylene, polyester, aluminum, paper, polyvinyl chloride, glass and tin are the main packaging products in Turkey and also in the World. These materials can be used either alone or with each other according to the type of foodstuff, desired durability, and the manufacturer's design criteria.

For example, for a dried fruit product that is sensitive to air permeability and tends to lose its freshness in a short time, PET-Al-PE laminated structure can be used to benefit from the barrier properties of the aluminum material in between, while a single-layer PVC structure can be used for a more refractory confectionery product.

The order of lamination of packaging materials changes when it comes into contact with the product, for reasons such as the effect, the possibility of printing on it. For example, the PET-Al-PE structure sequence, which is a nut packaging, has been created so that PET material is on top and Al in the middle to prevent food contact due to the possibility of easy printing. In addition to this, studies on transparent and recyclable packaging materials with high oxygen and moisture permeability resistance are continuing in the world, and even in some countries it has been transitioned to production.

Besides keeping food products in hygienic conditions for long periods of time, food manufacturers are developing designs to ensure their products are noticed by customers, to create product images, to advertise, and demand that these are printed on the packaging that protects their products. For this requirement, which constitutes an important part of the marketing strategies, the flexible packaging sector has developed itself to print packaging materials and has grown in this direction.

In general, a flexible packaging factory consists of extrusion machines for film production, printing machines for printing on packaging, lamination machines for joining different structures in a row, and cutting machines to bring the produced packaging to final dimensions.

The ethyl acetate fires discussed in this study occur in the rotogravure printing and lamination machines of the packaging factories, and ink kitchens if it is integrated facility. In this study, the causes of EA fires in rotogravure printing machines and the precautions to be taken to prevent fires are investigated, but the causes and

prevention methods are similar in flexo printing machines and lamination machines. In addition, in a packaging factory, the resolution stages of a repeated fire incident in an inline printing machine were investigated and the implications were discussed.

Keywords: *Fire, Packaging, Food, Safety, Ethyl acetate*

1. GİRİŞ

Türkiye’de ve dünyada ambalaj sektöründe film üretimi ve baskı prosesi bir bütünlük arz etmektedir. Ambalaj filmi üzerine yapılan baskı faaliyetinin temel girdileri film ve mürekkeptir. Mürekebin temel bileşenleri reçine, pigment, çözücü ve parlaklık, sürtünme gibi özelliklere müdahale etmeyi sağlayan yardımcı maddelerdir. Reçine türleri ise nitroselüloz, poliamid, poliüretan, vinilik bazlı olabilmektedir. Baskı endüstrisinde kullanılan mürekkepler solvent bazlı ve su bazlı olabilmektedir. Su ve solvent çözücü türleri arasında yer almaktadır. Rotogravür baskı makinalarında su bazlı mürekkep sadece kağıda baskıda kullanılırken, az enerji ile hızlı buharlaşma kabiliyetinden ötürü diğer tüm malzemelerde genellikle solvent bazlı mürekkep tercih edilmektedir. Aseton, etanol, etil asetat, propanol, propil asetat, metil etil keton, toluen gibi kimyasallar solvent çözücü grubunda yer almaktadırlar. Baskı mürekkeplerinde kullanım kolaylığı, geri kazanım sistemlerinin mevcudiyeti, maliyet avantajları, diğer solvent türlerine nazaran çalışan sağlığı üzerindeki etkilerinin görece daha az olması gibi nedenlerle rotogravür baskı makinalarında en çok tercih edilen solvent türü etil asetatıdır. Oldukça yanıcı ve parlayıcı olan bu solventin yoğun kullanımı yangın başta olmak üzere bir çok iş sağlığı ve güvenliği tehditlerini beraberinde getirmektedir. Dolayısı ile etil asetat kaynaklı yangınların önlenmesi baskı sektöründe hayati bir öneme sahiptir. Hal böyle iken halen Türkiye’de ve Dünya’da baskılı ambalaj sektöründe çok sayıda etil asetat kaynaklı yangınlar meydana gelmekte, bu yangınların önemli bir kısmı çalışanlar ve otomatik yangın söndürme sistemleri tarafından söndürülmesine karşın bir kısmı söndürülememekte, sonuç olarak da ciddi can ve mal kayıpları yaşanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Materyal

Bu çalışmamızda dünya çapında 250'nin üzerinde fabrikası bulunan ve esnek ambalaj sektöründe faaliyet gösteren uluslararası bir ambalaj firmasının bünyesinde bulunan Inline baskı makinaları, laminasyon ünitelerinde yaşanan ve sürekli tekrarlayan yangın vakalarının kök neden analizi yapılarak çözümü ele alınmıştır. Bununla beraber firmaya ait fabrikaların bugünden geçmişe yönelik oluşturduğu yangın raporları incelenmiş ve bu raporlar ışığında baskı makinalarında meydana gelen yangınların nedenleri, yangınları önleme yöntemleri ortaya koyulmuştur.

2.1 Metod

Ambalaj fabrikaları bünyesinde bulunan, laminasyon ünitelerinde opp – metalize opp filmlerin laminasyonu esnasında alevlenme yaşanan inline laminasyon makinaları ve çevre koşulları incelenmiş, elde edilen veriler Ishakawa metodu kullanılarak analiz edilmiştir.

3. YANGIN

3.1 Yangının Tanımı ve Meydana Gelme Koşulları

Yanma yanıcı malzeme ile oksijen arasında gerçekleşen ekzotermik bir reaksiyondur. Yangın ise bir çok kaynakta kontrol dışı yanma olarak ifade edilmektedir.

Dolayısıyla yanma olayının gerçekleşmesi için gerekli üç unsur, hava-yanıcı madde-tutuşturucu kaynak olarak sıralanabilir. Bu üç unsura yangın üçgeni tanımlaması getirilmiştir. Patlama ise ani gelişen yanma olayı olarak nitelenebilir. Şekil 3.1’de yangın üçgeni gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Yangın Üçgeni [1]

Bu çalışmada yanıcı madde olarak rotogravür baskı makinalarında mürekkep çözücüsü olarak kullanılan etil asetat incelenmektedir. Statik elektrik ve sürtünme sonucu ortaya çıkan ısı ise temel olarak tutuşturucu kaynaklar olarak ele alınmaktadır.

3.2 Etil Asetat

Etil Asetat renksiz, meyvemsi bir kokuya sahip, yüksek düzeyde alevlenebilir, insan sağlığına zarar verebilecek içeriğe sahip bir kimyasal üründür ^[2]. Baskı sektöründe mürekkep hazırlama aşamasında çözücü olarak kullanılmaktadır. Düşük buharlaşma

ısısı gereksiniminden ötürü diğer çözücü maddelere göre maliyet avantajı sağlamaktadır. Ancak bu maliyet avantajı, insan sağlığını olumsuz etkileyebilme ve yangın gibi iş güvenliği risklerini beraberinde getirmektedir. Etil asetat buharı havadan ağır olduğundan, zeminde birikme eğilimi gösterir. Bu nedenden ötürü çalışma ortamında insan sağlığını etil asetatın olumsuz etkilerinden korumak için, çalışma ortamında alttan emiş yapan havalandırma sistemleri önerilmektedir.

Rotogravür baskı Kağıt, Al, PE gibi metaryellere, yüksek kalitede dizayn baskılarının yapılması için kullanılan bir yöntemdir. Çizelge 3.1'de Etil asetatın özellikleri verilmiştir.

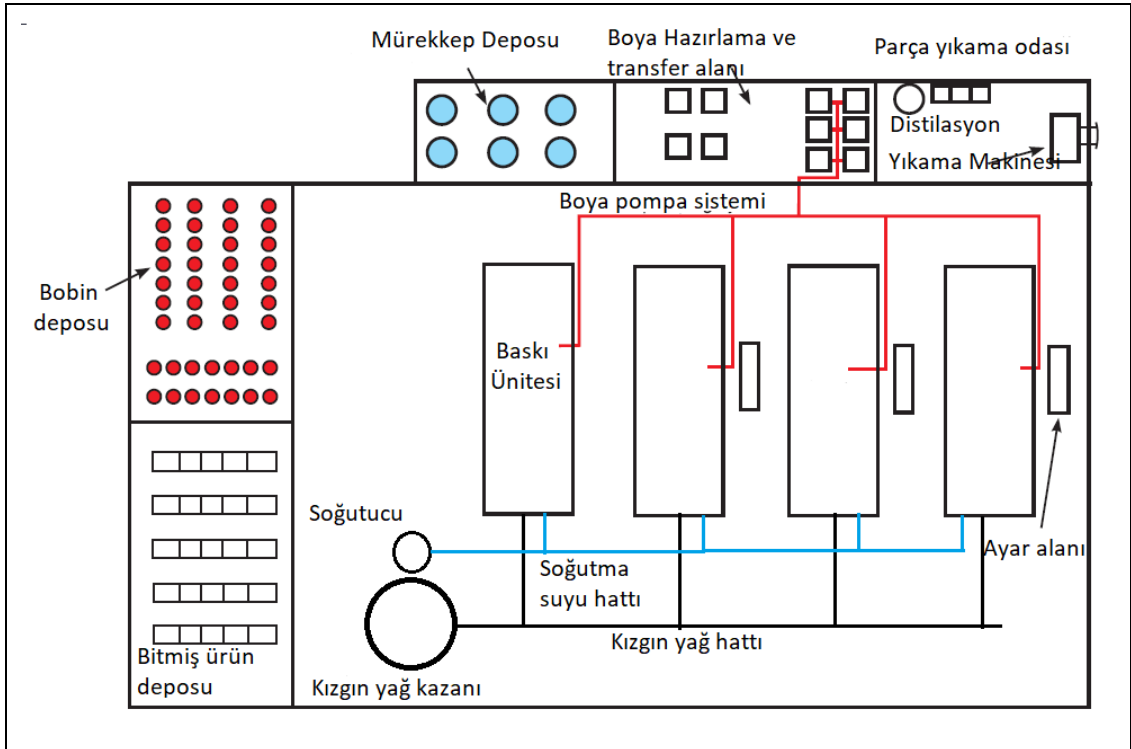
Çizelge 3.1: Etil Asetatın Özellikleri [3]

Formül	C ₄ H ₈ O ₂ /CH ₃ COOC ₂ H ₅
Moleküler Kütle	88,1
Buharlaşma Noktası	77° C
Ergime Noktası	-84° C
Bağıl Yoğunluk (Su = 1)	0,9
Suda Çözünürlük, g/100ml 20 C'de	8,7 (Zayıf)
Buhar Basıncı, kPa 20C'de	10
Bağıl Buhar Yoğunluğu (Hava =1)	3,0
Bağıl Buhar/Hava Karışımı Yoğunluğu 20 C'de (Hava =1)	1,2
Parlama Noktası	-4°C
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı	427° C
Patlama Limitleri, havadaki Yoğunluk %	2 - 12,8

Yukarıdaki çizelgede etil asetat için üretim esnasında çalışan sağlığı ve yangın güvenliği açısından dikkate alınması gereken kritik değerler verilmiştir. Genel anlamada baskı sektöründe çalışma koşulları dikkate alındığında, buharlaşma ısısı, bağıl buhar yoğunluğu, bağıl buhar/hava karışımı yoğunluğu, parlama noktası, LEL-UEL değerleri özellikle ön plana çıkmaktadır.

4. ROTOGRAVÜR BASKI MAKİNALARI

Rotogravür baskı makinaları yüksek kalitede baskı kalitesini gerektiren tasarımlarda, PE, Polyester, Kağıt gibi malzemeler üzerine, istenilen görsellerin basılmasını sağlayan makinalardır. Minimum 1 olmak üzere daha fazla sayıda rengin, ürün üzerine basılmasını sağlayan ünitelerden meydana gelmektedir. Baskı sektöründe genel olarak ünite sayısı 3 ile 12 arasında değişen makinalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşağıda Şekil 4.1’de bir baskı makinasının üretim yaptığı tesisin ana hatları ifade edilmiştir.

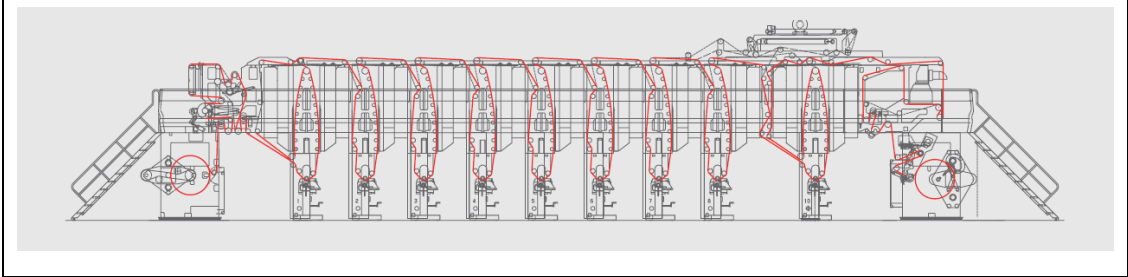


Şekil 4.1 : Baskı Üretim Şeması [4]

Bir baskı makinasının kurulu olduğu tesis genel olarak baskı makinası, enerji merkezi ve hattı, soğutucu ve soğutma hattı, boya hazırlama alanı ve pompa hattı, yarı mamül-mamül ürün deposu ve baskı makinası demontaj parçalarının temizlendiği yıkama alanlarından meydana gelmektedir.

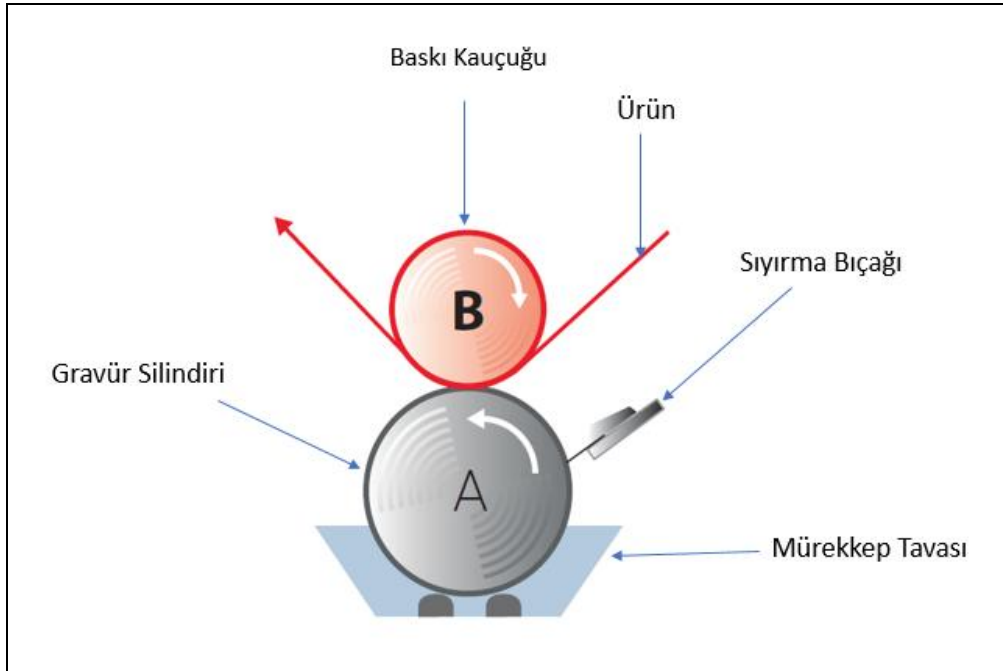
Rotogravür baskı makinaları genel olarak üzerine baskı yapılacak malzeme bobininin bağlandığı, çözücü, ürün üzerine mürekkebin uygulandığı, boya haznesi ve baskı

silindirinden, kurutma tüneline mütetekül oluŖuŖ ünitesel ve üzerine dizayn grafik tasarımı basılmış ürünün, tekrar bobin haline getirilmesini sağlayan sarıcı kısımlarından oluŖmaktadır. AŖaęıda Ŗekil 4.2’de bir rotogravür makinasının dizaynının ana hatları gösterilmiŖtir.



Ŗekil 4.2 : Rotogravür Baskı Makinası [5]

Rotogravür baskı makinalarının her bir ünitesi, gravür silindirine etil asetat kullanılarak çözüdürlmüŖ mürekkebin aktarımını sağlayan boya haznesi, gravür silindiri-baskı kauçuğu-sıyırma bıçağından oluŖan baskı mekanizması ve de ürün üzerinde etil asetatı buharlaŖtırarak, katı mürekkebin ürün üzerinde tutunmasını sağlayan kurutma tünelerinden meydana gelmektedir. Dolayısıyla rotogravür baskı makinalarında etil asetat kaynaklı yangınların meydana geldiği noktalar tüm bu üniteleri kapsamaktadır. Ŗekil 4.3’de baskı mekanizması ve kurutma tünelerini gösteren resimler ve çalıŖma prensipleri paylaŖılmaktadır.



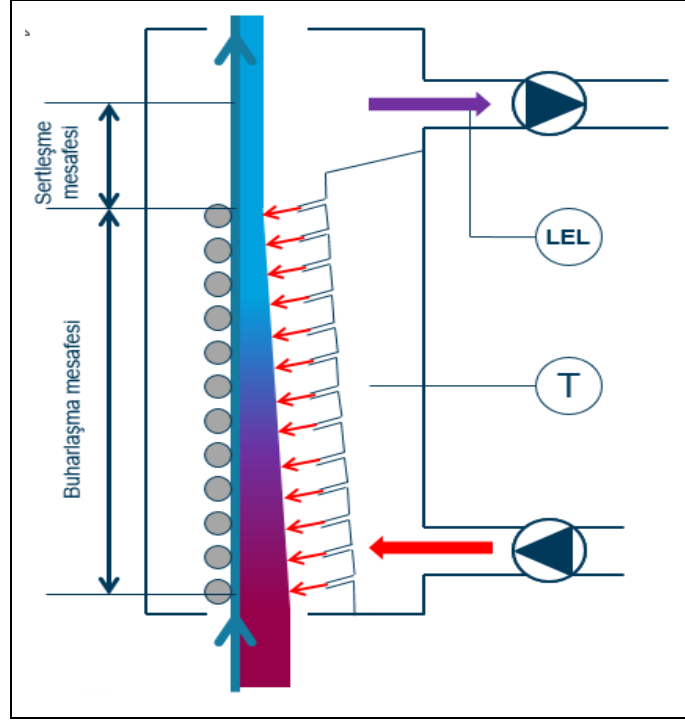
Ŗekil 4.3 : Rotogravür Makinaları Baskı Mekanizması [6]

Yukarıdaki şekilde de açıkça görüldüğü üzere, üzerine baskı yapılacak film A ve B silindirlerinin arasından geçmektedir. Gravür silindiri olarak adlandırılan A silindirinin üzerine, ilgili üniteye bulunan rengin oluşturacağı desen gravür makinasında önceden işlenmektedir. Gravür silindiri mürekkep haznesinden boyayı üzerine almakta, desenin işlenmiş olduğu çukur alan haricindeki boya, sıyırma bıçağı vasıtasıyla sıyırılmaktadır. Desen içerisindeki boya ise film, gravür silindiri ile baskı kauçuğu arasından geçtiği sırada filme aktarılmaktadır. Böylelikle her bir boyanın geleceği alanlar, takip eden ünitelerde film üzerine basılmakta ve en sonunda istenilen grafik tasarım ortaya çıkmaktadır.



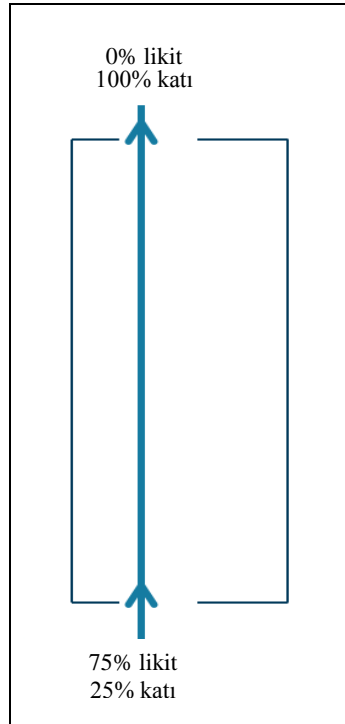
Şekil 4.4 : Örnek Gravür Silindiri

Baskı trolleyinden çıkan film üzerinde etil asetat ihtiva eden çözelti olduğu halde kurutma tüneline girmektedir. Genellikle içerisinde kızgın yağ geçen ısı eşanjörleri vasıtasıyla ısıtılan hava, tünel içerisindeki nozullar aracılığıyla film üzerine üflenmekte ve bu sayede çözelti içerisindeki etil asetat buharlaştırılmaktadır. Etil asetatın buharlaşması sonucu çözelti içerisindeki katı madde film üzerine tutunmaktadır. Tünelin ilerleyen kısımlarında sertleşerek istenilen kalıcı şekli meydana getirmektedir. Tünel içerisinde üfleme nozullarına ilaveten buharlaşan etil asetat konsantrasyonuna sahip havanın tahliyesini sağlayan, emiş sistemi bulunmaktadır. Tünel içerisinde emilen hava solvent geri kazanım (SRU) veya rejeneratif ısı yakma ünitelerine (RTO) gönderilerek etil asetat tekrar üretimde kullanılmak üzere geri kazanılır veya enerji elde etmek üzere yakılır.



Şekil 4.5 : Rotogravür Makinaları Tünel Mekanizması [7]

Son yıllarda getirdiği maliyet avantajları ve olumsuz çevresel etkileri ortadan kaldırmaları dolayısıyla SRU-RTO sistemleri Türkiye’deki ambalaj fabrikalarında da kullanılmaya başlanmıştır. Fakat maalesef bu sistemler yeterli miktarda değildir ve bir çok ambalaj fabrikasında tünel içerisinde emilen hava atmosfere salınarak ciddi maliyet kayıplarına ve çevresel olumsuzluklara neden olmaktadır.



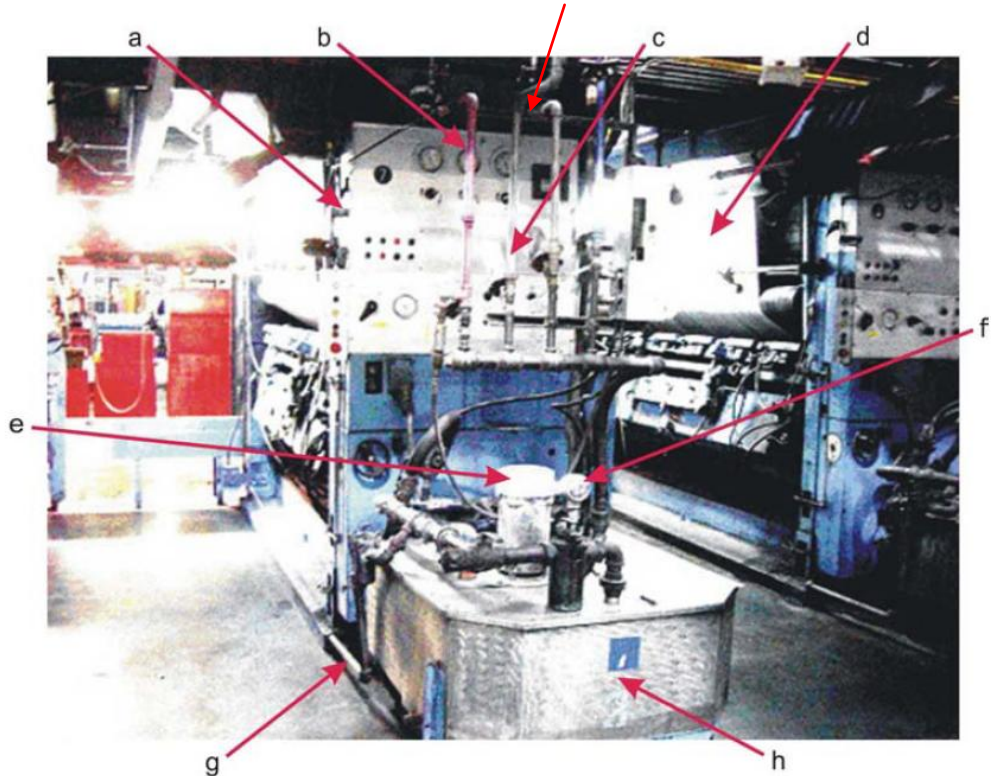
Şekil 4.6 : Rotogravür Makinaları Kurutma Mekanizması [7]

Rotogravür baskı makinalarında üretim esnasında kullanılan mürekkep çözeltileri, ortalama % 75 Etil Asetat, % 25 pigment-reçine vs. gibi katı maddelerden meydana gelmektedir. Teorik olarak % 25 katı madde oranı ile tünele giren çözeltilerin içerdiği likit tünel bitiminde tamamen buharlaştırılmaktadır. Tünel ısıları basılan yüzeyin alanına, mürekkebin türüne, içerdiği katı madde oranına göre değişkenlik göstermekle beraber genel olarak 35°C ila 120°C arasında ayarlanmaktadır.

5. ROTOGRAVÜR BASKI MAKİNALARINDA ETİL ASETAT YANGINLARININ NEDENLERİ VE KONTROL TEDBİRLERİ

5.1 Yakıt

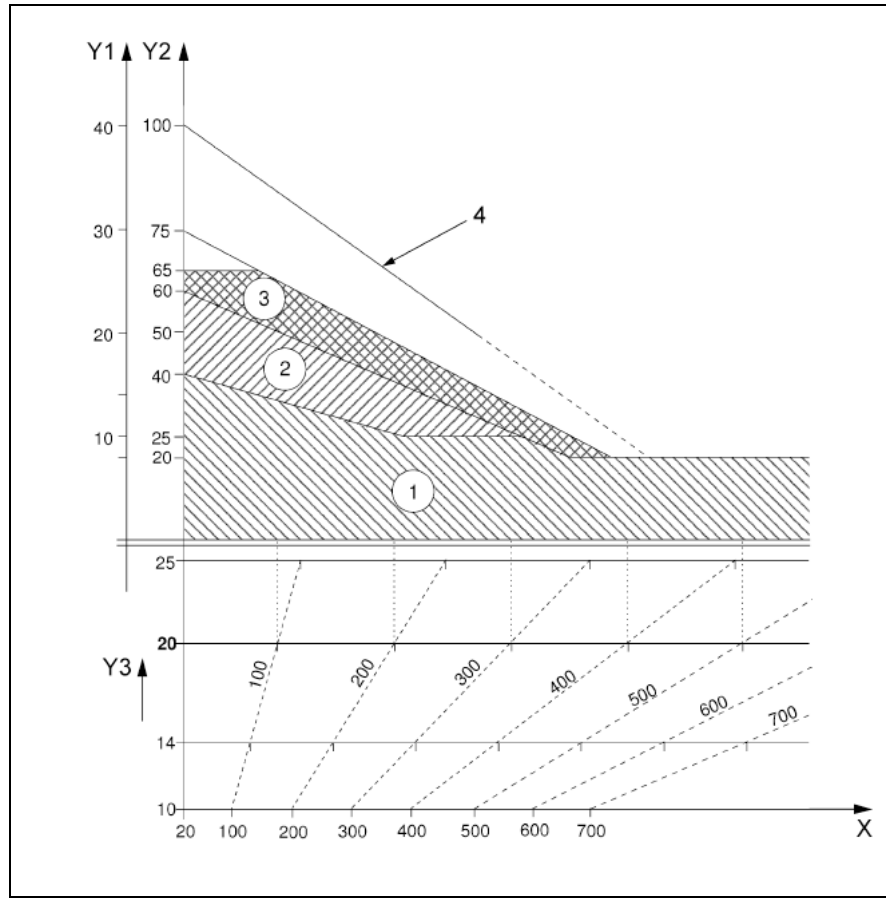
Rotogravür baskı makinalarında etil asetat kaynaklı yangınların gerçekleştiği kısımlar genel olarak baskı üniteleri, kurutucu tüneller ve boya hazneleri olarak sıralanabilir. Boyanın filme transferinin gerçekleştiği baskı üniteleri, filme transfer edilen likit boyanın kurutulduğu kurutma tünelleri ve baskı ünitesini besleyen boya hazneleri, çok alevlenebilir madde olan etil asetatın kullanıldığı makine kısımlarıdır. Dolayısıyla yangın üçgeninde ifade edilen 3 unsurdan biri olan yakıt, baskı makinalarının bu kısımlarında ortaya çıkmaktadır. Aşağıda Şekil 5.1’de etil asetat ihtiva eden bir baskı ünitesinin kısımları gösterilmiştir.



- | | |
|-------------------------|---|
| a. Ünite | f. Elektrik ekipman |
| b. Solvent / boya hattı | g. Hazneden üniteye boya transfer hattı |
| c. Selenoid valfler | h. Boya haznesi |
| d. Film | i. Kurutma tüneli |
| e. Pompa motoru | |

Şekil 5.1 : Baskı Ünitesi [4]

Şekilde de gösterildiği şekilde boya, insan eliyle veya bir hat vasıtasıyla boya haznesine doldurulur. Haznede depolanan boya film üzerine baskının yapılacağı üniteye bir pompa vasıtasıyla transfer edilir. Üniteden üzerine boya alan film kurutulmak üzere tünele girer ve tüm işlemler sırasında olası bir yangının yakıtını oluşturacak olan etil asetat buharı ortaya çıkar. Bu noktalarda etil asetat buharı tutuşma için yeterli konsantrasyona sahip olması durumunda statik kıvılcım, sürtünme sonucu açığa çıkan ısı gibi bir kaynakla karşılaşırsa yangın kaçınılmaz olacaktır.



X) Maksimum kurutma sıcaklığı Y2) LEL %

Y1) Konsantrasyon g/m^3 Y3) Δ LEL % / 100 K

Şekil 5.2 : Parlayıcı Maddelerde Kabul Edilebilir Maksimum Konsantrasyon ve Sıcaklık Değerleri

Yukarıdaki Şekil 5.2'deki kolay alevlenebilir/ parlayıcı gazlar oluşturan maddelerle çalışan fırınların ve kurutucu tünellerin dizaynına yönelik BS EN 1539: 2015 standardından alınmıştır. Grafikten de anlaşılacağı üzere solvent buharının bulunduğu ortamda sıcaklık arttıkça patlama/ alevlenme oluşması için gerekli LEL % değeri düşmektedir. Grafiğin başlangıç noktası 20°C olduğuna göre ve bu sıcaklıkta

% 100 LEL seviyesindeki bir solvent tutuşma seviyesine ulaşırken, 100 °C' lik bir sıcaklık artışı söz konusu olduğunda % 80 LEL seviyesinde parlama gerçekleşebilmektedir [8].

Baskı ünitesi, kurutma tüneli ve boya haznesinde oluşan etil asetat buharının parlamasının oluşma koşulunu sağlayabilecek konsantrasyon düzeyine gelmesini önlemek için alınması gereken bir takım önlemler vardır. Bunların başlıcaları:

Boya haznesi: Haznede ünite içerisindeki mürekkep tavaasına transfer edilmek üzere bekletilen boya içerisindeki etil asetatın buharlaşmasını önlemek için hazneler sızdırmaz şekilde dizayn edilmelidir. İnsan gücü kullanılarak doldurulmak zorunda olan haznelerin kapakları kapalı tutulmalı böylece yakın alan içerisinde parlayıcı gaz birikimi engellenmelidir.

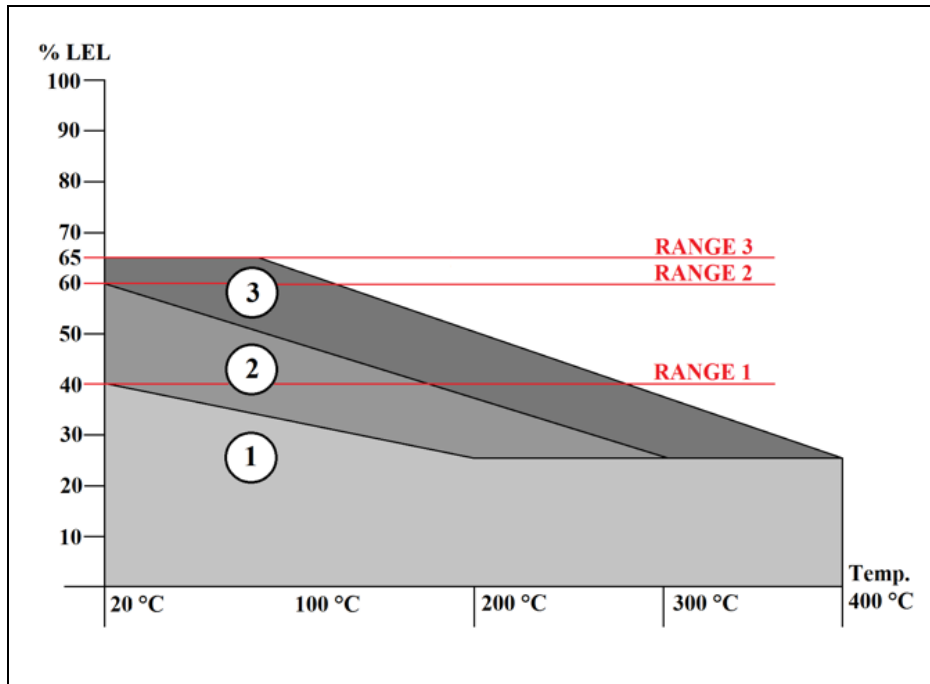
Baskı ünitesi: Baskı ünitesi temel olarak Şekil 5.1'de de gösterildiği üzere boya haznesi ve hazneden boyayı filme transfer eden merdanelerden oluşmaktadır. Dolayısıyla tıpkı boya haznesinde olduğu gibi haznenin dış ortamla olan irtibatının mümkün olduğunca azaltılması, yanıcı / parlayıcı gazların ünite etrafında birikiminin önüne geçecektir. Yıllar içerisinde yaşanan yangın vakaları neticesinde makine üreticileri boya tavalalarının çalışma ortamıyla arasındaki izolasyonunu sağlamak üzere tertibatlar geliştirmişlerdir, fakat nispeten eski ve hali hazırda baskı endüstrisinde kullanılan bir çok makinada bu koruma mevcut değildir. Ayrıca sıyırıcı bıçak üzerinde biriken boya kalıntılarını temizlemek, sıyırıcı bıçağın silindire yaklaşma açılarını düzenlemek gibi operasyonların daha kolay bir şekilde yapılabilmesi için, çalışanlar tarafından uygunsuz olarak kapaklar işlevsiz hale getirilebilmektedir. Bu yanlış uygulama, ünite etrafında oluşabilecek tutuşturucu kaynak ile solvent buharının bir araya gelme riskini ortaya çıkarmaktadır.

Baskı ünitelerinde solvent yoğunlaşmasının bir başka nedeni ise tünel içerisindeki ventilasyon sistemlerinde olabilecek bir takım problemlerdir. Emiş kuvvetinin yetersizliği, emiş hattında kirlilik nedeniyle ortaya çıkabilecek tıkanıklıklar, emiş hava debisinden daha fazla debide üfleme yapılması, tünel içerisinde olması gereken negatif basıncı pozitif çevirmekte bu durum da hem tünel içerisinde buharlaştırılan etil asetatın hazne üzerinde birikimine, hem de hazne üzerinden buharlaşan solventin emiş hattına gidemeyerek ortamda kalmasına yol açmaktadır. Bu ise her an tutuşmaya hazır yakıtın ortamda beklediği anlamına gelmektedir. Hazne etrafında

yüksek konsantrasyonlu yanıcı buharı engellemenin en etkili yolu tünel içerisinde negatif basınç meydana getirecek bir üfleme-emiş dengesi oluşturmaktır.

Kurutucu tünel: Kurutucu tünel baskı prosesinin doğası gereği film üzerinde likit halde bulunan boyanın içinden etil asetatın buharlaştırılarak katı mürekkebin film üzerinde tutunmasını sağlayan kısımdır. Dolayısıyla etil asetat buharının en yoğun olduğu kısım da burasıdır.

Şekil 5.3’de verilen grafik, sıcaklık değişimine bağlı LEL% değerlerini, kurutucu ve fırınlarda solventlerle çalışma aralıklarını göstermektedir. Aşağıda da 20 °C deki LEL değerlerine göre belirlenen çalışma aralıkları ve artan sıcaklığa göre çalışma üst sınırları ifade edilmiştir. Kurutucu tünellerde ve fırınlarda 3 farklı aralıkta (range) çalışma yapılması mümkün olmakla beraber her bir çalışma alanları, farklı önlemlerin alınmasını gerektirmektedir.

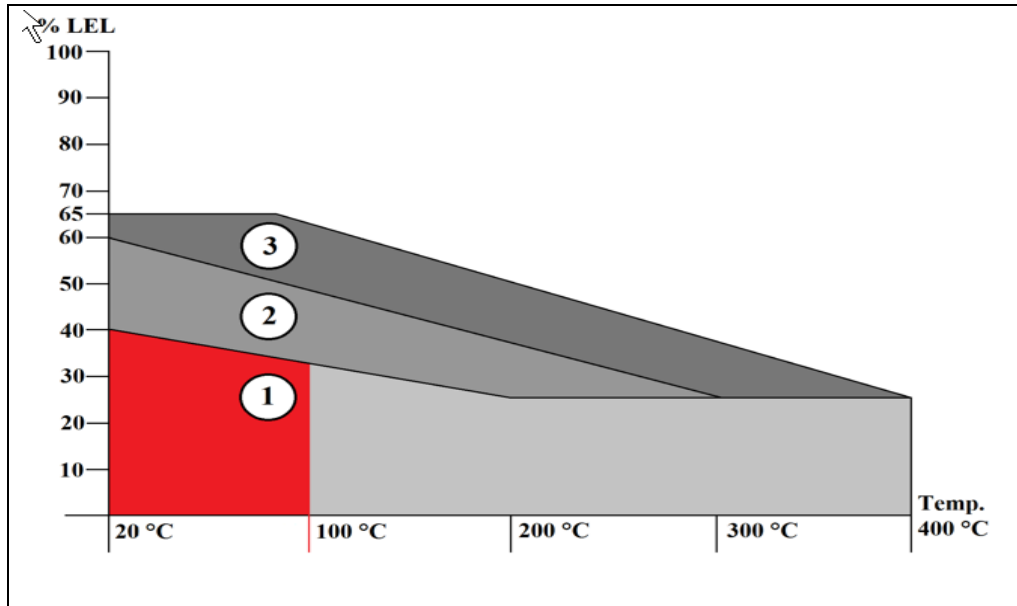


Şekil 5.3 : Kurutucular ve Fırınlarda Sıcaklık ve LEL% Bağlantılı Çalışma Aralıkları[9]

Sıcaklık ve sınır LEL % değerlerine göre alınması gereken önlemler aşağıda sırasıyla verilmiştir. Bu önlemlerin biri veya birkaçı çalışma rangine göre seçilmeli ve uygulanmalıdır. Örneğin range 1 için önlemlerden bir tanesi, range 2 için aynı anda önlemlerden 2 tanesi ve range 3 için de önlemlerden en az 3 tanesi uygulanmak durumundadır.

- Asgari egzoz debisi ölçümü: LEL % değerinin hiçbir zaman üst sınıra ulaşmasına izin vermeyecek ölçüde hava tahliyesini sağlayacak olan ölçüm sistemidir. Enerji tüketimi açısından oldukça verimsizdir.
- Konsanstrasyon ölçümü: Kurutucu tünellere monte edilen ve LEL kontrol sisteminden alınan verilere göre hareket eden damperlerle tünel içerisindeki LEL% değerini güvenli noktada tutmayı sağlayan sistemlerdir.
- Egzoz debisi kontrolü: Baskısı yapılan her işin ayrı ayrı debi hesabı yapılarak tahliye edilmesi gereken debinin belirlenmesini ve buna göre damper pozisyonlarının ayarlanmasını gerektiren kontrol sistemidir. Uygulamada ciddi zorlukları vardır.
- Kıvılcım kaynak kontrolü: Ex Zone 1 kriterlerine göre dizayn edilmiş tüneli ifade eder.
- Yanıcı madde girdi miktarı ölçümü: Solvent tüketiminin ünite bazında canlı ölçülmesini sağlayan sistemi ifade eder.
- Patlama koruması: Çelik kafes + patlama panelleri gibi koruma önlemlerini ifade eder. Oldukça pahalı donanımlardır.

Rotogravür baskı makina üreticileri ve mühendislik firmaları, dizaynlarını genellikle range 1 içerisinde kalacak şekilde geliştirmektedirler. Aşağıdaki Şekil 5.4'te baskı sektöründe kullanılan makinaların sıcaklık ve LEL % değerlerine göre çalışma alanı ifade edilmiştir.



Şekil 5.4 : Rotogravür Baskı Makinaları Kurutucu Tünellerinde Sıcaklık ve LEL%'ne Bağlı Çalışma Aralığı [9]

Yüksek LEL değerleriyle çalışmak solvent geri kazanım sistemine konsantrasyonu yüksek egzost gazı göndermek, tünel içerisindeki taze hava sirkülasyonunu azaltmak yoluyla enerji tasarrufu sağlamaktadır. Fakat tünellerin dizayn parametreleri, güvenlik riskleri ve bunun maliyete olan etkileri de dikkate alındığında fayda/maliyet hesabına göre LEL yüzdesi maksimum % 40 olacak şekilde çalışma aralığı, baskı sektörüne yönelik makina imalatı yapan üreticiler ve mühendislik firmaları tarafından genel kabul görmüştür. Dünya genelindeki baskı sektöründe laklama makinaları gibi bazı spesifik ürünlerde range 2 aralığında çalışma söz konusu olsa da bu durum oldukça nadir görülmektedir.

Şekil 5.4'ten de anlaşılacağı üzere range 1 için 20 °C de üst sınırı % 40 LEL değeri, sıcaklık arttıkça azalmaktadır. 200 °C sıcaklığa ulaşana kadar sürekli azalan LEL % üst sınırı 200 °C den sonra stabil hale gelmektedir ki genel olarak baskı sektöründe kullanılan makinalarda kurutulan materyal üzerinde oluşturduğu erime, büzülme, yırtılma gibi nedenlerden ötürü bu sıcaklıklar tercih edilmemektedir.

Rotogravür baskı makinalarının kurutucu tünellerinin çalışma aralığı olan range 1 için alınabilecek önlemler daha önce ifade edilen 6 önlem arasında bulunan asgari egzost debisi ölçümü, LEL kontrolü ve egzost kontrolü olarak sıralanabilir. Bu önlemlerden en az birisi range 1 kapsamında çalışan kurutucu tünellerde uygulanmak durumundadır.

Ülkemizde yangın güvenliği, enerji tasarrufu, maliyetlerin azaltılması ve çevre bilincinin istenilen düzeyde olmamasından kaynaklanan çalışma yaklaşımı nedeniyle bir çok işletmede egzost havası kontrolsüz bir şekilde atmosfere gönderilmekte, bu durum da çok ciddi güvenlik risklerine ve kaynakların israfına neden olmaktadır.

Yüksek düzey güvenlik algısına ve çevre hassasiyetine sahip, maliyetlerini kontrol altında tutan ve maliyetlerini azaltarak rekabet gücünü artırmayı hedefleyen işletmeler ise kurutma prosesine yönelik yatırımlar yapmaktadır. Tünel optimizasyonuna gereken önemi veren işletmeler, range 1 için sıralanan önlemlerden genellikle 2 tanesini uygulamaktadır ki bunlar arasında en yaygın olanı LEL kontrol sistemleridir. LEL kontrol sistemleri sürekli olarak tünel içerisindeki ortalama solvent konsantrasyon değerini ölçerek sınır değer üzerine çıkmasını engellemekte, herhangi bir sistemik problem olması ve LEL % değerinin belirlenen sınıra ulaşması durumunda da üretimi durduracak şekilde faaliyet göstermektedir. Makinanın egzost

hattına monte edilen damperlerin pozisyonlarını kontrol eden LEL sistemi düşük konsantrasyon değerlerinde damperi kapalı tutmakta, konsantrasyon değeri yükseldiğinde ise damperi açık pozisyona alarak tünel içerisindeki LEL seviyesini sınırlar içerisinde tutmaktadır. Damper kontrolü tam açık – tam kapalı olacak şekilde olabildiği gibi yeni teknolojilerde damper pozisyonları oransal olarak çalışmaktadır.

LEL kontrol sisteminin, sensörlerde oluşabilecek kalibrasyon hataları, sistemde oluşabilecek elektronik veya mekanik arızalar nedeniyle görevlerini yerine getirememeye ihtimaline karşın ikinci bir önlem gerekli görülmektedir ki LEL kontrol sisteminden sonra gerek enerji verimliliği gerekse de uygulamadaki kolaylığı nedeniyle tercih edilen minimum egzost akış kontrol sistemi bu görevi üstlenebilmektedir.

Hem yangın güvenliği hem de solvent ve enerji verimliliğini optimum noktada buluşturabilmek adına LEL kontrol sistemi ve minimum egzost debisi kontrol sistemi birbiri ile koordineli çalışacak şekilde dizayn edilebilmekte bu sayede egzost damperi öncesinde monte edilen resirkülasyon damperleri vasıtasıyla tünel içerisindeki kurutma havası izin verilen LEL üst sınır değerine ulaşana kadar çevrim içinde tutulmakta bu sayede hen solvent geri kazanım sistemine zenginleştirilmiş emiş havası gönderilmekte hem de kurutma havası olarak tünel içerisine alınması gereken taze hava miktarı azaltılarak bu havanın ısıtılması için harcanan ısı enerjisinden tasarruf edilmektedir. Tüm bu proses gerçekleşirken sistemin güvenliğini üst düzeyde tutabilmek adına minimum egzost debisi kontrol sistemi devrede bulundurulurken olası bir tehlikenin önüne geçilebilmektedir.

5.2 Tutuşturucu Kaynaklar

5.2.1 Statik elektrik

Statik elektriğin en yaygın gözlem noktaları, kıyafetlerin çıkarılması esnasında duyulan çatırdama, bir süre halı üzerinde veya yalıtkan tabanlı ayakkabı ile yürüme sonrası bir metale temas veya bir arabaya inme binme esnasında yapılan temaslarda hissedilen şoklardır. Bu gözlemler havanın kuru olduğu kış aylarında daha sık yaşanmaktadır ve insanlarda bir rahatsızlık hissi uyandırmaktadır. Bu durum özellikle kolay alevlenebilir maddelerin bulunduğu endüstride gerçekleşirse yangın nedeni olabilmektedir.

5.2.1.1 İnsan kaynaklı statik elektrik

İnsan vücudu iletkendir ve bir çok statik elektrik kaynaklı yangının sebebidir. İnsan vücudu yerden yalıtılmış bir kıyafet ile yürümek vasıtasıyla, yüklü bir objeye temas etmek suretiyle kayda değer miktarda statik elektrik yüklenebilir. Normal şartlarda insan vücudundaki gerilim 10 kV'dan 15 kV' a kadar bir değere ulaşabilir ve muhtemel ortaya çıkacak bir kıvılcımın enerjisi de 20 mJ ile 30 mJ arasında olabilir. İçinde etil asetatın da bulunduğu birçok solvent türünün, minimum tutuşma enerjisi 1 mJ'un altında olduğu düşünülecek olursa insan vücudundaki statik elektrik olası bir yangında tutuşturucu enerji kaynağı olabilir.

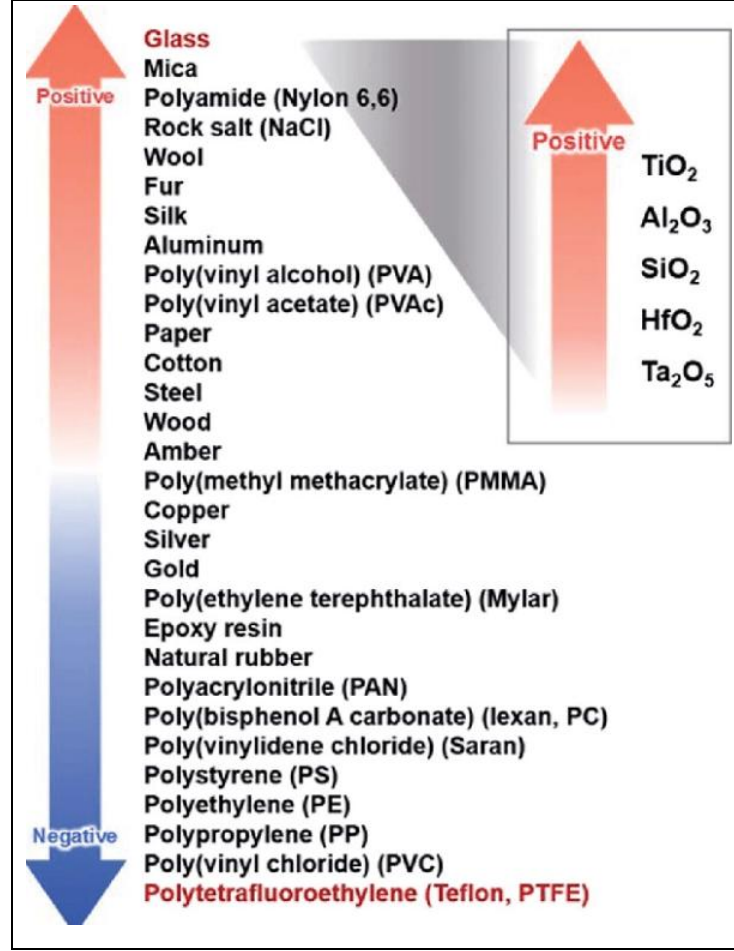
Özellikle alevlenebilir kimyasalların bulunduğu çalışma ortamlarında faaliyet gösteren insanların iletken özelliği olan ayakkabılar giymeleri gerekmektedir. Ayrıca bu çalışma alanlarının zeminleri iletken malzemeden yapılmış olmalı ki, hem insan hem de zemin üzerine koyulan diğer malzemeler üzerindeki statik elektrik yükünü nötralize edebilsinler. Bileklikler, topuk topraklayıcı gibi ekipmanlar da takviye amaçlı kullanılabilirler [10].

Antistatik kıyafetlerin kullanılması insan üzerindeki statik elektrik yükünün ortaya çıkardığı riskleri ortadan kaldırmak için alınması gereken tedbirler arasındadır. Kolay alevlenebilir maddelerin bulunduğu çalışma alanlarında % 100 pamuktan imal edilmiş kıyafetler giyilmesi önerilmektedir. Ayrıca çalışanların kullandığı kişisel koruyucu ekipmanlar ve el aletleri de antistatik özelliğe sahip olmalıdır.

Çalışanların yangın açısından tehlikeli olarak tanımlanmış alanlara girmeden önce, üzerlerinde birikmiş olan statik elektrik yükünü boşaltabilecekleri, topraklanmış levhalar konulması, bu alanlarda çalışanların sıklıkla temas ettikleri noktalara iletken hatlar monte edilmesi, insan üzerindeki statik elektrik nedeniyle ortaya çıkabilecek risklerin bertaraf edilmesinde etkili olacaktır.

5.2.1.2 Film kaynaklı statik elektrik

Baskı prosesinde kimyasal yapısına bağlı olacak şekilde statik elektrik boşalmasına neden olabilecek çok sayıda farklı malzeme mevcuttur. Aşağıda ki çizelgede, tribo elektrik seride bu malzemeler arasından seçilen bazılarının, birbirlerine göre statik elektrik yüklenme eğilimleri gösterilmiştir.

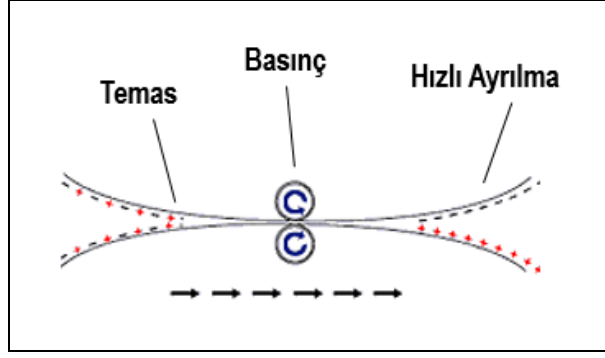


Şekil 5.5 : Tribo Elektrik Serisi [11]

Yukarıdaki Şekil 5.5’de gösterilen malzemelerin statik elektrik yüklenme eğilimleri, ne kadar birbirinden uzaksa statik deşarj olabilirliği de o oranda artmaktadır.

Örneğin: Polipropilen + Alüminyum = Statik Deşarj

En az biri olmak üzere iletken olmayan iki malzemenin teması, sürtünmesi veya ayrılması esnasında statik deşarj meydana gelebilmektedir. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere farklı yüklenme eğilimindeki iki malzeme temas ettiğinde veya sürtündüğünde kimyasal özelliklerine göre birbirine elektron transfer ederek farklı yüklenme davranışı sergilerler. Bu durum, statik birikimin bir nedeni olabileceği gibi malzemeler birbirinden ayrıldığında da kararlı hale gelebilmek için yük transferi gerçekleştirmek isteyecektir ve bu durum da statik deşarjı beraberinde getirecektir.



Şekil 5.6 : Baskı Makinalarında Malzemelerin Birleşmesi/Sürtünmesi/Ayrılması [12]

Baskı prosesinde yarı mamul olarak kullanılan film baskı makinası üzerinde bulunan merdaneler her bir temasında kimyasal yapısına bağlı olacak şekilde yüklenmeye başlayacaktır. Polietilen, polipropilen, pvc gibi iletken olmayan filmler üzerinde boşalma eksikliği meydana gelecek, yük birikimi artarak devam edecektir. Bu yük enerji boşalımı için yeterli seviyeye ulaştığında da statik deşarj meydana gelecektir. Bu enerji etil asetatın LEL-UEL seviyeleri arasındaki bir konsantrasyonda açığa çıktığında ise parlama / yangın gerçekleşecektir. Etil asetat için minimum tutuşma enerjisi 0,46 mJ'dür [13].

Film üzerindeki statik elektrik yüklenmesinin önüne geçmek için alınması gereken tedbirler aşağıda sıralanmıştır. Baskı prosesinde film üzerindeki statik elektrik gerilim farkının 5 kV'un üzerinde olmaması sağlanmalıdır. 5 kV'luk bir gerilim farkı etil asetatın minimum tutuşma enerjisi olan 0.46 mJ'ün yaklaşık üç katı olan 1.42 mJ'lük bir enerjinin ortaya çıkmasını sağlayabilir.

- İyonizasyon: Elektriksel iyonizasyon veya radyoaktif iyonizasyon yöntemleriyle film üzerindeki statik elektrik yükünün tehlikeli seviyelere gelmeden nötralizasyonu hedeflenmektedir. Bu yöntemle genel olarak aktif iyonizasyon sistemleri de denilmektedir. Bu yöntemle statik elektrik yükünün birikebileceği yüzey ortamındaki hava iyonize edilir. Böylece ortamda pozitif ve negatif iyonlar meydana getirilerek yalıtkan özelliğe sahip havada iletkenlik sağlanmakta ve yüklerin serbest hareket ederek dengeyi sağlamaları, dolayısıyla alan içerisinde bulunan metaryellerin nötr haline gelmeleri sağlanmaktadır. Gaz alevi veya enfraruj vasıtasıyla iyonizasyon yöntemi statik elektrik yüklerinin nötralizasyonu için uygun olsa da etil asetat buharının mevcut olduğu baskı ünitelerinde kullanılması sakıncalıdır [14].



Şekil 5.7 : Aktif İyanizasyon

Aktif iyonizasyon sistemlerinden başka baskı makinalarında pasif nötralizasyon ekipmanları da kullanılabilir. Pasif nötralizasyon ekipmanları yükün tamamını nötralize edebilme kapasitesine sahip olamamaktadırlar. Ayrıca pasif nötralizasyon ekipmanlarında, sürtünme yoluyla herhangi bir kıvılcım çıkarma riskine karşı, kesinlikle filme temas etmeyecek fakat etkinliği de sağlayacak mesafede montaj yapılması, ekipmanın etkin bir şekilde topraklanması hususları mutlaka dikkate alınmalıdır.



Şekil 5.8 : Pasif İyanizasyon Ekipmanları [12]

Gerek aktif gerekse de pasif nötralizasyon sistemleri olsun, görevlerini yerine getirebilmeleri için, temiz olmalarına ve filme olan mesafelerine önem vermek gerekmektedir.

- Nemlendirme: Birçok malzemenin yüzey direnci ortamdaki nem vasıtasıyla kontrol edilebilir. % 65 ve üzerindeki nem değerlerinde, birçok malzeme yüzeyi nemi absorbe eder ve statik elektrik birikimini önleyecek iletkenlik değerine kavuşur. Nem düzeyi % 30'un altında olduğunda ise, bu malzemeler iyi birer yalıtkan durumuna geçerler ve üzerlerindeki statik yük birikimi giderek artar.

Nemlendirme yüzey iletkenliğini artırdığında, statik yükün topraklanabilmesi için bir yol olması bulması zorunluluğu, dikkatlerden kaçmamalıdır. Baskı makinalarında topraklanmış makine üniteleri veya iletken zemin bu görevi yerine getirebilir getirebilmektedir. Tüm bunlarla birlikte bazı metaryellerin yüzeylerinin, havadaki su buharını, tatminkar düzeyde elektriksel direnci bertaraf edebilecek kadar yeterli miktarda absorbe edemediklerini ve bunun sonucunda statik yüklenmenin oluşabileceği gerçeği unutulmamalıdır akıllardan çıkarılmamalıdır [10].

5.2.1.3 Makina kaynaklı statik elektrik

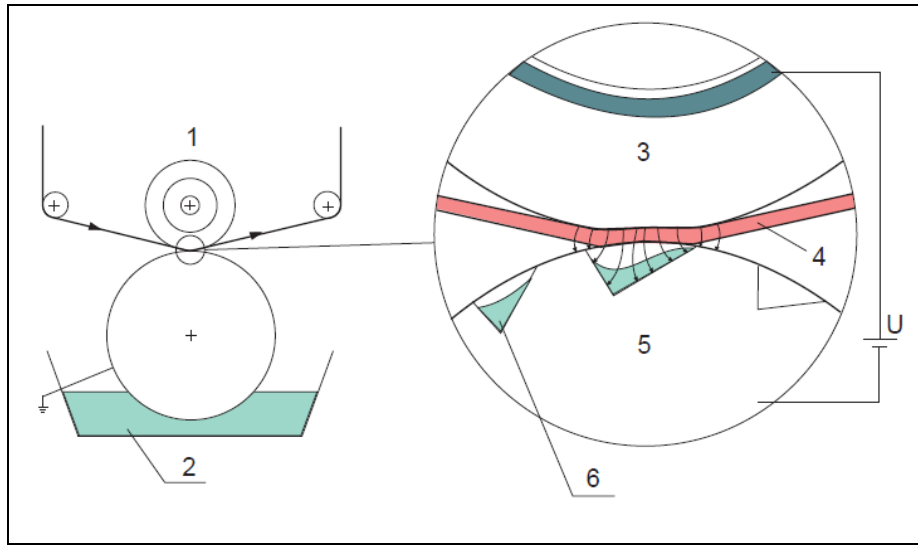
Baskı makinalarının gövde, merdane, tava, tünel gibi ekipmanlarının topraklanması makine üzerindeki statik yükün toprağa geçirilmesi açısından çok önemlidir. Makine üzerinde topraklanmamış parçalar, sürekli olarak üzerlerinde statik elektrik yükü biriktirecekler ve bu yük kritik seviyeye ulaştığında deşarj meydana gelecektir. Dolayısıyla bir baskı makinasının tasarımını yaparken ve kurulumu sırasında, makinaya ait tüm ekipmanların, topraklama bağlantılarının sağlıklı olmasına özen gösterilmelidir. Ayrıca belli zaman aralıklarında, makine parçalarının topraklamalarının sağlıklı olup olmadıkları kontrol edilmelidir.

Merdaneler: Makine üzerindeki merdaneler metal veya kauçuk olabilmektedir. Topraklaması sağlıklı yapılan bir makinada metal merdaneler, statik yükün toprağa aktarılması konusunda daha güvenlidirler. Kauçuk merdaneler ise statik elektrik yüklenmesinde daha büyük risk barındırmaktadırlar. Ayrıca gerek metal gerekse de kauçuk merdaneler üzerindeki kirlilik, tutkal veya boya birikimi, bant kalıntıları yüzey iletkenliğine zarar vereceğinden ayrıca yangın riskine neden olabilmektedirler.

Dolayısıyla merdaneler söz konusu olduğunda, bu merdanelerin yatak bağlantılarını sağlayan rulmanlarda kullanılan yağın iletken özelliğe sahip olması, filmin üretim esnasında en çok temas ettiği bu ekipmanların üzerlerindeki yükü boşaltmalarında gözden kaçırılmaması gereken bir önemli bir detaydır. Ayrıca her iki tür merdanin de yüzey iletkenlik değerlerinin, maksimum seviyede tutmasını sağlanması için, temizliklerinin sürekli takip edilmesi ve yapılması büyük önem arz etmektedir. Son olarak söylenmesi gereken, merdaneler üzerinde film ile sürtünmeye neden olabilecek kusurlara asla izin verilmemesinin gerekliliğidir.

Baskı makinalarında kullanılan kauçuk merdaneler genel olarak iki tiptir. Bunlar ESA ve ESA olmayan baskı kauçuklarıdır. Sağlıklı bir statik elektrik nötralizasyonunu sağlamak için ESA olmayan baskı kauçuklarının yüzey ve yalıtım direnç değerleri 1 MΩ değerinin altında olmalıdır.

Elektrostatik baskı asistanı (ESA): Elektrostatik baskı asistanı, temel olarak elektriksel alana maruz kalan, şarj olmuş partiküllerin (gravür baskı boya) bu türden partiküllerden (gravür baskı boya) buldukları noktadan daha yüksek yüklü alana doğru hareket etme fiziksel gerçeğine dayanmaktadır.



- | | |
|---|-------------------------------|
| 1. Baskı ünitesi | 2. Dielektrik izalatör (Boya) |
| 3. Baskı kauçuğu | 4. Film veya kağıt |
| 5. Gravür silindiri üzerindeki tram (hücre) | 6. Tram dibinde kalan boya |

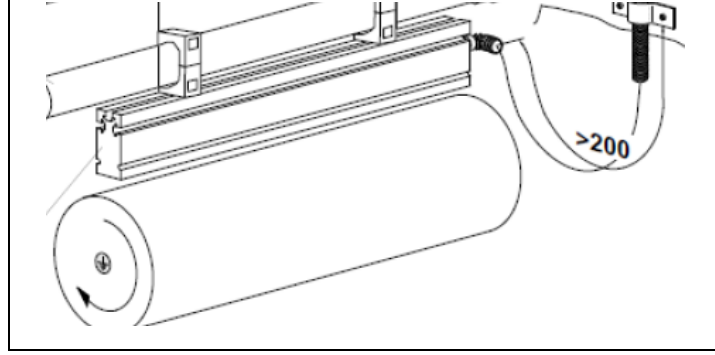
Şekil 5.9 : ESA Çalışma Prensibi [15]

Gravür baskıda elektriksel alan, baskı kauçuğu ile gravür silindiri arasında meydana getirilir. Bu sistemde baskı boyası, sürekli deşarj olan gravür hücresinden, daha yüksek yüklü alanda bulunan film üzerine doğru akış gerçekleştirir. Böylece hem hücre içindeki boyanın içeride kalarak kayıp tramların oluşmasının önüne geçilir, hem de hücre içerisindeki tüm boyanın film üzerine akması sağlanarak baskı kalitesi artırılır [15].

ESA kaynaklı meydana gelebilecek yangınların önlenmesi için dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır.

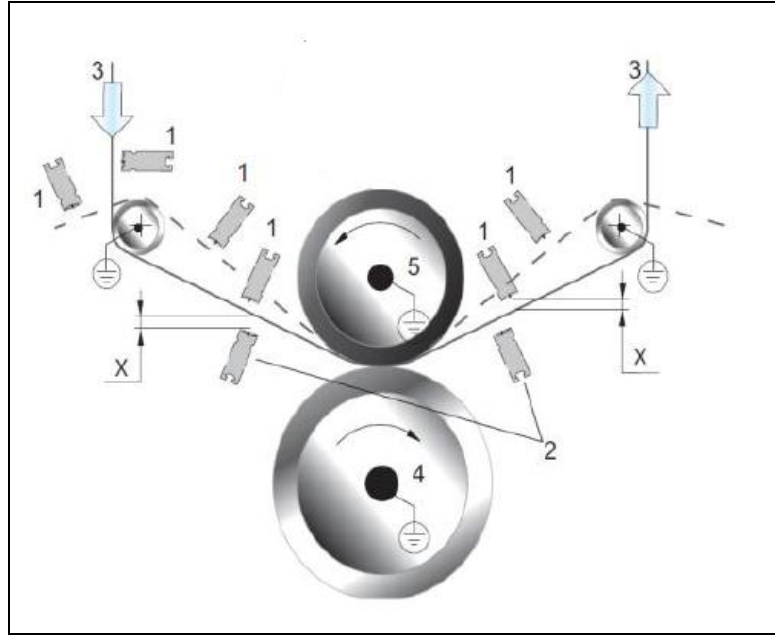
- İletken özelliğe sahip boya veya film kullanıldığında (metalik boya/ alüminyum film) ESA sistemi kapatılmalıdır. Bu durumda ESA deşarj fonksiyonu da kapalı konumda olmalıdır.

- Yüksek voltaj gereksinimini ortadan kaldırmak yani en düşük voltaj değeriyle maksimum fayda sağlamak için elektrot ile baskı kauçuğu arası mesafe 6mm olmalıdır [16].



Şekil 5.10: Baskı Kauçuğu ve ESA Elektrot [15]

- Film üzerinde meydana getirilen statik elektrik yükünün boşaltılmasını sağlayacak olan deşarj barasının film ile arasındaki mesafe 30 mm – 100 mm arasında olmalıdır. İdeal mesafe 40mm ile 70 mm arasındadır.



Şekil 5.11: Deşarj Barasının Montajı [15]

Yukarıdaki Şekil 5.11'de deşarj barasının montajı için uygun pozisyonlar belirtilmiştir. Bu resimde 1 ve 2 deşarj barasını, 3 filmi, 4 gravür silindirini, 5 baskı kauçuğunu, x ise deşarj barası ile film arasındaki mesafeyi ifade etmektedir.

5.2.1.3 Akışkan kaynaklı statik elektrik

Baskı ünitelerinde bulunan boya tavalalarının, boya tanklarının beslenmesinde saf solvent veya solvent ile seyreltilmiş boyanın transferi söz konusu olmaktadır ve bu transfer esnasında akışkan üzerinde statik elektrik yükü birikebilmektedir. Akışkan üzerinde statik elektrik birikimi filtrasyon, pompalama, hat içinde akış, hattan çıkışta spreyci şeklinde boşaltma, akışkan ihtiva eden kapların hareketi gibi nedenlerle ortaya çıkabilmektedir. Akışkanların statik elektrik yüklenme kapasiteleri akışkanın iletkenliği ile bağlantılıdır. Elektrik yükünü yayma hızı düşük bir akışkan üzerinde, akışkan dışında bulunan ortam ile ters yönde yüklenme olasılığı fazladır. Yüksek iletkenlik değerine sahip akışkanın gevşeme süresi kısadır. Aşağıdaki Çizelge 5.1’de endüstride kullanılan solvent türlerinin iletkenlik ve gevşeme süreleri verilmiştir.

Çizelge 5.1: Solventlerin İletkenlik Değerleri ve Gevşeme Süreleri [17]

Substance	Conductivity pS/m	Dielectirc cosntant	Relaxation times
Acetone	6×10^6	21	$3,1 \times 10^{-5}$
Methyl Ethyl Ketone	5×10^6	19	$3,3 \times 10^{-5}$
n-Butanol	4×10^6	18	$4,1 \times 10^{-5}$
Iso Propanol	2×10^6	18	$8,1 \times 10^{-5}$
Ethyl Acetate ³	2×10^6	6,2	$2,8 \times 10^{-5}$
n- Buthyl Acetate	2×10^6	5,0	$2,2 \times 10^{-5}$
Ethanol	4×10^6	25	$5,6 \times 10^{-5}$
Methanol	7×10^6	33	$4,2 \times 10^{-5}$
n-Heptane	4	1,9	4,3
n-Hexane	24	1,9	0,71
Iso Octane	1	1,9	17
n-Octane	9	1,9	1,9
Toluene	5	2,4	4,3
n-Pentane	24	1,8	0,68
m-Xylene	9	2,4	2,4

Substance: madde,

Conductivity: iletkenlik,

Dielectric constant: dielektrik sabiti

Relaxation times: relaksasyon zamanı

Çizelgede belirtilen değerlere bakıldığında etil asetatın iletkenlik düzeyi yüksek olarak görülse de statik elektrik kaynaklı bir çok yangına neden olduğu düşünülmektedir. Bu yangınların ana nedenleri için bazı belirsizlikler mevcut olmasına karşın, etil asetatın etkenlerden biri olduğu her zaman düşünülmektedir. Bu nedenle etil asetat düşük iletkenliği olan akışkan gibi değerlendirilmeli ve etil asetat ile ilgili işlemler bu doğrultuda yürütülmelidir [17].

Etil asetat kaynaklı statik elektriğin neden olduğu yangınları önlemek için alınması gereken tedbirler aşağıda sıralanmıştır.

- Topraklama: İçinde etil asetat bulunan kaplar mutlaka iletken bir metal yapısında olmalı ve bu kaplar mutlaka topraklanmalıdır. Topraklama hattının direnç değeri 1 M Ω un üzerinde olmamalıdır. Ayrıca etil asetat transferinin yapıldığı hatlar, prosesin gerçekleştiği zemin de iletken özelliğe sahip olmalıdır.

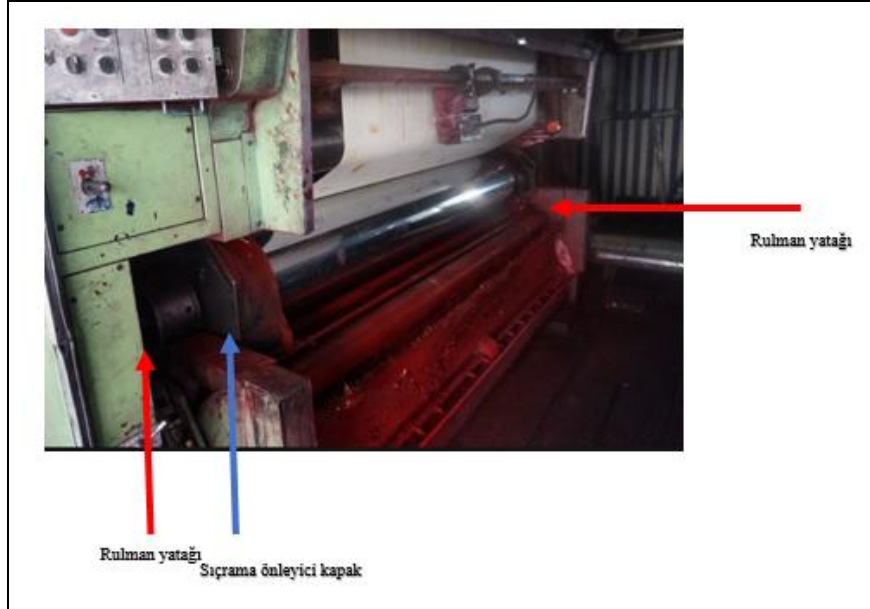


Şekil 5.12: Tipik Bir Solvent Kabı ve Topraklama Ekipmanı [17]

- Etil asetatın tanklara veya metal kovalara aktarım işlemi yapılırken hat üzerinden çıkışında spreyci şekilde boşalmasına müsaade edilmemelidir.
- Solventin bir hat içerisinde pompa vasıtasıyla transferi yapılırken akışkan hızının 7 m/s üzerine çıkmasına izin verilmemelidir.
- Sıvı halde bulunan etil asetatın buharlaşarak, olası bir yangın için yakıt oluşturmasını engellemek için taşındığı veya depolandığı kaplar mümkün olduğunca ağzı kapalı tutulmalıdır.
- Solvent veya solvent içerikli likitlerle çalışanlara eğitim verilmeli, riskler ve önlemlere yönelik bilinçlendirilmeli ve sıklıkla denetlenmelidir. Çalışanların elle yaptıkları solvent aktarımlarında insan kaynaklı statik elektrik bölümünde belirtilen önlemleri almaları sağlanmalı, kaptan kaba yüksekten dökme şeklinde işlem yapmaları önlenmelidir [17]

5.2.2 Sürtünme

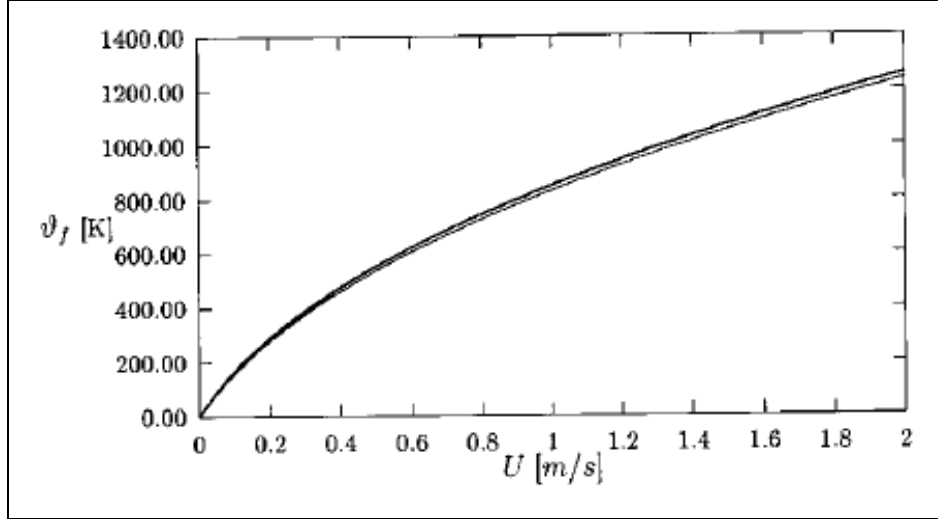
Sürtünme kaynaklı yangınlar genellikle solvent buharının ve hareketli ekipmanların bir arada olduğu baskı makinalarının baskı ünitelerinde meydana gelmektedir. Gravür silindiri, baskı merdanesi gibi dönen ekipmanların yatakladığı rulmanların bozulması sonucu ortaya çıkan, metal metale sürtünme nedeniyle oluşan sıcaklık artışı, etil asetatın tutuşma sıcaklığına ulaştığında, alevlenme gerçekleşebilmektedir. Ayrıca baskı gravür silindirinin kenarlarından makine gövdesine veya ünite etrafına boya sıçramasını engellemek için kullanılan kapaklar da silindir şaftına sürtünebilmekte, bu durumda alevlenmenin oluşabilmesi için gerekli ısı kaynağını sürtünme ısısı veya sürtünme sonucu oluşan kıvılcım şeklinde ortaya çıkarabilmektedir.



Şekil 5.13: Silindir Yatakları ve Sıçrama Önleyici Kapak

Aşağıdaki grafik katı maddelerin birbirine sürtünmeleri sonucu açığa çıkan sıcaklığı göstermektedir. Grafikte zirkon ile çelik plakanın birbirine sürtünmesinde zirkon üzerinde açığa çıkan ısı sürtünme hızına bağlı olarak şekillenmektedir.

Baskı ünitelerinde görev yapan silindir, sıçrama önleyici kapak, rulman yatakları çelikten imal edilmektedir. Dolayısıyla çelik çeliğe sürtünme sonucu ortaya çıkan ısı da zirkon-çelik sürtünmesi ile açığa çıkan ısı ile birebir olmasa da benzer niteliktedir.



Şekil 5.14: Zirkon İle Çelik Silindirin Sürtünmesi Sonucu Hıza Bağlı Ortata Çıkan Sıcaklık Değerleri [18]

Baskı ünitelerinde sürtünme kaynaklı yangınların önlenmesi için alınması gereken tedbirler aşağıda sıralanmıştır.

- Silindir yataklarının, sıçrama önleyici kapakların ve silindir şaftlarının düzenli olarak sıcaklık kontrollerinin yapılması, bu işleme yönelik standart operasyon prosedürlerinin oluşturulması, çalışanların eğitilmesi gerekmektedir. Sıcaklık ölçümleri için termal kameralar veya lazerli ısı ölçerler kullanılabilir. Kaynama noktası 77°C olan sıvı etil asetatın temas ettiği ekipmanların 70°C ve üzerine çıkmasına izin verilmemelidir.



Şekil 5.15: Termal Kamera ve Lazerli Isı Ölçer

70°C de atil asetatın buharlaşma hızı çok artacak, alevlenme için gerekli konsantrasyona çok hızlı bir şekilde ulaşacaktır. Ayrıca etil asetatın

kendiliğinden tutuşma sıcaklığı olan 427 °C metalin metale sürtünmesi sonucunda ortaya çıkabilecek bir değerdir.

- Silindir şaftlarının, sökülebilir takılabilir parçalarının temizlikleri düzenli şekilde yapılmalıdır. Şaft üzerinden yataklara sızan boyalar, rulmanların bozulmasına neden olmaktadır. Ayrıca şaft üzerinde uzun süre kalan ve katılaştıran boya katmanları sürtünme riskini arttırmaktadır. Dahası katılaştıran boya içinde kalan etil asetat sürtünme sonucu oluşabilecek ısının kolayca tutuşturabileceği bir yakıt olarak ortamda bulunabilmektedir.
- İş hazırlığı esnasında sıçrama önleyici kapaklar, boya tavaları gibi sökülebilir takılabilir ünite ekipmanlarının montajlarına azami ölçüde dikkat edilmeli, bunların hareketli parçalara temasına kesinlikle izin verilmemelidir.
- Ünite ve kurutucu tünel içerisinde bulunan merdanelerin rulmanları belirli zaman aralıklarında kontrol edilmeli, yenilenmeleri sağlanmalıdır.

5.2.3 Elektrikli cihazlar

Baskı makinalarında, ünitenin içinde veya çevresinde bulunan elektrikli ekipmanlar da, yangın için tutuşturucu kaynak olabilmektedir. Yangın çıkartabilme riski olan bu yapılar, genel olarak kablo ve kablo montaj hataları, ekipman hataları, kötü tasarım, bakım onarım eksikliği sonucu karşımıza çıkmaktadırlar [19]

Aşağıdaki Çizelge 5.2'de 2011-2015 yılları arasında Türkiye'deki endüstriyel kuruluşlarda yaşanan elektrik kaynaklı yangınların oranı verilmiştir.

Çizelge 5.2: Endüstride Meydana Gelen Elektrik Kaynaklı Yangınların Oranı [20]

2011-2015	Miktar	Toplam Yangınlar İçindeki Payı
Evlerde meydana gelen ENY'ler	12.523	% 64.26
İş yerlerinde meydana gelen ENY'ler	4.528	% 23.23
Okul alanlarında meydana gelen ENY'ler	2.434	% 12.49

Baskı sektöründe elektrikli ekipman kaynaklı yangınların çoğu kablo hasarları ve aşırı ısınan boya pompa motoru nedeniyle yaşanmaktadır.

Elektrik kablolarından kaynaklanan yangınların iki nedeni vardır; aşırı akım ve aşırı gerilimdir. İzolasyonu zarar görmüş kablolarda faz ile nötr arası, faz ile toprak arası veya farklı fazlar arası bir temas sonucunda aşırı akımlar kablolar üzerinden trafoya

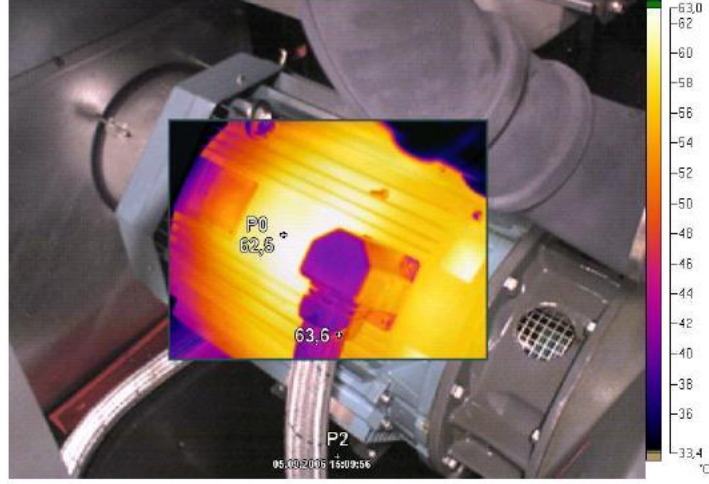
doğru akarlar. Bu aşırı akımlar kablo üzerinde ciddi ısınmaya sebep olduğu için, plastik bazlı izolasyon malzemeleri yüksek sıcaklıktan dolayı eriyip yanarak yangına sebep olurlar. Baskı üniteleri, bu bölgede bulunan solvent buharından dolayı, Zone-1 kategorisinde patlayıcı ortam sınıfında gösterilirler. Bu bölgede bulunan hazne motorlarının ve ünite sensörlerinin kablolarındaki izolasyon hasarlarından dolayı herhangi bir kısa devrede çıkacak ark, hızlı bir şekilde bir yangına sebep olabilmektedir. Ayrıca tasarım hataları ve mekanik sebeplerden oluşan yüklenme sonucunda da kablo üzerinde aşırı akım oluşma tehlikesi mevcuttur.



Şekil 5.16: Kabloda Aşırı Akıma Bağlı Isınma ve Tutuşma [19]

Motorlarda yangın başlaması veya motordan kaynaklanan yangınların başlıca nedenleri; arklar, izolasyonun tutuşması veya motordan çıkan kıvılcımlar şeklinde sıralanabilir. Motordaki kısa devreler, kablo sarma hataları, fırçaların montajlarının yanlış yapılması kıvılcıma neden olabilmektedir. Yetersiz havalandırma ve frenleme aşırı ısınma nedenlerindedir. Yataklarda yanlış yağlama da aşırı ısınmaya sebep olabilmektedir. Yataklamadaki bozulmalar, rotorun statora sürmesine sebep olur. Böylece aşırı ısınma ve ısınma oluşur. Motorun soğutma deliklerinin toz, lif vb. malzemelerle tıkanması da, aşırı ısınma nedenlerindedir.

Baskı ünitesinde bulunan boya, pompa motoru üzerinde yukarıda sıralanan hata kaynaklarından herhangi biri gerçekleştiğinde, ünite içerisinde bulunan etil asetat ile birlikte kısa sürede alevlenebilmektedir [21]



Şekil 5.17: Isınan Bir Motorun Termal Kamera Görüntüsü [21]

Baskı makinalarında elektrik kaynaklı yangınları önlemek için alınması gereken tedbirler aşağıda sıralanmıştır:

- Ünite yakınlarında mümkün olduğunca elektrikli ekipmanların kullanımı sınırlama getirilmelidir. Örneğin boya pompalarında elektrik motoru yerine, pnömomatik pompalar tercih edilmelidir. Mutlaka kullanılması gereken elektrik ekipmanlar, ex-proof özellikli olmalı ve bu özelliklerini koruyup korumadığı belirli sürelerde test edilerek izlenmelidir.
- Elektrikli ekipmanların sıcaklık kontrolleri düzenli olarak yapılmalı, ekipmanlar üzerindeki sıcaklık değerlerinin sürtünme kaynaklı yangınlar kısmında ifade edilen değerlere ulaşmasına izin verilmemelidir.
- Kablolamada gerekli yükler, uzman kişilerce hesaplanmalı ve kablo kesitleri belli bir güvenlik toleransı ile belirlenmelidir.
- Kablolar mekanik hasara yol açmayacak noktalara monte edilmeli, izolasyon malzemesi yangına dayanıklı olmalıdır.
- Ünite yakınlarında bulunan kablolarda düzenli olarak kontrol edilmeli ve izolasyonu hasar gören kablolarda ivedilikle değiştirilmelidir.

5.2.4 Diğer Nedenler

Ünite içerisinde yapılan bakım-onarım-temizlik çalışmaları, ünite yakınlarında uygulanan kesme-delme-kaynak gibi işlemler, sigara-çakmak-cep telefonu gibi alev üretebilen kaynakların ünite içinde veya yakınlarında kullanımı da, baskı sektöründe

yaşanan yangınların nedenleri arasında yer almaktadır. Bu ve benzeri nedenleri ortadan kaldırmak için aşağıdaki önlemlerin alınması önerilir:

- Baskı sektörü çalışanlarında üst düzey yangın risk algısı oluşturulmalı ve gerekli eğitimler verilmelidir.
- Bakım-onarım-temizlik işlemleri yapılmadan önce ünitelerde ve tanklarda bulunan solvent ve boya alandan uzaklaştırılmalı ve çalışma yapılan sürelerde alan izolasyonu sağlanmalıdır.
- Kesme-kaynak-delme gibi işlemler yapılmadan önce ünitelerde ve tanklarda bulunan solvent ve boya alandan uzaklaştırılmalı ve çalışma yapılan sürelerde alan izolasyonu sağlanmalıdır.
- Ünite yakınlarında sigara içilmesine, çakmak ve cep telefonu gibi alev/kıvılcım çıkaracak cihazların kullanımına müsaade edilmemelidir.

6. İNLINE ROTOGRAVÜR BASKI MAKİNALARI LAMİNASYON ÜNİTELERİNDE YAŞANAN KRONİK TUTUŞMA PROBLEMİNE YÖNELİK DENEYSEL ÇALIŞMA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Uluslararası bir ambalaj firmasının Avrupa - Orta Doğu - Afrika iş grubu bünyesinde yer alan bazı fabrikalar, makinaları ambalaj sanayinde yoğun olarak kullanılan bir markaya ait inline rotogravür makinası laminasyon ünitesinde gerçekleşen parlama vakalarını belirli aralıklarla raporlamışlardır. Tezin yazarının da fiilen çalıştığı bu fabrikalardan birinde inline baskı makinası kurulumu 2018 yılının ilkbahar aylarında tamamlanmıştır. 2006 model inline baskı makinası firma bünyesindeki başka bir fabrikadan transfer edilerek getirilmiştir. Makinede, ilk kurulduğu fabrikada benzer bir parlama vakası yaşanmamıştır, bunun nedeninin ilgili sorunun yaşandığı üniteye laminasyon işlemi yapılmaması, makinenin farklı bir ürün tipi için çalıştırılması olmuştur. Parlama vakalarının yaşandığı ünite, makine kurulumunun yapıldığı Türkiye fabrikasında üretici firma tarafından revizyon görmüş ve laminasyon prosesine uygun hale getirilmiştir. Yapılan revizyonla birlikte ilgili makine 2018 yılının Haziran ayı itibariyle tam randımanla çalışmaya başlamıştır. Yaz aylarında herhangi bir parlama/tutuşma vakası yaşanmamıştır. İlk parlama hava sıcaklıklarının düşmeye başlamasıyla birlikte 2018 yılının Ekim ayında yaşanmış ve birbirini takip eder şekilde devam etmiştir. Yangının kök neden analizinin yapılabilmesi için gerçekleştirilen her deneme alevlenme ile son bulmuştur. Yaşanan tüm yangınlar, çözücü ünitesinde biten bobinin çift taraflı bant vasıtasıyla yeni bobine eklemlenmesini sağlayan ekin, üniteden geçişi esnasında gerçekleşmiştir. Hızlı aksiyon almak adına tünel içindeki etil asetat konsantrasyonunun düşürülmesine yönelik adımlar atılmış, kurutucu tünel içerisindeki hava emişi artırılmıştır. Alınan bu önlem yüksek emiş nedeniyle tünel içerisinden geçen ürünün kenarlarında katlanmaya neden olmuş, dolayısıyla ürün kalitesini müşteri toleranslarının içerisinde tutamayacak ölçüde bozmuştur. Üründe katlanma problemini yaşatmayacak ölçüde ortaya koyulan tünel içerisindeki havalandırma dengesi, parlamaların sıklığını bir miktar düşürmüştür de sorun, belirli aralıklarla devam etmiş, 2019 yılının Nisan ayından itibaren havaların ısınmasıyla birlikte ortadan tamamen kalkmıştır.

Havaların nispen sıcak seyrettiği 2019 yılının sonbahar aylarında tutuşma vakası yaşanmamış fakat havaların soğumaya başladığı Aralık ayı itibariyle aynı ünite içerisinde ek geçişi sırasında yangın tekrar görülmeye başlanmıştır. Laminasyon ünitesinde alevlenmelerin ilk görülmeye başladığı andan başlayarak sorunun tamamen ortadan kaldırılmasına yönelik araştırmalar Ishikawa Modeli içerisinde ele alınmıştır.

6.1 Makine Özellikleri

Inline rotogravür baskı makinesi 12 üniteden meydana gelmektedir. 1-10. üniteler renk üniteleri, 11. ünite laminasyon ünitesi, 12. Soğuk lak ünitesi olarak kullanılmaktadır.

Makinanın üretebileceği ürün genişliği 500 mm – 1120 mm arasındadır. Maksimum operasyon hızı 450 m/dk dir.

Kurutma tünellerinin ihtiyaç duyduğu kızgın yağ sıcaklığı 230 C dir.

Avare merdaneler, korozyona dirençli alüminyum alaşımıdır, topraklanmış ve hassas rulmanlar ile yataklanmıştır. 11-12. ünitelerin avare merdaneleri ve soğutma merdaneleri anotlanmış teflon kaplıdır.

Makine aşağıda belirtilen direktifler ve standartlara uygun olarak imal edilmiştir.

Machine Directives:

- Machine directive (CE Mark) 98/37
- Product european Standards EN 1010-1 2004
- Harmonized European Standards EN 294, EN 811, EN 349

Low Tension Directives:

- 93/68 Low Tension

Harmonized European Standards EN 60204-1

Components in accordance with 89/336 Directive (EMC)

ATEX Directives:

Sadece Product European Standards EN 1010-1 2004 standardına göre belirlenen ünite çevresinde yana doğru 0,5m yerden 1m yükseklik Zone 1 olarak tanımlanmıştır.

Atex Directive 94/9

- European standards EN 60079-10, EN 60079-14, EN 1127-1
- Electric components Zone 1 ATEX sertifikalı

Makinanın tüm ünitelerinin egzostları bir kanal vasıtasıyla solvent geri kazanım ünitesine bağlıdır. Solvent geri kazanım ana hattına bağlandığı noktada bulunan iki damper vasıtasıyla egzost havaları solvent geri kazanım ünitesine veya atmosfere yönlendirilebilmektedir. 1-10. Üniteler tek bir kanalda, 11-12. Üniteler de ayrı bir kanalda birleşmekte ve 2 ayrı kanal vasıtasıyla ana emiş hattına bağlanmaktadır.

Ünitelerde kullanılan baskı kauçukları takılıp çıkarılabilir elektrostatik destekli kauçuklardır [22]

6.2 Araştırma Sonuçları ve Tartışma

1. Ölçümler (metodoloji; değerler aşağıda malzeme başlığı altında verilmiştir)

- Film üzerindeki static elektrik yükünü ölçmek için Fraser 710 marka ve model, 100mm mesafeden statik elektrik yükünü kV cinsinden ölçen bir cihaz kullanılmıştır. Ölçümün yapıldığı esnada 1-10. Ünitelerde baskı prosesinde Opp film kullanılmaktadır. Laminasyon ünitesinde baskı kısmından gelen opp film ile metalize edilmiş opp film birleştirilmektedir.



Şekil 6.1 : Fraser 710 Statik Metre

- Ünite 11 ve 12 çift kurutma tüneline sahiptir. Her bir kurutma tüneli için Honeywell katalitik LEL sensörleri resirkülasyon kanallarının içinde kurutucu tünel başlarına monte edilmiştir (11-1, 11-2, 12-1, 12-2). Bu sensörler tünel içerisinde ortalama LEL seviyesini ölçmektedir.



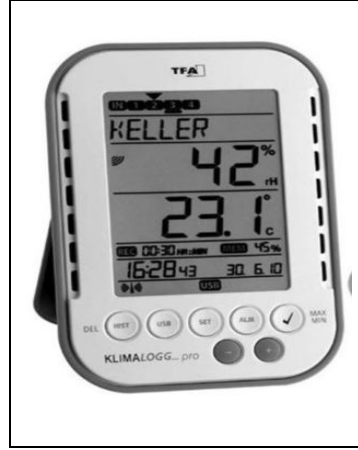
Şekil 6.2 : LEL Sensörü

- Baskı kauçuğunun iletkenliği ürünün tutkal silindiri ile baskı kauçuğu arasından geçerken üzerindeki static elektrik yükünü boşaltmasını sağlaması açısından önemlidir. Alevlenme vakalarının yaşandığı üniteye ortaya çıkan yangınlar sırasında kullanılan baskı kauçuklarının yüzey ve yalıtım dirençleri Megger Mıt 420 direnç ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 6.3 : Sleeve Yüzey ve Yalıtım Direnç Ölçümü

- Çalışma ortamının nem düzeyi birbirini doğrulaması amacıyla 2 adet dijital nem ölçüm cihazı vasıtasıyla ölçülmüştür.



Şekil 6.4 : Dijital Nem Ölçme Cihazı

- Eltex sistem değerleri sistem trafosu üzerinde mevcut bulunan elektronik ölçüm devreleri vasıtasıyla operator ekranlarından alınmıştır.

2. Malzeme (potansiyel yakıt ve parlama kaynaklarına yönelik ölçümü gerçekleştirilen değerlerle beraber ele alınmıştır).

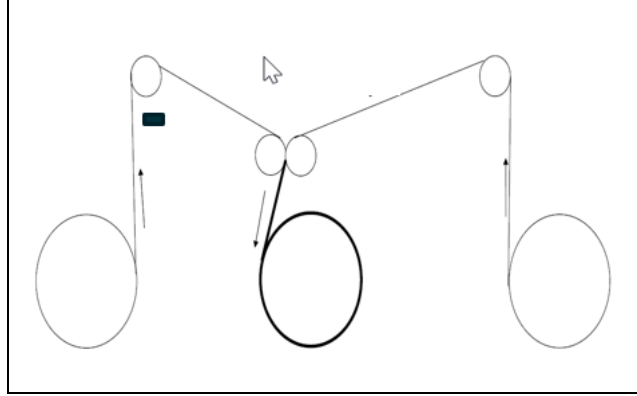
Ünite giriş ve çıkışlarında film üzerinde görülen statik elektrik yük değerleri aşağıdaki Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Film Üzerindeki Statik Elektrik Yük Değerleri

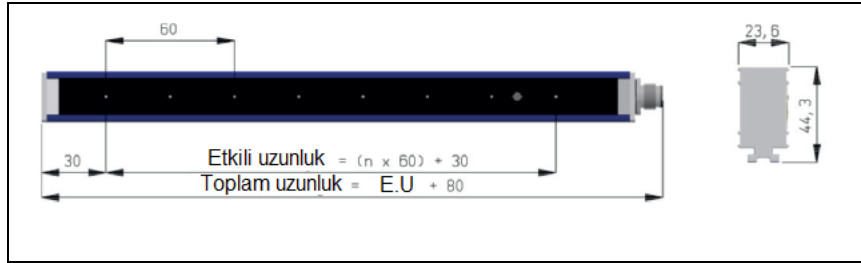
Ünite	Giriş (kV)	Çıkış (kV)
Çözücü		0,3
1	0,3	4
2	5	6
3	1	7,5
4	0,7	9
5	3	6
6	0,1	8
7	1,5	7,5
8	4	10
9	10	10
10	8	2
11	0	0
12	0	0

Gerek baskı kısmında gerekse de laminasyon kısmında film üzerinde bulunan statik elektrik yükünü azaltmak, solvent buharının yoğun olduğu ünite tavaları ve tünel içerisinde statik kıvılcım oluşma riskini azaltmak için her ünitenin çıkışına statik nötralizasyon baraları montajı yapılmıştır. 11. Üniteye sağ ve sol olmak üzere iki adet kurutucu olması dolayısıyla bu üniteye hem girişe hem de çıkışa statik nötralizasyon barası montajı yapılmıştır. 1. ve 10. Ünitelerde tünel tek taraflı

olduğundan hazne ve kurutma tünel tarafına bir adet statik nötralizasyon barası montajı yapılmıştır.



Şekil 6.5 : Anti Statik Bara Konumu



Şekil 6.6 : Anti statik Bara

Anti statik baraların montajı yapıldıktan ve aktif hale getirildikten sonra film üzerinde yapılan ölçümlerde kayda değer bir statik elektrik yükü azalışı tespit edilmiştir. Anti statik baraların aktif olduğu halde yapılan üretim esnasında aynı materyal üzerinde yapılan ölçüm değerleri aşağıdaki Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2: Anti Statik Baranın Aktif Olduğu Durumda Film Üzerindeki Statik Elektrik Yük Değerleri

Ünite	Giriş (kV)	Çıkış (kV)
Çözücü		0,3
1	0,3	3
2	2	2,5
3	1	2
4	0,3	3
5	4	3
6	0,3	2
7	2,3	3,5
8	4	6,4
9	11	5
10	5	5
11	0	0
12	0	0

Anti statik baranın aktif ve pasif olduğu durumlarda makine üzerinde akan film üzerinde yapılan ölçümde ortaya çıkan değerler arasındaki farklar aşağıdaki Çizelge 6.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 6.3. Anti Statik Baraların Aktif ve Pasif Olduğu Durumda Film Üzerinde Ölçülen Statik Elektrik Yük Değerleri Arasındaki Fark

Giriş Değerleri Arasındaki Fark (kV)	Çıkış Değerleri Arasındaki Fark (kV)
0	0
0	1
3	3,5
0	5,5
0,4	6
-1	3
-0,2	6
-0,8	4
0	3,6
-1	5
3	-3
0	0
0	0

Film üzerindeki statik elektrik yükü baskı makinalarında yaygın yangın sebepleri arasındadır. Etil asetat için minimum tutuşma enerjisi 0.46 mJ'dür. Baskı makinalarında film 30 -40 kV'luk gerilim değerine kadar ulaşabilir ki bu gerilim farkı etil asetatın minimum tutuşma enerjisi olan 0.46 mJ'lük enerjiye sahip bir kıvılcımın ortaya çıkmasına sebebiyet verebilir [10].

Çizelgede verilen değerlerden de anlaşılacağı üzere anti statik baralar film üzerindeki statik elektrik yükünü kayda değer bir biçimde azaltmaktadır. Fakat tekrarlayan alevlenme vakalarının yaşandığı 11. Ünite gerilim farkına dair değerler hem girişte hem de çıkışta "0" olarak ölçümlenmiştir. Değerin sıfır olmasının nedeni lamine edilecek ürünün alüminyum ile kaplanmış olması nedeniyle üzerindeki statik elektrik yükünü iyi bir şekilde topraklanmış makine üzerinde her temas ettiği noktadan rahatlıkla boşaltabilmesinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla 11. ünite içerisinde alevlenmeye yol açan statik kıvılcımın, film üzerindeki statik elektrikten kaynaklanmadığı anlaşılmaktadır. Statik baraların baskılı ürün üzerindeki statik elektrik yükünü azaltmak açısından, baskı ünitelerinde oluşabilecek bir parlamanın riskini azaltmakta katkı yaptığı söylenebilir.

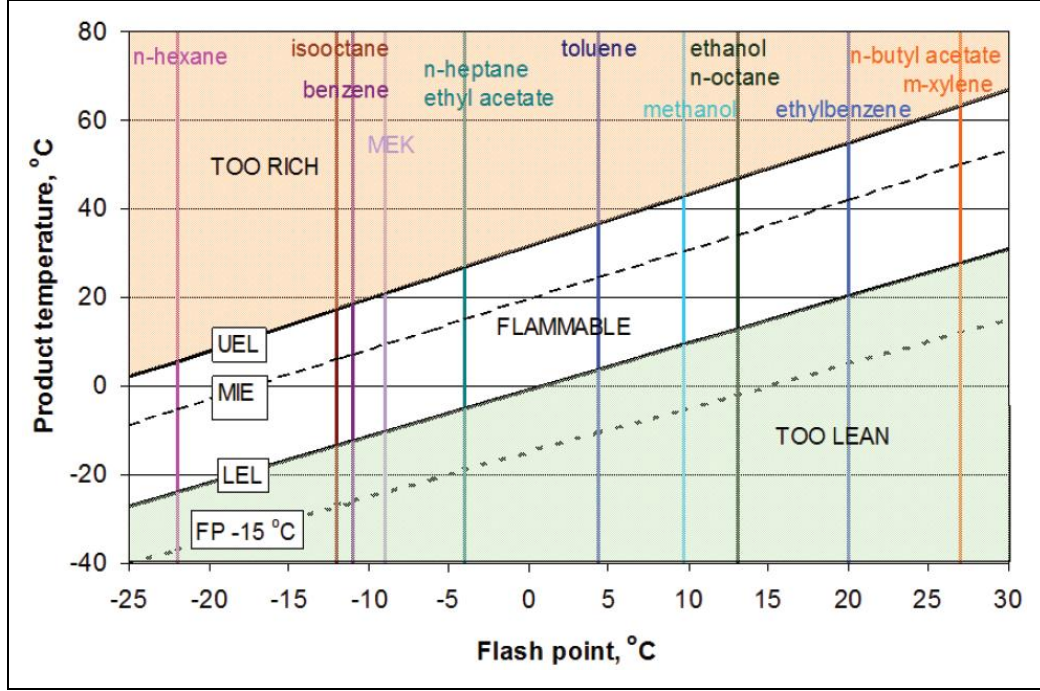
- Parlamaların gerekleŖtiđi üretim zamanlarında kurutucu tüneller içerisinde sırasıyla LEL seviyesi 11-1’de %22-%27 arasında, 11-2’de %12-%16 arasında ölçülmüŖtür. Her ne kadar bu LEL seviyeleri yangının gerekleŖme koŖullarını karŖılamasa da 11-1. ünitenin giriş kısmında ilk buharlaŖmanın baŖladığı hacimde LEL seviyesinin %100 ve üzeri olduğu tahmin edilmektedir. Tünel kapağında meydana gelen renk deđiŖimleri de dikkate alındığında alevlenmelerin ürünün 11-1. kurutma tünelinin giriş kısmında meydana geldiği anlaŖılmaktadır. İlk yangın vakasının gerekleŖtiđi zaman yapılan kontrollerde tünel içerisinde ürünü kurutmak üzere üflenlen sıcak hava miktarının, emiŖi gerekleŖtirilen buharlaŖan solvent karıŖımlı hava miktarından daha çok olduğu tespit edilmiŖtir. Tünel içerisinden dıŖarıya doğru hava ıkıŖı kurutucu tünel içerisinde pozitif basınç olduğunu kanıtlamaktadır. İlk parlamaları takiben tünel içerisindeki üfleme ve emiŖ havalandırma ayarları negatif basınç oluŖturacak Ŗekilde ayarlanmıŖ böylece yangının gerekleŖme koŖullarından biri olan yakıt miktarı azaltılmıŖtır. Tünel içerisinde pozitif basınç olduğunda yoğun etil asetat konsantrasyonuna sahip hava, tünelin alt kısmında ve ünite tavanı üzerinde daha yoğun miktarda birikim oluŖturduđundan 2018 yılında meydana gelen alevlenme vakaları ünite tavanının olduğu bölümde gerekleŖmekte ve çok daha hızlı bir yayılım göstermekte idi.

Yapılan bu iyileŖtirmenin ardından parlama sıklığı kayda değer bir biçimde azaltılmıŖtır. Negatif basınç olduğunda ise parlama sıklığının azalmasıyla birlikte öncü alevlenme tünelin iç kısmına yönelmiŖ ve yayılım daha uzun bir zamana dađılmıŖtır. Tüneldeki negatif basınç Drager marka hava akım test cihazı kullanılarak tespit edilmiŖtir.



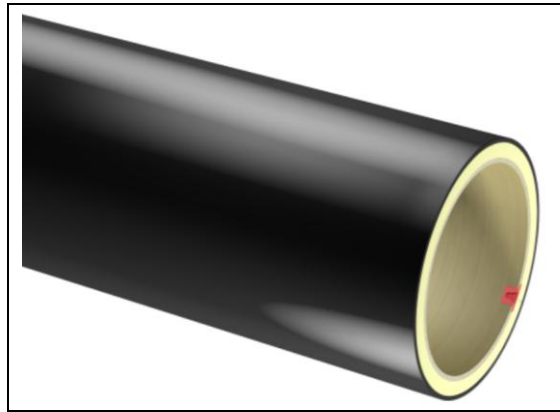
Ŗekil 6.7 : Hava Akım Tespit Cihazı [23]

Üretim esnasında tünel sıcaklık değerleri 90 °C ile 110 °C derece arasında değişmektedir ki bu değerler etil asetat buharının LEL-UEL değerleri arasında olma koşulunu sağlayan değerlerdir [17]



Şekil 6.8 : Solvent Buharlarının Alavlenebilirlik Koşulları [17]

- Baskı kauçuğu olarak 2 tip kauçuk kullanılmaktadır. Bunlardan birisi yerel bir firma tarafından kaplanan orijinali bilinmeyen kauçuklardır. Kaplama kauçukların yüzey ve yalıtım direnç değerleri aşağıdaki Çizelge 6.5'te verilmiştir. Bir diğeri ise baskı sektörünün kauçuk merdane gereksinimini karşılamak üzere üretim yapan yabancı bir firmanın ürünüdür. Orijinal ürün diye adlandırdığımız baskı kauçuğu direnç değerleri de Çizelge 6.5'te karşılaştırma sağlayacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.9 : Sleeve [24]

Çizelge 6.3: Baskı Makinası Laminasyon Ünitesinde Kullanılan İki Ayrı Baskı Kauçuğunun Yüzey ve Yalıtım Direnç Değerleri

Sleeve Tipi	Yüzey Direnci 1 MΩ	Yüzey Direnci 2	Yüzey Direnci 3	Yalıtım Direnci
Kaplama	39,6 MΩ	41,6 MΩ	63,6 MΩ	8,2 kΩ
Orijinal	20 kΩ	20 kΩ	20 kΩ	<1MΩ

- Baskı kauçuğunun yüzey ve yalıtım direnç değerleri kauçuğa temas eden film üzerindeki statik elektrik yükünün boşaltılabilmesi, ayrıca kauçuk üzerindeki yük birikiminin bertarafı bakımından önemlidir.
- Gerek makine üreticisi gerekse de baskı kauçuğu üretici firmaları Eltex sisteminin kullanılmadığı baskı ve laminasyon ünitelerinde kullanılan baskı kauçuklarının direnç değerlerinin 1 MΩ un altında olması gerektiğini ifade etmektedir. Dolayısıyla deneysel çalışmanın konusu olan yangın vakalarında tünel içerisinde pozitif basıncın olduğu durumda ünite tavası üzerinde başlayan alevlenmelerde ek bandının geçişi sırasında ki bu esnada ünite tavası üzerindeki konsantrasyon 2000 ppm'in üzerinde ölçümlenmiştir, baskı kauçuğu ile ek bandının temas edip ayrılması sırasında oluşan ve gözle görülebilen statik kıvılcım, yangının tutuşturucu kaynağı olarak tanımlanabilir. Tünel içerisinde negatif basınç sağlandıktan sonra ünite tavası üzerinde bir parlama gözlemlenmemiştir. Dolayısıyla kurutucu tünel içerisinde meydana gelen yangınların tutuşturucu kaynağı olarak, baskı merdanesine temas sırasında statik elektrik yüklenen ek bandından tünelin metal parçalarına doğru gerçekleşen ark atlaması ihtimaller dahilinde olmakla beraber bir vakada antistatik kauçuk kullanıldığı halde parlamanın gerçekleşmesi tünel içerisinde oluşan ısı kaynağının ek bandı olması ihtimalini zayıflatmakla beraber tamamen ortadan kaldırmamaktadır.
- 2018 ve 2019 yıllarında gerçekleşen parlamalarda çalışma ortamının bağıl nem değeri %20 ile %39 arasında ölçülmüştür. Diğer parametreler dikkate alınmaksızın % 50 üzerindeki nem oranının olduğu şartlarda herhangi bir parlama kaydedilmemiştir.
- Bir çok materyalin yüzey özdirenci etrafındaki nem vasıtasıyla kontrol altında tutulabilir. Bağıl nemin %65 ve üzerinde olduğu ortamlarda çoğu materyalin yüzeyi tatminkar seviyede iletkenliği temin edecek miktarda nemi absorbe

etmekte ve statik elektrik yüklenmesinin önüne geçmektedir. Nem düzeyi 30%'un altına indiğinde bu metaryaller iyi birer yalıtkan halini almakta ve deşarj birikimi artmaktadır [10]

- Baskı kalitesini arttırmak amacıyla yüksek voltaj değerlerinde Eltex sisteminin çalıştırıldığı gözlemlenmiştir. 2019 yılı Aralık ayı içerisinde gerçekleşen yangınlarda Eltex sistem voltajının 27 kV düzeyinde olduğu tespit edilmiştir. Alevlenme vakalarının yaşandığı 11. Ünite de Eltex sistemi kullanılmamaktadır.

Eltex sistemlerinde, Avrupa Birliği düzenlemeleri gereği maksimum uygulanabilir gerilim değeri 20 kV'dur ve bu değer üzerine baskı yapılacak ürün kağıt ise geçerlidir. Baskılı film üretiminde uygulanması gereken değer 10 kV'u geçmemelidir. Alevlenme vakalarının yaşandığı 11. Ünite de Eltex sistemi bulunmaması ve bu üniteden geçen filmin statik elektrik gerilim farkının 0 olarak ölçülmesinden ötürü yangınla bire bir bağlantısının olduğu kanısı hasıl olmamıştır. Fakat yasal sınırların üzerinde uygulanan gerilim değeri gerek baskı ünitelerindeki deşarj baralarının etkisini azaltacağından dolayı bu ünitelerde, gerekse de lamine edilecek film ile temas noktasına iletim gerçekleşme ihtimalinden dolayı her zaman bir risk unsuru olarak değerlendirilmelidir [16]

- Deneysel çalışmanın yürütüldüğü makinada yangın vakaları sadece baskılı opp malzeme ile metalize opp malzemenin laminasyonu esnasında yaşanmaktadır. Metalize opp, opp filmin metalizasyon makinasında daha önceden alüminyum ile kaplanmasıyla elde edilmektedir.

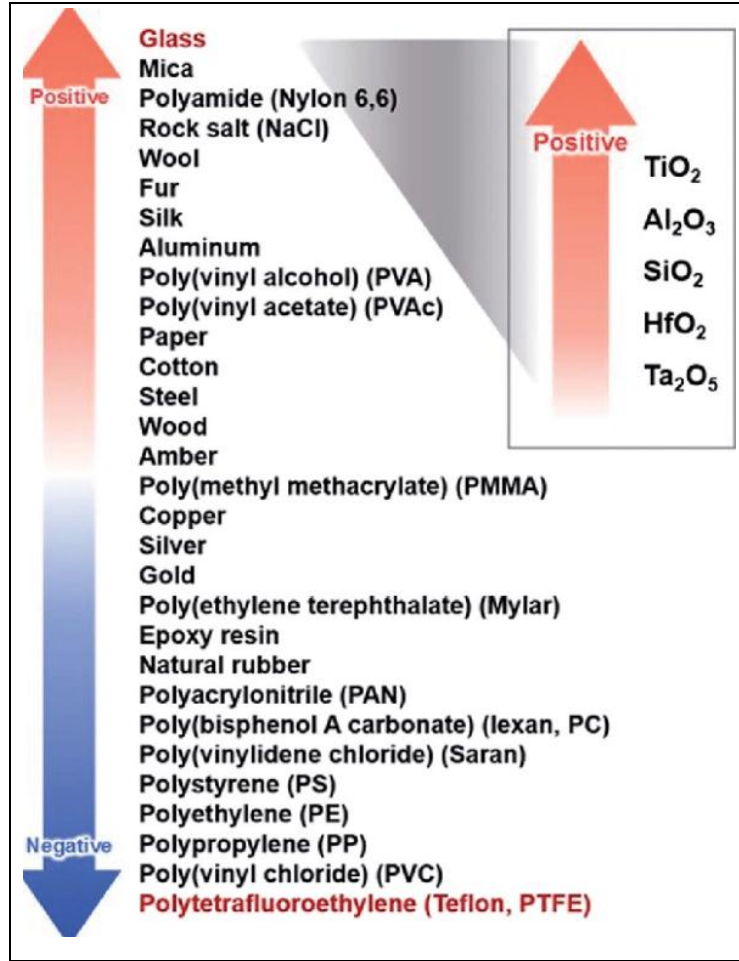
Bill W. Lee ve David E. Orr tarafından gerçekleştirilen test sonuçlarına göre oluşturulan tribo elektrik tabloda polipropilen filmin metale sürtmesi sırasında negatif yüklenme eğiliminde olduğu görülmektedir. 1 Joule lük sürtünme enerjisi sonucunda 90 nC eşdeğerindeki elektron yükü metalden polipropilen üzerine geçer ve film negatif yüklenir.

Bu elektrik yükü belli bir seviyenin üzerine ulaştığında eğer elektrik alan cm başına 10 kV değerini geçerse 2 yüzey arasında bir kıvılcım atlaması meydana gelir.

Yukarıda bahsedilen olgu ek kuyruğunun opp yüzeyi ile yeni eklenmiş metalize opp filmin alüminyum yüzeyi arasında defalarca tekrarlanmaktadır. Böylelikle yalıtkan polipropilen yüzey alüminyum yüzeyden sürtünme vasıtasıyla sürekli

elektron almakta ve bu yük kritik elektrik alan (10 kV/cm) seviyesini geçtiğinde iki malzeme arasındaki belli mesafede elektriksel ark oluşur bu da belirli bir solvent ve oksijen yoğunluğu olan kurutucu tünel içerisindeki yangının tutuşturucu kaynağı haline gelmektedir [25]

Aşağıdaki Şekil 6.10'da polipropilenin ve alüminyumun da bulunduğu tribo elektrik serisi verilmiştir. Şekilde alüminyumun pozitif, polipropilenin ise negatif yüklenme eğiliminde olan iki mazleme olduğu net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6.10 : Tribo Elektrik Serisi [11]

Ek kuruğunun iç kısmı opp film olup dalgalanma esnasında sürekli olarak çift taraflı bant vasıtasıyla eklemlenmiş olduğu yeni bobinden çözülen metalise-opp filmin alüminyum yüzeyine temas edip ayrılarak ilerlemektedir. Yapılan araştırmalardan ve gözlemlerden yangını meydana getiren tutuşturucu kaynağa yönelik kök nedenin dalgalanmayla beraber ortaya çıkan temas ve ayrılma sırasında gerçekleşen statik deşarj kaynaklı kıvılcım olduğu tespit edilmiştir.

Makina:

- 11-1. Kurutucu tünelinin alt kısmında tekrarlanan yangınların izleri gözlemlenmiştir. Tutkal veya toz parçacıklarının yanarak üfleme ve emiş nozullarının üzerinde kalıntı oluşturduğu tespit edilmiştir. Kalıntıların tünel kapağının alt kısmında gözlemlenmesi yangınların da bu kısımlarda gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca 2019 Aralık ayında ardı ardına gerçekleşen iki alevlenme sonucu tünelin en alt ızgarasının yerinden kopmuş olduğu görülmüştür. Bu mekanik hasarın yangın neticesinde ortaya çıkan yüksek ısı nedeniyle genişleyen ve sonrasında büzülen malzemenin kaynak yerlerini zayıflatması sonucu ortaya çıktığı kanısını oluşturmuştur.



Şekil 6.11 : Yangın Sonrası Kurutucu Tünel Alt Izgaralarda Meydana Gelen Hasar ve Kararma

- (Yakıt kaynağı – LEL) 2018 yılında gerçekleşen ilk alevlenme vakalarında kurutucu tünel içerisindeki ortalama LEL seviyeleri % 27 civarında olduğu bilinmektedir. Daha sonra tünel içerisinde yapılan modifikasyon ve üfleme-emiş ayarlamaları ile LEL seviyeleri 20% düzeyine kadar indirgenmiştir. Fakat bu seviyelerde dahi alevlenmelerin gerçekleşmesi tünelin alt kısmında LEL seviyesinin halen %100 ve üzeri olduğunu göstermektedir. Ortam nem seviyesinin yüksek olduğu yaz aylarında static kıvılcım oluşma riskinin azalmasının yanında tünel içindeki LEL seviyesinin de düştüğü tahmin edilmektedir.

- 11. ve 12. ünitelerin avare merdaneleri teflon kaplı aliminyumdan imal edilmişlerdir. Teflon kaplanmasının nedeni merdane yüzey dayanım sürelerinin maksimum seviyede olmasının sağlanmasıdır. Diğer tüm ünitelerde avare merdaneleri saf aliminyumdur.
- Otomatik ek kesimi sırasında 40-60 cm uzunluğunda bir kuyruk oluşmaktadır. Kuyruk, filmin laminasyon tutkalını almış yüzeyinde olacak şekilde tünel içerisine girmektedir. Bundan dolayı tünel içerisindeki tirbulansın da etkisiyle sürekli olarak dalgalanmaktadır.
- Ek kuruğunun dalgalanmasının minimuma indirilmesi için kuyruğun serbest kalan kısmının mümkün olan en kısa seviyede tutulması önem arz etmektedir. Bu sebeple makina programında yapılan değişiklik ile ek kuyruğunun 40 cm olacak şekilde ayarlanması sağlanmıştır. Ayrıca her iki malzemenin birleşmesini sağlayan ek bandının 30 cm genişlikte uygulanması uygulaması hayata geçirilerek kuyruk uzunluğu maksimum 10 cm olacak şekilde tünel içerisine girmesi sağlanmıştır.
- Eltex deşarj baraları aktif ve etkili durumdadır. Laminasyon ünitesinde eltex sistemi kullanılmamaktadır. Bu sebepten ötürü yangının nedenleri arasında görülmemektedir.
- Ünite içerisinde direnç değeri 1 M Ω 'un çok üzerinde olan kaplama kauçuk kullanılmaktadır. Yaltnkan özelliğe sahip kauçuk üzerindeki statik elektrik yükü sürekli toplanma halindedir ve static kıvılcım oluşturma riskini üzerinde taşımaktadır.
- Nem düzeyi makinanın operator tarafında bulunan nem ölçerler vasıtasıyla takip edilmektedir. Makina etrafında %50 üzerinde bir bağıl nemin olduğu hiç bir durumda alevlenme vakası yaşanmamıştır. Nemin yangın güvenliğine olan etkisi 2 farklı açıdan ele alınmalıdır.
- Negatif basınca sahip kurutucu tünelin ortamdaki su buharını, ünite üzerinden ve taze hava emiş ağzından içine doğru çekmesi vasıtasıyla tünel içerisindeki hava karışımında etil astatın yerini su buharının alması ve böylelikle tünel içerisindeki LEL değerinin düşmesiyle yangın için gerekli konsantrasyona sahip yakıt miktarının olmamasının sağlanması.

- Malzeme başlığı altında d maddesinde de ifade edildiği gibi film yüzeyinin absorbe ettiği nem vasıtasıyla iletken hale gelerek statik elektrik yük birikiminin önüne geçilmesi.
- Kurutma tüneline taze hava akışı makinanın arka tarafındaki yerden 3 metre yükseklikteki resirkülasyon hattından gerçekleşmektedir. Bu bölgede bulunan emiş ağzı civarındaki nem değeri üretim binası içerisindeki nem değeriyle eşit seviyede ölçümlenmiştir.

Metod:

- Laminasyon tutkalı ürün üzerine yaklaşık 2,5 - 3g/m² , 30-35% katı içerikle yani toplam solvent miktarı 6-8,5g/m² olacak şekilde uygulanmaktadır. Makina hızı 200-250 m/dk'dır. Ürün genişliği 1m; kurutucu tünel içerisinde buharlaşan solvent miktarı dakikada yaklaşık 1,5-2,0 kg dır.
- Ek kuyruğu laminasyon silindiri ile temas ettikten sonra ana bobbin ile kuyruk arasına tutkal almamasından ötürü tünel içerisinde dalgalanarak ilerlemektedir.
- Alev, ek kuruğu tüneli terk ettikten birkaç saniye sonra görünür hale gelmektedir.
- Aşağıda 2018 yılı sonu ve 2019 yılı sonunda yaşanan yangınlara yönelik 3 adet video kayıtlarından alınan, yangının gerçekleşme, ilerleme ve sonlanma zamanlamasına yönelik veriler sunulmaktadır.

Birinci yangının süreç zamanları

- 0:00 – Çözücüde otomatik ek gerçekleşti
- 0:07 – Ek kuyruğu ünite içerisine girdi
- 0:09 – Alevler kurutucu tünel altında görülür hale geldi

İkinci yangının süreç zamanları

- 0:00 – Çözücüde otomatik ek gerçekleşti
- 0:05 – Ek kuyruğu ünite içerisine girdi
- 0:32 – Alevler kurutucu tünel altında görülür hale geldi

Üçüncü yangının süreç zamanları

- 0:29 (0:00) – Çözücüde otomatik ek gerçekleşti
- 0:48 (0:19) – Operatör sesi farkettili
- 1:00 (0:31) – Alevler kurutucu tünel altında görülür hale geldi

Ortalama Zamanlama:

- 0:00 – Çözücüde otomatik ekin gerçekleşmesi
- 0:05 – Ek kuyruğunun ünite içerisine girmesi
- 0:24 – Tünel içerisinde meydana gelen sesin farkedilmesi (Alevlenmenin 5s öncesinde başlamış olması muhtemel)
- 0:31 – Alevlerin tünelin altına doğru yayılması

Alev başlangıç yayılma hızı karşı akım olmadığında 20 cm/s'dir. ^[11] Yukarı doğru hava akımı ve tutkal kaplı filmin yukarı hareketi ile ters yönde tünelin alt kısmına yönelik ilerleme daha yavaş olabilir. Bundan dolayı zamanlama, parlamanın ek kuyruğu kurutucu tünel içerisindeyken, kuyrukta meydana gelen statik deşarj nedeniyle olduğunu doğrulamaktadır.

2019 Aralık ve 2020 Ocak ayında meydana gelen yangınlarda alevin görünür hale gelme süresi 10-15 saniyelere çıkmıştır, daha da önemlisi alevin şiddetinin ilgili videolardan da gözlemlendiği kadarıyla azalmıştır. Bu süre uzaması ve alev şiddetinin azalması, tünel içerisindeki negatif basınç nedeniyle yakıt konsantrasyonunun bir önceki vakalara göre daha az olmasıyla ilişkilendirilmiştir.

İnsan:

- Yangınlar CO2 tüpleri kullanılarak elle söndürülmüştür. Alevlenme başladığı anda ürün kopmasını algılayan makina ya otomatik duruşa geçmekte veya ürün kopmadıysa alevi gören operator makinayı kendisi durdurmaktadır. Makina duruşunu takiben kurutucu tünel içerisindeki yangın sonlanmakta fakat hazne içerisinde sürmektedir.
- Üretici firma tünel içerisindeki hava dengesini sağlamanın dışında destek verememektedir.

Çevre:

- Yangınların yaşandığı zaman dilimlerinde ortam nem seviyesi %17-%36 RH'dır. Sadece 1 kez 39% RH nem düzeyinde alevlenme yaşanmıştır. 50% RH seviyesinin üzerinde bir yangın vakasıyla karşılaşılmamıştır.
- Yangınların yaşandığı zaman dilimlerinde ortam sıcaklıkları üretim ortamında 20 °C -26 °C 'dir. Dış ortam sıcaklıkları ise günlük 0 °C -10 °C arasındadır. 2019 Aralık – 2020 Ocak aylarında yaşanan yangınlar sadece

gece yarısı 00:00 ile sabah 05:30 arasında gerçekleşmiştir. Dolayısıyla alevlenmenin gerçekleştiği zaman dilimlerinde dış ortam sıcaklıklarının 0 °C - 5 °C arasında olduğu söylenebilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Kurutucu tünel içerisindeki yakıt kaynağı, tünelin alt ve orta kısmında buharlaşarak birikim oluşturan ayrıca filmin her noktasında buharlaşma halinde bulunan ince katmanlı ve yüksek konsantrasyonlu etil asetatıdır. Ortalama LEL değeri tünelin tüm noktalarındaki konsantrasyonun aynı olduğunu göstermez. Her zaman kaplanan tutkal yüzeyinde ince bir katman mevcuttur. Yüksek konsantrasyonun olduğu bu katmanda ki bu katman derinliği birkaç mm olabilir, konsantrasyon oldukça yüksektir.
- Ekstra yakıt kaynağı film yüzeyinde bulunan sıvı solvent, tutkal bileşenleri ve filmin kendisidir. Özellikle tünelin başlangıç noktasında.
- Yangının kaynağı ek kuyruğunda toplanan static elektrik yüküdür. Ek kuyruğunun ana filminden her ayrılışında toplanan static elektrik yükünün deşarjı gerçekleşebilir. Ana filminden ayrılma tünel içerisinde ilerleme sırasında tünel içerisindeki hava türbülansının da etkisiyle meydana gelmektedir. Opp ile alüminyum birbirine göre ters yükle yüklenme eğiliminde olan iki ayrı malzemedir. Bu durum, static deşarj oluşturabilme eşik değerinin üzerine çıkılmasını sağlamaktadır. Uygulamada hızlı bir akış halinde bulunan kuyruk üzerindeki static elektrik yükünü özellikle de tünel içerisinde ölçmek mümkün olmamaktadır.
- Parlama , ek kuyruğunun kenar noktasından veya yüzeyinden çıkan kıvılcım nedeniyle meydana gelmektedir. Kıvılcım ek kuyruğu ile eklemlendiği bobinin metalize yüzeyi arasında meydana gelmekte veya indirgenmiş yükün opp yüzeyli filminden ana bobinin metalik yüzeyine veya tünelin karşı tarafındaki metal parçalara atlamasıyla oluşmaktadır.
- Alev yayılımı tünelin alt kısmına doğru olmaktadır. Öncü alev yüksek etil asetat konsantrasyonuna sahip, dahası sıvı etil asetatın var olduğu alana doğru ilerleme eğilimindedir. Bu nokta tünelin alt, yani başlangıç kısmıdır. Yayılımın, yeterli konsantrasyonun bulunmadığı tünelin üst bölgesine ilerlemesi

muhtemel değildir. Tünel içerisindeki yukarı yönlü hava akışı ve filmin yukarı hareketi yayılımın bir miktar yavaşlamasına neden olmaktadır.

- Parlamalar statik elektrik kaynaklı gerçekleşmekte, kurutucu tünel ızgarasının kopması ve tünel kapağında meydana gelen kömür katmanı tünel içinde yaşanan yangınların neden olduğu unsurlardır.

7.1 Öneriler

- Temas ve sürtünme neticesinde, makinanın temas ettiği ekipmanları ile birbirine zıt yüklerle yüklenme eğiliminde olan filmlerin baskısı prosesinde veya opp-metalize opp gibi ters yüklerle yüklenme eğiliminde olan malzemelerin laminasyonu esnasında üretim ortamındaki nem değerinin 50 % üzerinde tutulması statik elektrik kaynaklı yangınların önlenmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla özellikle havanın kuru olduğu kış aylarında üretim ortamının endüstriyel yöntemlerle nemlendirilmesi hayati önem arz etmektedir [10]; [27]
- Kurutma tünelinin içerisinde ortaya çıkan etil asetat konsantrasyonunun minimuma indirilmesi için tünel içerisindeki üfleme – emiş hava dengesi tünel içerisinde negatif basınç oluşturacak şekilde ayarlanmalı ve sürekli kontrol edilmelidir [28]
- Makina üzerinde toleranslar dışında bir ısının ortaya çıkmasına müsaade etmemek adına hareketli ekipmanlar arasında herhangi bir sürtünmenin olmaması sağlanmalıdır.
- Makina alanında solvent buharının yoğun olduğu bölgelerde, kaçınılması mümkün değilse atex uyumlu elektrikli cihazlar kullanılmalı ve cihazların bu özelliklerini koruyup korumadıkları periyodik olarak kontrol edilmelidir.
- Statik elektrik yük birikiminin ve deşarj olasılığının minimize edilmesi için biten bobbin ile yeni bobbinin birleşmesi sonrası oluşan ek kuyruğu mümkün olan en kısa uzunlukta tutulmalı ve ana film ile birleşip ayrılmasının önüne geçilmelidir.
- Film üzerinde biriken statik elektrik yükünün kurutucu tünele girişinden önce nötralle edilmesi gerekir [28]

- Baskı kauçuğunun iletken olması film üzerinde oluşabilecek statik elektrik yükünün topraklanmasını sağlayacağından önemlidir [29]
- Makina gövdesi ve üzerinde bulunan tüm ekipmanlar uygun şekilde topraklanmalı, dönen ekipmanların yatakları için iletken özellikli yağ kullanılmalıdır [28]
- Makina üzerinde yapılan temizlik, bakım gibi faaliyetler esnasında ateş veya kıvılcım çıkaran ekipmanlar kesinlikle kullanılmamalı, kullanılması zorunlu ise makina sahası tüm alevlenebilir malzemelerden arındırılmalı ve izole edilmelidir.
- Çalışanlar uygun kıyafetlerle, statik kontrolü yapılarak üretim alanına girmeli ve belirli aralıklarla vücutlarındaki statik elektriği boşaltacak topraklama plakalarına temas etmelidirler [30]
- Çalışanlar yangını önleme, solventle çalışmalar konularında eğitilmeli, alınan önlemlerin sahadaki uygulamaları düzenli olarak kontrol edilmelidir.
- Üretim materyali olarak su bazlı boya veya tutkal kullanımının solvent bazlı lıklere oranla daha güvenli olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- [2] **Cameo Chemicals Noaa Report**. Chemical Datasheet Ethyl Acetate.
- [3] **ILO, WHO, European Commission**. Ethyl Acetate Data Sheet
- [4] **FM Global** , (2012). Property Loss Prevention Data Sheets 7-96.
- [5] **Bobst**, (2012) Rotomec 4003 Rotagravure Printing Press Guide.
- [6] **Arslan, Zeynep Köknaroğlu**, (2015). Keton/ Aldehit Reçinelerinin Mürekkep Hazırlanmasında Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [7] **Martin, Stephane, Amcor**. Efficient Drying ppt
- [8] **BS En 1539: 2015**, Dryers and Ovens, in which Flammable Substances are Released- Safety Requirements. BSI Standartds Publication
- [9] **BS En 1539: 2009**, Dryers and Ovens, in which Flammable Substances are Released- Safety Requirements. BSI Standartds Publication
- [10] **NFPA ® 77**, Recommended Practice on Static Electric, 2007 Edition
- [11] **Kim, Yeon Joo, Lee, Jaejun, Park, Sangwon, Park, Chanho, Park, Cheolmin, Choi, Heon-Jin** (2017) “ Effect of the Relative Permittivity of Oxides on the Performance of Triboelectric Nanogenerators” RSC Advances, 7, 49368
- [12] **Amcor**, (2020). Safety Dept, Zero Ignitions Static Electricity ppt.
- [13] **NFPA ® 497**, Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas, 2008 Edition
- [14] **Toktaş, F. Ünal**, (2007) . Statik Elektrik. Elektrik Mühendisliği. 330-331
- [15] **BA En- 9075-1907** ESA GNN75 with remote control ESC2 Electrostatic Printing Assist Operating Instructions.
- [16] **Eltex Electrostatic Innovations** (2020). Service Report
- [17] **ESIG** (European Solvents Industry Group), (2013). Best Practice Guidelines n.4 version 3. Flammability: A safety Guide for Users. Safe Working with Industrial Solvents.
- [18] **Bos Johannes**, (1968) . Frictional Heating of Tribological Contacts. Doctoral Thesis, University of Twente.
- [19] **MMO** (2019). Yangın Semineri Notları., MMO Tepekule Kongre ve Sergi Salonu 19/20 Eylül
- [20] **Şengöz, Mehmet Cem, Mustafa Merdan**, (2017). Elektrik Nedenli Yangınların İncelenmesi ve FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) Yönteminin Uygulanması İstanbul Örneği.

- [21] **Paker, Serdar**, (2017). Elektriksel Kaynaklı Yangınlara Yönelik Standartlar Düzenlemeler ve Uygulama Sorunları. Elektrik İç Tesislerinde Yangından Korunma Yöntemleri. Elektrik Mühendisliği Ekim 2017 sayı – 462
- [22] **Rotomec**, (2005). Rotomec S.p.a Technical Specification. RS 4004 HS 1100/500/C High Speed Gravure Press 12 Colours with In Line Lamination Guide
- [24] **Rossini** , (2020). Products Catalog, Speedwell Sleeves and Rubber Impression Rollers
- [25] **Lee, Bill W., Orr, David E.** (2018) The TriboElectric Series. AlphaLab Inc.
- [26] **Boetcher, P.A.** Cyclic Flame Propagation in A Fully Premixed Initially Stagnant Mixture.
- [28] **HSE (Health and Safety Executive)**, (2002). The Printer’s Guide to Health and Safety
- [29] **Shelton, Scott.** A Practical Guide to Controlling Electrostatic Charges on Film Webs
- [30] **İnce, Filiz Başarır**, (2013). Elektronik İmalat Aşamasında Güvenlik Statik Elektriğe Karşı Önlemler. Elektrik Mühendisliği 2013 Mayıs sayı 447

İnternet Kaynakları

- [1] **Url 1** <<http://siperyangin.com.tr/yangin-nasil-baslar/attachment/indir-3>>, alındığı tarih: 05.05.2020.
- [23] **Url 2**< https://www.draeger.com/tr_tr/Applications/Products/Portable-Gas-Detection/Gas-Detection-Tubes/Tubes/Air-Flow-Tester>, alındığı tarih: 07.05.2020.
- [27] **Url 3**< <https://www.alphalabinc.com/static-electricity-effects/>>, alındığı tarih: 08.04.2020.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Emre RESULOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 22.03.1980 - ANKARA
E-posta : emreresuloglu@yahoo.com



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2004, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** :2020, İstanbul Gedik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Tezli Yüksek Lisans Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Çukurova SCA: Bakım Mühendisi (01.03.2007-31.12.2008)
Kartonsan Karton San. A.Ş. Üretim Sorumlusu (01.04.20010-31.12.2010)
Amcors Flexibles İstanbul Ambalaj San. A.Ş. OHSE ve Projeler Müdürü (16.01.2012-Halen devam etmekte)