

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

MOBİLYA İMALATI YAPAN MİKRO ÖLÇEKLİ İŞLETMELERİN
ODUN TOZU PATLAMA RİSKİ YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS

Lokman ODABAŞ

KASIM-2024
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

**MOBİLYA İMALATI YAPAN MİKRO ÖLÇEKLİ İŞLETMELERİN
ODUN TOZU PATLAMA RİSKİ YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI**

**STUDY OF WOOD DUST EXPLOSION RISK IN MICRO-SCALE
FURNITURE MANUFACTURING ENTERPRISES**

YÜKSEK LİSANS

Lokman ODABAŞ

**KASIM-2024
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

**MOBİLYA İMALATI YAPAN MİKRO ÖLÇEKLİ İŞLETMELERİN
ODUN TOZU PATLAMA RİSKİ YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI**

**STUDY OF WOOD DUST EXPLOSION RISK IN MICRO-SCALE
FURNITURE MANUFACTURING ENTERPRISES**

YÜKSEK LİSANS

Lokman ODABAŞ

Danışman: Doç. Dr. Yener TOP

**KASIM-2024
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Mobilya İmalatı Yapan Mikro Ölçekli İşletmelerin Odun Tozu Patlama Riski Yönünden Araştırılması**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

13/11/2024

.....
Lokman ODABAŞ

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında, değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana her daim yol gösteren, akademik rehberliğini esirgemeyen ve katkılarıyla tezimin her aşamasında beni destekleyen kıymetli danışmanım Sayın Doç. Dr. Yener TOP'a en derin şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, tez süreci boyunca manevi destekleriyle yanımda olan bana her daim güven veren ve beni sevgi ve saygının anlamını öğreterek bugünlere getiren sevgili aileme sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Lokman ODABAŞ
GÜMÜŞHANE – 2024

ÖZET

Hammaddenin işlenmesi sırasında uygulanan yöntemin bir sonucu olarak yan ürünler oluşur. Bu yan ürünlerden biri tozdur. Bir risk faktörü olan toz, mobilya imalatı sektöründe yaygın bir sorundur. Ayrıca, sektörde yer alan işletmelerin büyük çoğunluğu mikro ölçekli işletme kapsamına giren işletmelerden oluşmaktadır. Bu işletmeler, ekonomik ve sosyal yönlerden ülke ekonomisi için önemlidirler, ancak bu işletmeler iş sağlığı ve güvenliği açılarından bazı olumsuzluklara sahiptirler. Bu olumsuzluklardan biri, oluşan odun tozunu yönetme imkânlarının yetersizliğidir. İş atmosferine karışan odun tozu, çalışan sağlığına olduğu kadar işyeri güvenliği için de bir risktir. Toz, iş ortamındaki diğer faktörlerle birleştiğinde “toz patlamalarına” sebep olabilir.

Toz patlamaları genellikle üretim yapılan alanlarda, işlem sürecinde, depolama aşamasında veya malzemelerin transferi sırasında meydana gelir. Ülkemizde, toz patlama riski farkındalık düzeyinin yüksek olmadığı söylenebilir. Bu nedenle bu çalışmada, Trabzon ilinde faaliyet gösteren ve mobilya imalatı yapan mikro ölçekli işletmelerde toz patlama risklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Yöntem olarak, L Tipi (5x5) matris diyagram yöntemi kullanılmıştır. Materyal olarak mobilya sektöründe faaliyet gösteren üç mobilya atölyesi seçilmiş ve ziyaret edilerek; odun tozu oluşumu ile toz patlamasına yol açabilecek faktörler açısından incelenmiştir. Toplamda 64 risk unsuru belirlenmiştir. Bunların 30'u "yüksek risk," 28'i "orta risk" ve 6'si "düşük risk" olarak değerlendirilmiştir. Tespit edilen bu risklere bağlı olarak öneriler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikro işletme, Mobilya, Odun tozu patlaması, Risk analizi, Toz.

SUMMARY

During the processing of raw materials, by-products are generated as a result of the employed technique. Dust is one of them. It is a common issue in the furniture manufacturing sector. In addition, the majority of the enterprises in the sector are micro-scale enterprises. These enterprises are important for the country's economy in economic and social aspects, but these enterprises have some negativities in terms of occupational health and safety. One of these negativities is the inadequacy of the management of wood dust. Wood dust emitted into the work atmosphere poses a risk to both employee health and workplace safety. Dust can cause "dust explosions" when combined with other factors in the work environment.

Dust explosions usually occur in production areas, during the process, the storage phase or the transfer of materials. It can be said that the level of awareness of dust explosion risk is not high in our country. Therefore, this study aims to determine dust explosion risks in micro-scale enterprises operating in the province of Trabzon and manufacturing furniture. As a method, L Type (5x5) matrix diagram method was used. Three furniture enterprises in the furniture sector were selected as material and visited; and examined in terms of factors that may cause wood dust formation and dust explosion. A total of 64 risk elements were determined. 30 of them were evaluated as "high risk," 28 as "medium risk" and 6 as "low risk". Suggestions were made depending on the risks identified.

Keywords: Micro enterprise, Furniture, Wood dust explosion, Risk analysis, Dust.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Odun Tozu Patlamaları İle İlgili Literatür	2
1.2. Kavramsal Çerçeve	5
1.2.1. Toz.....	5
1.2.2. Toz Oluşumu.....	7
1.2.3. Patlama.....	8
1.2.4. Toz Patlaması	8
1.2.5. Toz Patlamasını Etkileyen Faktörler	13
1.2.5.1. Parçacık Boyutu	14
1.2.5.2. Toz Bulutu Yoğunluğu.....	15
1.2.5.3. Oksijen Yoğunluğu	15
1.2.5.4. Tutuşma Sıcaklığı	16
1.2.5.5. Toz Bulutu Türbülansı	16
1.2.5.6. Yanıcı Gazların Varlığı	17
1.2.5.7. Tutuşma Kaynakları	17
1.2.6. Toz Patlamalarının Önlenmesi	20
1.3. Mobilya İmalatında Toz Oluşumu Ve Toz Patlamaları	24
1.3.1. Mobilya Sektörü.....	24
1.3.2. Sektörde Kullanılan Makineler	26
1.3.2.1. Rendeleme Makineleri	26
1.3.2.2. Freze Makineleri	27
1.3.2.3. Daire Testere Makinesi	27
1.3.2.4. Şerit Testere Makinesi	28

1.3.2.5. Pres Makinesi	29
1.3.2.6. Torna Makinesi	29
1.3.2.7. Bant Zımpara Makinesi.....	30
1.3.3. Masif Ahşap Tozu	30
1.3.4. Orta Yoğunlukta Lif Levha (Mdf) Tozu	33
1.3.5. Mobilya Atölyelerinde Toz Patlamasına Neden Olabilecek Faktörler	35
1.3.6. Risk Değerlendirme Yöntemleri	36
2. MATERYAL VE YÖNTEM	39
2.1. Materyal..	39
2.2. Yöntem...	41
2.3. Araştırmanın Sınırlılıkları	45
3. BULGULAR	47
3.1. A İşletmesine Ait Bulgular	47
3.2. B İşletmesine Ait Bulgular.....	56
3.3. C İşletmesine Ait Bulgular.....	69
4. TARTIŞMA.....	79
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	84
KAYNAKÇA.....	88
ÖZGEÇMİŞ..	97

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Toz patlamalarına karşı uygulanacak önlemler (Amyotte, 2013).	21
Tablo 2. OÜS’ni oluşturan kısım, grup ve sınıfların ISIC Rev. 4’e göre kod ve adları (Top vd., 2014).	40
Tablo 3. Risk Gerçekleşme Sıklığına Göre Olasılık Değerleri	44
Tablo 4. Bir Olayın Gerçekleştiği Takdirde Şiddet Değerleri.....	44
Tablo 5. Matris Yöntemine Göre Risk Derecelendirme Tablosu (Erdim vd., 2010).	44
Tablo 6. Risk Seviyesi (Erdim vd., 2010).	45
Tablo 7. A işletmesine ait 5x5 risk değerlendirme matrisi sonucu.....	48
Tablo 8. B işletmesine ait 5x5 risk değerlendirme matrisi sonucu.....	57
Tablo 9. C işletmesine ait 5x5 risk değerlendirme matrisi sonucu.....	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleşen toz patlamalarının endüstrilere göre dağılımı (Layık, 2016).....	10
Şekil 2. Birincil ve ikincil yanıcı toz patlamalarının oluşumu (URL-1).	12
Şekil 3. Patlama havalandırması (Eckhoff, 2003).	22
Şekil 4. Baskılama yönteminin çalışma prensibi (Lees, (2012).	23
Şekil 5. Rendeleme makinesi.....	27
Şekil 6. Şaküllü freze makinesi	27
Şekil 7. Daire testere makinesi	28
Şekil 8. Şerit testere makinesi.....	28
Şekil 9. Pres makinesi.....	29
Şekil 10. Torna makinesi	30
Şekil 11. Bant zımpara makinesi	30

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C	: İmalat Sanayi
ISIC Rev. 4	:Tüm Ekonomik Faaliyetlerin Uluslararası Standart Sanayi Sınıflaması
ILO	: Uluslararası Çalışma Örgütü
KKD	: Kişisel Koruyucu Donanım
KOBİ	: Küçük ve orta ölçekli işletme
m	: Metre
md.	: Madde
MDF	: Medium Density Fiberboard (orta yoğunluklu lifli levha)
MTS	: Minimum Tutuşma Sıcaklığı
OÜS.	: Orman Ürünleri Sanayi
vb.	: Ve benzeri
vd.	: Ve diğerleri
µm	: Mikro metre

1. GİRİŞ

Üretim faktörlerinin belirli oranlarda bir araya getirilerek mal ve hizmet üretmek amacı ile kurulan birimler işletme olarak adlandırılırlar. Bu birimlerde temel amaç ihtiyaçların karşılanmasıdır ve işletmeler değişik şekillerde sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmalardan biri de istihdam edilen personel sayısının ve sermayesinin esas alındığı Avrupa Birliği tarafından kabul edilmiş ve Avrupa Birliği'ne uyum maksadı ile ülkemizde de kabul edilmiş olan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmaya göre işletmeler küçük ve orta boy işletmeler (KOBİ) ve büyük işletmeler diye sınıflandırılır. KOBİ olarak sınıflandırılan işletmelerde kendi içinde mikro (1-9 istihdam), küçük (10-49 istihdam) ve orta (50-249 istihdam) boy işletme olarak üç alt bölüme ayrılırlar. 250 ve üzerinde olanlar ise büyük ölçekli işletmeler olarak sınıflandırılırlar. Ülke ekonomileri içinde KOBİ'ler oran olarak büyük kısmı oluştururlar. Bu oran yaklaşık olarak Dünya genelinde % 90-95'tir. Ülkemizde faaliyet gösteren işletmelerin ise %99.89'u KOBİ kapsamındadır. KOBİ'ler kendi içinde oransal olarak incelendiğinde ise KOBİ kapsamına giren tüm işletmelerin de %95.1'i mikro ölçekli işletmelerdir (Özdemir vd., 2007). Bu kadar yaygın olan mikro ölçekli işletmeler, sosyal ve ekonomik yönleri nedeni ile ülke ekonomileri için önemlidirler. Ülkemizde mikro ölçekli işletmelerin yaygın olarak bulunduğu sektörlerden biri de Mobilya sektörüdür. 2002 genel sanayi ve işyeri sayımı sonuçlarına göre Mobilya sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin % 96'si mikro ölçekli işletme tanımı içinde yer almaktadır.

Mobilya imalatı yapılan işletmelerde geleneksel olarak masif ahşap kullanılmasına karşın günümüzde orman kaynaklarındaki azalmaya bağlı olarak ve masif malzemelerin sahip olduğu bazı olumsuzluklar nedeni ile ahşap esaslı malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler, mobilya imalatı yapımında kesme, biçme, delme ve zımparalama gibi işlemler uygulanarak son ürüne dönüştürülür, ancak bu işlemlerin uygulanması sırasında istenmeyen bir yan ürün olarak tozda üretilmektedir. Kullanılan malzemeye bağlı olarak ortaya çıkan tozlar, çalışan ve işyeri güvenliği açısından önemlidir. Oluşan tozların çalışanlarca teneffüs edilmesi çalışan sağlığı için bir risk iken; tozun iş atmosferinde belirli bir yoğunluk oluşturacak kadar birikmesi ve diğer gerekli şartların da oluşması ile toz patlamalarının yaşanması işyeri güvenliği açısından önemlidir. Malzemelerin işlenmesi sırasında oluşan bu tozlar yönetilebilir ve hem sağlık hem de işyeri güvenliği açısından oluşturdukları tehlike önlenabilir. Ancak bunun için gerekli donanım ve yönetimin bir maliyeti vardır. Bu maliyetlerin büyük ölçekli

işletmelerce karşılanabilmesi mümkün olabilirken, mikro ölçekli işletmelerin kaynak, işgücü ve tozun bir risk unsuru olarak görülmesi açılarından yetersizlikleri vardır.

Üretim sırasında oluşan tozun çalışan sağlığı üzerindeki etkileri yaygın olarak çalışılmış ve bilinmektedir. Tozun solunması, üst solum yolu rahatsızlıklarına neden olabilirken teması alerjik rahatsızlıklara neden olabilmektedir. Tozun işyeri atmosferinde birikmesi ve diğer dört faktörün bir arada bulunması sonucu ortaya çıkabilecek olan toz patlamaları ise çalışan ve işyeri güvenliği ile ilgilidir. Tozun bu yönü ile bilinirliği ülkemizde yetersizdir. Amerika, Almanya gibi bazı ülkelerde toz patlamaları ile ilgili istatistikler mevcuttur. Ülkemizde patlamalar ile ilgili iş kazalarında patlama türü ayrımı yapılmadığı için toz patlaması sonucu oluşan kaza ve bu kazalara maruz kalan çalışan istatistikleri mevcut değildir (Layık, 2016). Mobilya imalatı sırasında masif ahşap ya da ahşap esaslı levhaların işlenmesi sırasında oluşan tozlarda yanıcı özellik gösterirler ve uygun şartların oluşması ile patlama ile de sonuçlanabilir. Ahşap esaslı tozların patlaması için tozun kendisi dâhil beş faktörün bir araya gelmesi gerekir. Ülkemizde mobilya imalatı yapan işletmelerin büyük çoğunluğunun mikro ölçekli olması ve bu ölçek kapsamındaki işletmelerde iş sağlığı ve güvenliği konularındaki eksiklikler göz önüne alındığında toz patlama risk faktörlerinin incelenmesinin önemli olduğu söylenebilir. Bu faktörlerin bir araya gelmesi ve patlamanın gerçekleşmesi, farklı risk analizi yöntemleri ile incelenebilir ve bu analiz sonuçlarına göre önleyici tedbirler alınabilir.

Ülkemiz mobilya sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin ölçek dağılımı, üretimlerinde kullandıkları malzeme ve oluşan tozun yönetimi beraber değerlendirildiğinde bu tez çalışmasının amacı, mobilya imalatı yapan mikro ölçekli işletmelerde odun tozu patlama riskinin araştırılmasıdır. Bu amaçla  işletme ziyaret edilerek gözlemlenmiş ve odun tozu patlamasına neden olabilecek risk unsurları açısından değerlendirilmiştir.

Çalışma, girişi takiben kavramsal ereve içinde toz, mobilya sektöründe toz ve risk değerlendirme yöntemlerinin anlatıldığı kısmı içermiştir. Daha sonra çalışma materyali ve kullanılan yöntem anlatılmıştır. nc bölümde, yapılan çalışmalar ve elde edilen bulgular anlatılmıştır. Bulguları tartışma kısmı takip etmiştir. Sonuç ve öneriler kısmı çalışmanın son bölümünü oluşturmuştur.

1.1. Odun Tozu Patlamaları İle İlgili Literatür

Odun tozu üzerine yapılan araştırmalar incelendiğinde, özellikle toz patlamaları konusundaki çalışmaların sınırlı olduğu gözlemlenmektedir. Literatürde, odun tozu hem

iş sağlığı ve güvenliği açısından çalışanları tehdit eden hem de endüstriyel kazalara neden olabilecek önemli bir risk faktörü olarak ele alınmaktadır.

Bozkurt ve Bozkurt (1979) tarafından gerçekleştirilen çalışma, ağaç işleme endüstrilerinde odun tozunun sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, odun tozunun deri tahrişinden burun kanserine kadar geniş bir sağlık sorunları yelpazesine yol açabileceği belirtilmiştir. Bu bulgular, odun tozuna maruziyetin ciddi bir mesleki sağlık riski oluşturduğunu ortaya koymaktadır (Bozkurt ve Bozkurt, 1979).

Abbasi ve Abbasi (2007), toz patlamalarının endüstriyel işletmelerdeki en ciddi ve yaygın tehlikelerden biri olduğunu vurgulamıştır. Araştırmalarında, toz patlamalarının neden olduğu mali kayıplar, personel yaralanmaları ve can kayıplarını detaylı şekilde analiz etmiş ve havalandırma sistemleri gibi önleme yöntemlerinin önemine dikkat çekmişlerdir (Abbasi ve Abbasi, 2007).

Osman ve Pala (2009), Bursa ilinde mobilya sektöründe çalışan işçilerin odun tozuna maruziyetini araştırmıştır. Toplam 656 kişinin dahil edildiği çalışmada, işçilerin %53,7'sinin burun tıkanıklığı, %43,0'ünün göz kızarıklığı gibi semptomlar yaşadığı ve işyerindeki ortalama toz konsantrasyonunun $2,04 \pm 1,53 \text{ mg/m}^3$ olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, odun tozunun solunum fonksiyonları üzerinde olumsuz etkiler yarattığını göstermektedir (Osman ve Pala, 2009).

Jacobsen vd. (2010) tarafından yürütülen araştırma, taze odun tozu maruziyetinin astım, bronşit ve kronik akciğer fonksiyonu bozuklukları gibi solunum yolu hastalıkları ile ilişkilendirilebileceğini ortaya koymuştur. Çalışma, odun tozuna bağlı mesleki hastalıklar konusundaki literatüre önemli katkılar sunmaktadır (Jacobsen vd., 2010).

Yan ve Yu (2012), Çin'deki endüstriyel toz patlamalarını analiz ederek, bu kazaların %39'unun un ve yem, %15'inin plastik, %14'ünün kimya ve %10'unun metal endüstrilerinde meydana geldiğini raporlamışlardır. Çalışma ayrıca statik elektrik, kıvılcım ve yüksek sıcaklık gibi yaygın tutuşma kaynaklarına dikkat çekmiştir (Yan ve Yu, 2012).

Bu alandaki önemli çalışmalardan biri Tankut vd. (2014) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, odun tozuna ilişkin temel bilgiler sunulmuş ve odun tozunun işçi sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri detaylı şekilde incelenmiştir. Çalışmada ayrıca farklı ağaç tozlarının etkileri, odun tozu ölçüm yöntemleri ve korunma tedbirleri ele alınmıştır. Özellikle düzenli sağlık kontrolleri ve toz ölçümleri gibi organizasyonel tedbirlerle işçilerin daha sağlıklı ve güvenli çalışma ortamlarına kavuşabileceği vurgulanmıştır (Tankut vd., 2014).

Kurban (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, masif mobilya üretimi yapılan işletmelerde işçilerin odun tozu, gürültü ve titreşim gibi çevresel faktörlere maruziyeti detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Çalışma, Bartın ilindeki üç küçük ve orta ölçekli işletmede dört farklı makine ile çalışan işçiler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan dijital gürültü ölçer ve kişisel gravimetrik toz ölçüm cihazlarıyla toplanan veriler, mobilya sektöründe iş sağlığı açısından alınması gereken önlemler için somut bir temel sağlamıştır (Kurban, 2015).

Toz patlamalarına yönelik bir diğer önemli çalışmada, Asana (2015) sanayi kolları bazında risk değerlendirmesi yapmış ve toz patlamalarının en sık ahşap ve gıda sanayisinde meydana geldiğini tespit etmiştir. Bu çalışma, ilgili sektörlerde alınması gereken önlemlerin önemini vurgulamaktadır (Asana, 2015).

Ayrıca, Tureková ve Marková (2020) odun tozlarının tutuşma sıcaklıkları ve yüzey sıcaklıklarına ilişkin bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma, sıcak bir yüzey, bir elektrik bobini ve için için yanan bir sigaranın, odun tozu tabakalarının tutuşma potansiyelini nasıl etkilediğini incelemiştir. Bu bulgular, tutuşma kaynaklarının endüstriyel ortamlarda etkin bir şekilde kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir (Tureková ve Marková, 2020).

Kaya vd. (2020) tarafından ahşap ve mobilya imalatında risk değerlendirmesi yapılmış ve L tipi matris yöntemiyle toplamda 49 farklı risk belirlenmiştir. Bu risklerin 26'sının "Yüksek Risk" kategorisinde yer alması, sektörde ciddi önlemler alınması gerektiğine işaret etmektedir. Çalışmada, risklerin azaltılmasına yönelik somut öneriler de sunulmuştur (Kaya vd., 2020).

Eckhoff ve Li (2021) tarafından yapılan çalışmada, toz patlamasının ne olduğu detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Çalışmada, toz patlamalarına neden olabilecek malzemeler, toz bulutlarının tutuşabilirlik ve patlayabilirlik özelliklerini etkileyen faktörler, havadaki toz bulutlarının yanma mekanizmaları ve toz patlamalarını tetikleyebilen tutuşma kaynakları ele alınmıştır. Ayrıca, birincil ve ikincil toz patlamalarına dair bilgiler verilmiş; toz patlamalarının önlenmesi ve etkilerinin azaltılması için alınabilecek önlemler kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Eckhoff ve Li, 2021).

Zhou vd. (2023) tarafından yapılan son dönemdeki bir çalışmada, yanıcı odun tozu patlamaları ile bu patlamaların çevresel ve sağlık üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Araştırmada, ahşap tozu patlamalarının nedenleri, etkileyen faktörler, mekanizmalar ve modeller incelenmiş; elde edilen bulgular analiz edilerek ahşap işleme endüstrisinde güvenlik prosedürlerinin iyileştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Çalışma,

ahşap tozu patlamalarının neden olduğu çevresel ve sağlık etkilerini azaltmaya yönelik öneriler sunmuştur (Zhou vd., 2023).

Son olarak, odun esaslı levha ürünlerinin ebatlanması sırasında oluşan tozların miktarını inceleyen Gül (2024), 36 küçük ve orta ölçekli mobilya işletmesinde yaptığı çalışmada, makine başında çalışan personelin kişisel solunabilir toz konsantrasyonlarını ölçmüştür. Çalışma sonuçlarına göre, zımparalama makinesinde çalışan personelde ortalama toz konsantrasyonunun $3,69 \text{ mg/m}^3$ ile en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, özellikle zımparalama işleminin toz maruziyetini artırdığını ortaya koymaktadır (Gül, 2024).

1.2. Kavramsal Çerçeve

1.2.1. Toz

Uluslararası Standartlar Organizasyonu'na (ISO 1985) göre, toz, "Çapı $75 \mu\text{m}$ 'den küçük ve havada asılı kalabilen katı parçacıklar" olarak tanımlanmaktadır (ISO, 1985). Abbott'a (1990) göre ise, toz;

Rüzgâr, volkanik patlamalar gibi doğal etkilerle veya insan eliyle ezme, öğütme, delme, parçalama, karıştırma, taşıma, eleme, paketlenme ve süpürme gibi işlemler sonucunda oluşabilen, küçük, kuru ve katı parçacıkların havaya karışabilen her türlü formu.

olarak ifade edilmektedir (Abbott, 1990). Tozla Mücadele Yönetmeliği'ne göre ise, toz, "işyeri ortam havasına yayılan veya yayılma potansiyeli olan parçacıklar" şeklinde tanımlanmıştır (Tozla Mücadele Yönetmeliği, 2013).

Bu tanımlar ışığında toz, genel olarak çapı $100 \mu\text{m}$ 'den küçük, havada asılı kalabilen ve ortam koşullarına bağlı olarak çökebilen parçacıklardır. Tozlar, belirli bir hacimdeki ağırlık (mg/m^3) ve toz sayısı (tane/m^3) cinsinden ölçülür. Sanayide kullanılan tozların % 70'inden fazlası yanıcıdır. Bu da toz işleme ekipmanına sahip sanayi tesislerinin büyük çoğunluğunun toz patlamalarına karşı hassas olduğu anlamına gelir (Vijayaraghavan, 2004).

Toz, büyüklük açısından değerlendirildiğinde, küçük tozların daha büyük toplam yüzey alanına sahip olmaları ve havaya daha hızlı karışabilmeleri nedeniyle kaba tozlardan daha tehlikelidir (Dobashi, 2009). Bu durum, çalışanlar için sağlık riski oluşturur. Özellikle tozun parçacık boyutu $100 \mu\text{m}$ 'den küçük olduğunda, havada asılı kalma ihtimali artar. Bu da çalışanların tozu solumasına ve sağlık sorunlarına neden olur. Ayrıca, işyerindeki yangın veya patlama tehlikeleriyle ilgili riskleri artırabilir (Yuan vd., 2015).

Yanıcı, hatta bazen yanıcı olmayan tozlar dahi büyük patlamalara yol açabilir. 1980-2013 yılları arasında ABD ve Almanya’da meydana gelen toz patlamalarının %20’sinden fazlası ahşap tozlarından kaynaklanmıştır (Eckhoff, 2003). Tozlar kimyasal kökenlerine göre genellikle organik ve inorganik tozlar olmak üzere iki grupta ele alınabilir:

Organik tozlar, doğal kaynaklı organik maddelerin parçalanması veya işlenmesi sırasında açığa çıkan küçük parçacıklar olarak tanımlanabilir. Bu tozlar, bitki ve hayvan kaynaklı maddelerden oluşur ve başlıca bileşenleri arasında selüloz, lignin, proteinler, yağlar ve karbonhidratlar bulunur. Organik tozlar, tarım, ahşap işleme, gıda işleme, tekstil ve kâğıt üretimi gibi çeşitli endüstriyel faaliyetlerde yaygın olarak karşılaşılan bir türdür. Ahşap tozu, tahıl tozu, pamuk tozu ve hayvansal ürünlerden kaynaklanan tozlar, organik tozlara örnektir. Bu tozlar solunduğunda sağlık sorunlarına yol açabilir. Özellikle ince tozlar solunum yollarına derinlemesine nüfuz ederek astım, bronşit, alerjik reaksiyonlar ve organik toksik doz sendromu gibi hastalıklara neden olabilir. Ayrıca, belirli koşullarda patlama riski taşıyan bir ortam yaratabilir; örneğin, havada yeterli miktarda toz biriktiğinde ve kıvılcım gibi bir tetikleyici faktörle temas ettiğinde toz patlamaları meydana gelebilir. Kontrol edilmesi için iyi bir havalandırma sistemi, toz toplama cihazları ve kişisel koruyucu donanımlar bu tozların kontrol edilmesi için kullanılabilir (IARC, 1995).

İnorganik tozlar, mineraller ve metaller gibi inorganik maddelerin işlenmesi veya doğal olarak parçalanması sonucu açığa çıkan küçük parçacıklardan oluşur. Kaya, cam, metal, seramik ve çimento gibi maddelerden gelir ve çoğunlukla madencilik, inşaat, metal işleme, taşlama, dökümcülük ve seramik gibi endüstriyel alanlarda yaygın olarak karşılaşılır. Başlıca inorganik toz türleri arasında silika, asbest, kömür tozu ve metal tozları yer alır. İnorganik tozlar da sağlık açısından ciddi riskler oluşturabilir. Örneğin, silika tozu (kuvars içeren tozlar), uzun süreli maruziyet durumunda silikoz adı verilen bir akciğer hastalığına yol açabilir. Bu tür tozlar çalışma ortamında biriktiğinde sadece solunum sağlığını değil, aynı zamanda patlama riski gibi güvenlik sorunlarını da beraberinde getirir. Çalışma ortamında inorganik tozların kontrolü için etkili havalandırma sistemleri, toz toplama cihazları, kişisel koruyucu donanımlar (maske, solunum cihazları vb.) kullanılmalı ve düzenli ortam ölçümleri yapılmalıdır. Bu önlemler hem işçilerin sağlığını korumada hem de güvenli bir çalışma ortamı sağlamada kritik rol oynar (Akbar-Khanzadeh ve Brillhart, 2002).

Modanlıoğlu (2013), biyolojik etkileri açısından tozları aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır:

- Fibrojenik tozlar: Akciğerlerde fibrozise neden olabilen tozlar.
- Toksik tozlar: Vücuda zararlı kimyasal maddeler içeren tozlar.
- Kanserojen tozlar: Kansere yol açma potansiyeline sahip tozlar.
- Radyoaktif tozlar: Radyasyon yayan ve bu nedenle zararlı olan tozlar.
- Alerjik tozlar: Alerjik reaksiyonlara neden olabilen tozlar.
- İnert tozlar: Vücutta doğrudan biyolojik bir etkiye neden olmayan, zararsız kabul edilen tozlar (Modanlıoğlu, 2013).

1.2.2. Toz Oluşumu

Toz ve gaz emisyonları, sanayi perspektifinden bakıldığında, üretim ve paketleme aşamalarında ortaya çıkmaktadır (Khambekar ve Pittenger, 2013). Eritme fırınları, pota ve tandişlerin ısıtma istasyonları, atomizasyon üniteleri, toz kurutma, sınıflandırma, yükleme ve boşaltma ekipmanları ile paketleme süreçleri, bu emisyonların başlıca kaynakları arasında yer almaktadır (Neikov vd., 2009).

Toz, üretim endüstrisinde metal oksitlerin ve indirgenmiş metallerin öğütülmesi sırasında oluşmaktadır. Metal parçalarının imalatı esnasında, çeşitli metal tozları ve katkı maddeleri karışarak toz meydana getirir. Bu karışımın farklı ekipmanlarda kullanılması, tozun ayrışması ve yoğunlaşması daha fazla toz oluşmasına neden olur. Bu işlemler arasında hazne dolumu, karıştırma, boşaltma ve sıkıştırma yer alır. Ayrıca, toz, özel olarak tasarlanmış ekipmanlar kullanılarak da üretilir. Havada asılı kalan tozun taşınması ve yayılması ise aerodinamik kuvvetler tarafından etkilenmektedir (Khambekar ve Pittenger, 2013).

Mobilya imalatı üretim işletmelerinde toz oluşumu, özellikle ahşap malzemelerin işlenmesi sırasında yaygın bir sorundur. Bu tozlar, ahşap kesme, zımparalama ve frezeleme gibi işlemler sırasında havaya karışır ve iş sağlığı açısından riskler doğurur. Toz oluşumunu etkileyen başlıca faktörler arasında işleme yöntemleri, malzeme türü, ekipman durumu ve hava akışı yer alır. Örneğin, sert ağaçların işlenmesi genellikle daha fazla toz üretirken, körelmiş kesici aletler de daha fazla toz oluşumuna neden olur. Toz yönetimi için etkili önlemler almak önemlidir. İyi bir havalandırma sistemi, yerel emme (vakum) sistemleri ile kullanılarak havadaki toz miktarını azaltabilir. Düzenli temizlik uygulamaları ve çalışanlara verilen eğitimler, toz yönetimi açısından önemlidir (Carton vd., 2002).

1.2.3. Patlama

Patlama ile yangın arasındaki temel fark, bu olayların gerçekleştiği zaman dilimiyle ilgilidir (Crowl, 2010). En önemli fark, enerji salınım hızında yatar. Yangınlarda enerji salınımı, genellikle yavaş ve sürekli bir süreçtir, ancak patlamalarda enerji aniden ve hızla yayılır (Crowl ve Louvar, 2001). Yangınlar, malzemelerin yavaş yanması ile karakterize edilirken, patlamalar ani bir hacim artışı ve büyük miktarda enerjinin hızlı bir şekilde serbest kalmasıyla karakterize edilir.

Patlamalar, çeşitli enerji türlerinin aniden serbest bırakılmasıyla meydana gelebilir ve genellikle büyük bir şiddet ve yıkıcı etki taşırlar. Kimyasal, nükleer veya mekanik enerjinin aniden serbest kalmasıyla oluşabilen patlamalar, doğada volkanik faaliyetler veya kozmik olaylar gibi farklı biçimlerde de kendini gösterebilir (Didari, 1986). Bir yangın patlamaya neden olabileceği gibi, bir patlama da yangına yol açabilir. Ayrıca, ortamda yanıcı gazlar veya sıvılar varsa ikincil patlamalar meydana gelebilir (Crowl, 2010).

Yanıcı toz tehlikesi, özellikle tozun sürekli bir tabaka halinde biriktiği alanlarda ortaya çıkabilir ve bu durum alevin yayılmasını mümkün kılar. Herhangi bir yanıcı toz yangını, çok kolay bir şekilde bir patlamaya dönüşebilir. Ancak patlama, havadaki oksijeni tüketirse, ardından hemen bir yangın oluşması gerekmeyebilir; alternatif olarak, o hacimdeki oksijen içeriği önemli ölçüde azalırsa yangın riski de düşebilir (Tureková ve Marková, 2020).

Patlama tehlikesi, tozların üretildiği, depolandığı veya işlendiği her yerde ve bu malzemelerin havada bir karışım halinde bulunabileceği her durumda vardır. Yanıcı tozlar havada tutuşturulduğunda patlamaya neden olabilecek miktarda mevcutsa, bu karışım "patlayıcı" olarak kabul edilir (Kosinski ve Hoffmann, 2005).

1.2.4. Toz Patlaması

Toz patlaması, havada asılı bulunan yanıcı parçacıkların hızlı yanmasıyla başlar. Havada yanabilen herhangi bir katı madde, parçalanma derecesine bağlı olarak giderek artan bir şiddet ve hızla yanar. Parçacık boyutu ne kadar küçükse yanma o kadar hızlı ve patlayıcı olur. Ancak, parçacıklar çok ince hale geldiğinde birleşme eğilimi gösterir. Eğer tutuşturulan toz bulutu kapalı değilse, sadece bir patlamaya neden olur. Ancak tutuşturulan toz bulutu kısmen bile olsa kapalıysa, yanma ısısı hızlı bir basınç gelişmesine yol açabilir; bu sırada alev, toz bulutu boyunca yayılır ve büyük miktarda ısı ve reaksiyon ürünleri açığa çıkar. Bu olayların hızlı gelişmesi sonucunda bir patlama meydana gelir. Böyle bir patlamanın şiddeti, parçacık boyutuna ek olarak, yanma sonucu açığa çıkan

enerjinin hızı ile kapalı alan derecesi ve ısı kayıpları arasındaki ilişkiye bağlıdır. İstisnai durumlarda, yanma reaksiyonları o kadar hızlı olabilir ki basınç, bulutun kenarından dağılım hızından daha hızlı bir şekilde toz bulutu içinde artarsa, kapalı olmayan bir toz bulutunda bile yıkıcı bir patlama meydana gelebilir (Eckhoff, 2003).

Toz patlaması, çevreye, insanlara, işletmelere ve ülke ekonomisine ciddi zarar verme potansiyeline sahip bir patlama türüdür. Yanma sırasında, toz parçacıklarının çapı küçüldükçe patlama hızı ve şiddeti de artar. Örneğin, küçük bir odun parçası yavaş yavaş yanarken, odun talaş haline getirildiğinde yanma hızı artar. Bunun nedeni, yanıcı odun talaşı ile hava arasındaki temas yüzeyinin genişlemesidir. Talaş halindeki odun parçaları toz haline geldiğinde, uygun koşullar altında yanma hızları daha da artar ve patlama riski yükselir (Asana, 2015).

Toz patlamalarını önlemek, yanıcı tozların olduğu endüstriyel tesislerde oldukça zordur. Kömür, odun, ilaçlar, bazı metaller ve hatta un, nişasta gibi organik maddelerin tozları, uygun koşullar altında patlama riski taşır. Bu tozlar, havadaki yoğunlukları yeterli seviyeye ulaştığında ve bir ateşleyici ile temasında patlayabilir (Abbasi ve Abbasi, 2007).

İmalat sektöründe toz patlamaları, buhar patlamaları gibi en ciddi ve yaygın patlama tehlikeleri arasında yer alır. Bu tür patlamalar, tesislerde ciddi zarara ve üretim kesintisine yol açarak büyük mali kayıplar yaratır. Ayrıca, çalışanların yaralanmalarına ve ölümlerine neden olabilir (Abbasi ve Abbasi, 2007).

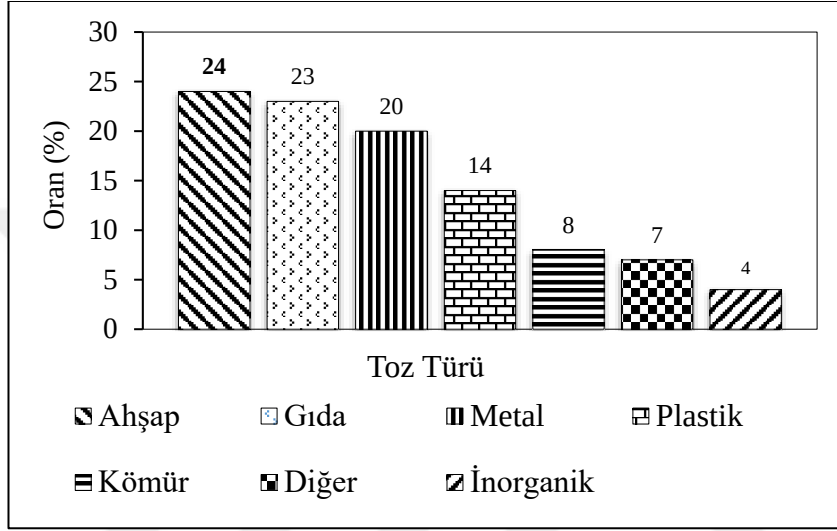
Toz patlamaları genellikle depolama siloları, imalat tesisleri, fabrikalar ve iş yerlerinin kapalı alanlarında meydana gelen birincil patlama ile başlar. Bu patlama, oluşan şok dalgası ile büyük hasara yol açabilir ve çoğu zaman binanın duvarlarını yıkabilir. Patlamadan sonra ortaya çıkan basınç, toz ve gazların çevreye yayılmasına neden olur. Büyük çaplı hasara yol açan toz patlamaları, zincirleme reaksiyonların birbirini tetiklemesiyle gerçekleşir (Prakash vd., 2001).

İkincil patlama, fabrika, tesis veya işletmelerde toza maruz kalmış yüzeylerde biriken toz yığınlarının, birincil patlamadan kaynaklanan şok dalgasıyla havaya karışması ve ardından bu tozların, yine hasar gören ekipmanlardan çıkan alevle tutuşturulması sonucu meydana gelir (Ergun, 2007). İkincil patlamalar, genellikle birincil patlamadan daha büyük hasara yol açar.

Yanma için gerekli olan oksijen yoğunlukla havadan sağlanır. Toz patlaması için gerekli koşul, işlem boyunca yanmayı destekleyecek uygun yoğunlukta toz bulutunun ve uygun bir ateşleme kaynağının aynı anda bulunmasıdır. Uçucu maddelerden oluşan tozlar durumunda, patlama birbirini çok hızlı bir şekilde takip edebilen üç aşamada gerçekleşebilir: Buharlaşıma (uçucuların parçacık tarafından serbest bırakılması veya

parçacıkların buharlaştırılması), yakıtın gaz fazında karışması ve gaz fazının yanması yoluyla açığa çıkar (Proust, 2006).

Şekil 1, Amerika da sanayi tesislerinde meydana gelen toz patlamalarının toz türüne göre dağılımını gösterir. Yanıcı ve yanıcı olmayan tozlar büyük patlamalara neden olabilir. 1980 ile 2013 yılları arasında ABD ve Almanya'da meydana gelen toz patlamalarının % 20'sinden fazlası ahşap, gıda ve metal tozlarından kaynaklanmış, % 14'ü ise plastik tozlarından kaynaklanmıştır. Şekil 1'den Amerika'da meydana gelen toz patlama kaza oranları içinde % 24 ile ahşap tozunun ilk sırada yer aldığı görülür.



Şekil 1. Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleşen toz patlamalarının endüstrilere göre dağılımı (Layık, 2016).

Yaşam standartlarının yükselmesiyle birlikte ahşaba olan talep artış göstermiştir (Estrella vd., 2020). Ancak, ahşabın işlenmesi genellikle kesme, biçme ve zımparalama gibi işlemler ile gerçekleştirilir (Schmidt vd., 2018). Bu işlemler, büyük miktarda yan ürün olarak toz oluşturur ve bu tozlar da ahşap tozu patlamalarına yol açabilir. Polonya'da meydana gelen bir kazada, ahşap tozu patlaması nedeniyle bir prefabrik bir yapının çökmesine neden olmuştur. Ahşap tozunun ilk patlamasının ardından işletme içinde çeşitli yüzeylerde daha önceden çökerek birikmiş odun/ahşap tozu tekrar havaya karışmış ve ikincil bir patlama meydana gelmiştir (Krentowski, 2015).

Toz ve havanın doğru oranda karışarak kapalı bir alanda oluşturduğu yanıcı toz bulutu ateşlendiğinde, hızlı bir şekilde yanma gerçekleşir ve alev bulut boyunca yayılır. Alev yayılma hızı ve kapsamı, tozun niteliği, toz parçacıklarının boyutu ve oluşan yanma yan ürünlerinin niteliği gibi faktörlere bağlıdır. Bir toz patlaması, aynı anda momentum, enerji ve kütle taşınımının gerçekleştiği reaktif çok fazlı bir sistemde meydana gelen karmaşık bir olgudur (Mitchell, 2002).

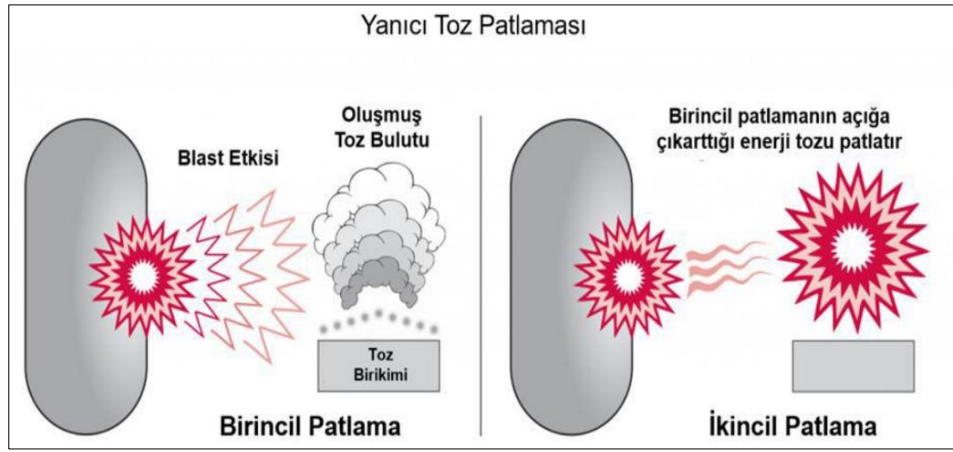
Toz patlaması olgusunu modellemek, toz patlamasının etkilerini değerlendirmek ve önleme ve kontrol stratejileri geliştirmek için toz patlaması mekanizmasının doğru bir şekilde anlaşılması gerekmektedir. Toz patlamalarına neden olabilecek tozun yanma ve patlama parametreleri sabit değildir. Koşullara bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Amyotte, 2013). Toz patlamalarına eğilimli endüstriler şunlardır:

- Ahşap işleme ve depolama,
- Tahıl asansörleri, ambarları ve siloları,
- Un ve yem fabrikaları,
- Alüminyum gibi metallerin üretimi ve depolanması,
- Kimyasal üretim,
- Plastik üretimi,
- Nişasta veya şeker üretimi,
- Baharat, şeker ve kakao üretimi ve depolanması,
- Kömür elleçleme¹ veya işleme alanları,
- İlaç üretim tesisleri.

Yukarıda bahsedilen endüstrilerin tümünde, toz toplama kutuları veya torbaları, raflar, köşeler, yarıklar, ekipmanın içi ve asma tavanların üstü gibi toz birikimine eğilimli alanlar bulunur (Nifuku vd., 2002).

Toz patlamaları i) birincil ve ii) ikincil olarak ikiye ayrılabilir. Birincil toz patlaması, bir kapta, odada veya ekipmanda bir toz bulutu ateşlendiğinde ve patladığında meydana gelir. İkincil patlama ise, birincil patlama ile oluşan basınç dalgası tarafından havaya kaldırılan tozun, daha sonra daha yavaş hareket eden alev önünden ateş alması sonucu gerçekleşir. Toz birikintilerinin kapsamına bağlı olarak, zayıf bir birincil patlama bile çok güçlü ve yıkıcı ikincil toz patlamalarına neden olabilir (Abbasi ve Abbasi, 2007). Birincil ve ikincil toz patlamalarının oluşumu Şekil 2’de gösterilmiştir.

¹Elleçleme, lojistik ve depolama süreçlerinde kullanılan bir terimdir ve malların taşınması, yüklenmesi, boşaltılması, istiflenmesi, ayrılması, paketlenmesi ve benzeri işlemleri kapsar.



Şekil 2. Birincil ve ikincil yanıcı toz patlamalarının oluşumu (URL-1).

i) *Birincil Patlama*: Toz karışımları genellikle yalnızca işlem odaları gibi sınırlı alanlarda oluşur, bu nedenle en yıkıcı toz patlamaları genellikle üretim ekipmanlarının içinde meydana gelir. Öğütücü değirmenler, karıştırıcılar, elek makineleri, kurutucular, siklonlar, hazneler, filtreler, kova tipi elevatörler, silo depoları, aspirasyon sistemleri ve havalı (pnömatik) sistemler bu tür patlamaların görüldüğü yerlerdir. Bu patlamalar literatürde "birincil patlama" olarak adlandırılır ve genellikle bir kaza sonucunda gelişir (Prakash vd., 2001).

Toz patlamaları ile yanıcı gaz patlamaları arasındaki en önemli farklardan biri, gaz patlamalarının genellikle oksijen eksikliği nedeniyle boru sistemlerinde nadiren meydana gelmesidir. Yanıcı ve patlayıcı özellikteki tozlar, işlem ekipmanlarında havada asılı halde bulunur ve patlama koşullarının oluşmasına neden olabilir. Yetersiz basınç tahliye ekipmanları ve havalandırma sistemleri, bu ekipmanların patlamasına yol açabilir.

Birincil patlamalar genellikle siklonlar, depolama siloları veya fabrikaların kapalı bölümleri gibi sınırlı ortamlarda meydana gelir. Patlamanın hemen ardından oluşan şok dalgası ciddi hasarlara yol açabilir, bina duvarlarını yıkabilir ve patlamadan sonra ortaya çıkan toz ve gazların yayılmasına neden olabilir. Büyük çaplı hasara yol açan toz patlamaları genellikle zincirleme reaksiyonlarla gerçekleşir.

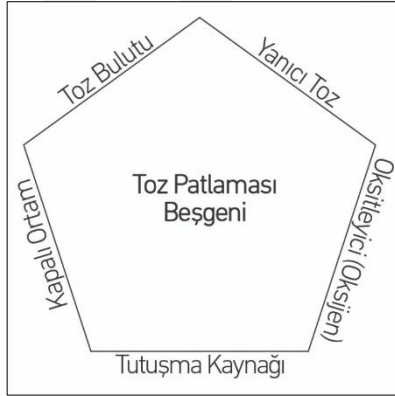
Birincil toz patlamalarının olasılığını tamamen ortadan kaldırmak önemli olmakla birlikte, ilk patlamanın bir dizi diğer patlamayı tetiklemesini, yani domino etkisini engellemek daha da kritiktir. Bunun nedeni, ikincil toz patlamalarının genellikle birincil patlamalara kıyasla daha yıkıcı olmasıdır (Pickup, 2001).

ii) *İkincil Patlama*: Birincil patlama, olayın meydana geldiği yerin yakınlarında biriken toz tabakalarını tekrar havalandırabilir. Bu tozlar, birincil patlamadan kaynaklanan ısının etkisiyle tutuşarak toz patlamaları oluşturabilir. Küçük bir alanda biriken tozlar hareketlenmeye başladığında, tehlikeli toz bulutlarının oluşmasına neden

olabilir (Prakash vd., 2001). Diğer bir ifade ile ikincil patlama, fabrika, tesis ve işletmelerde toza maruz kalmış yüzeylerde birikmiş toz kümelerinin, hasar görmüş ekipman ve muhafazadan çıkan patlama dalgası tarafından havaya kaldırılması ve ardından bu tozların alev almasıyla meydana gelir. Bu tür patlamalar, hasar gören ekipman ve muhafazalardan çıkan alevlerin tozları tutuşturması sonucu ortaya çıkar (Ergun, 2007).

1.2.5. Toz Patlamasını Etkileyen Faktörler

Yangın, yakıt, oksitleyici madde ve tutuşma gibi üç faktörün birleşmesiyle, “yangın üçgeni” olarak adlandırılan durumu oluşturur. Ancak bir toz patlaması için bu üç faktöre ek olarak iki faktör daha gereklidir: Toz bulutu ve kapalı ortam. Bu beş faktörün bir araya gelmesiyle “toz patlaması beşgeni” oluşur (Kauffman, 1982). Bu faktörler Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Toz patlamasına neden olan faktörler (Kauffman, 1982).

Genel olarak bir toz patlamasının meydana gelebilmesi için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekmektedir:

- 1-Yanıcı Özellik: Patlayıcı özellik gösteren kimyasal tozun aynı zamanda yanıcı olması gereklidir.
- 2-Optimum Yoğunluk: Patlayıcı ve yanıcı özellik gösteren kimyasal tozun havada asılı kalabilmesi gerekir.
- 3-Tutuşturucu Kaynak: Havada asılı katı madde, bir tutuşturucu kaynakla temas ettiğinde alev yayılmasını başlatıp sürdürebilmelidir.
- 4-Oksitleyici: Yanıcı ve patlayıcı özellik gösteren tozun askıda bulunduğu havada, yanma olayını kolaylaştıracak yeterli miktarda oksijen bulunmalıdır.
- 5-Sınırlı Hacim: Toz patlamasının meydana gelebilmesi için ortamın kapalı bir alan olması gerekmektedir (Shrey, 2020).

Toz patlamaları, tozların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra çevresel faktörlerden de etkilenir. Bu etmenler şunlardır:

- Parçacık boyutu
- Toz yoğunluğu (konsantrasyonu)
- Oksijen yoğunluğu
- Tutuşma sıcaklığı
- Toz bulutu türbülansı
- Yanıcı gaz varlığı

1.2.5.1. Parçacık Boyutu

Toz patlamalarında parçacık (partikül) boyutu, patlamanın şiddetini ve oluşum hızını önemli ölçüde etkileyen faktörlerden biridir. Küçük parçacıklar genellikle daha büyük parçacıklara göre daha yüksek bir yüzey alanına sahiptir ve bu durum, patlama riski açısından önemlidir.

Birim ağırlığa düşen yüzey alanı arttıkça, patlamanın potansiyel etkileri de artar. Ancak, bazı durumlarda parçacık boyutları çok küçüldüğünde toz parçacıklarının bir araya gelerek öbekleşmesi mümkündür. Bu durumda, patlayıcılık azalır ve toz kümesinin tane boyutu 500 mikronu (μm) geçtiğinde, malzeme tutuşmaz hale gelir. Parçacık yüzey alanındaki değişim, patlayıcılığı doğrusal (lineer) olmayan bir şekilde etkiler; bu etki, toz yoğunluğu ve uçucuların yanma hızıyla ilişkilidir. Parçacık boyutunun toz patlamalarına etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

-Yüzey alanı ve yanma hızı: Daha küçük parçacıklar, büyük parçacıklara kıyasla daha fazla yüzey alanına sahiptir. Bu, oksijen ile daha fazla yüzey teması anlamına gelir ve böylece daha hızlı yanma ve enerji salınımına yol açar. Daha küçük partiküller, patlama şiddetini artırabilir (Khudhur vd., 2021).

-Alev yayılma hızı: Küçük boyutlu tozlar, daha büyük toz parçacıklarına göre daha kolay ve hızlı bir şekilde alev alabilir. Alev yayılma hızı, parçacık boyutuyla doğrudan ilişkilidir. Daha küçük parçacıklar, alevlerin daha hızlı yayılmasını sağlar.

-Alt patlama limiti: Partikül boyutu küçüldükçe, patlama oluşması için gereken minimum toz yoğunluğu da azalır. Bu, küçük parçacıklarla dolu ortamlarda patlama riskinin daha düşük yoğunluklarda bile ortaya çıkabileceği anlamına gelir (Eckhoff, 2009).

-Tozun askıda kalma süresi: Küçük parçacıklar havada daha uzun süre askıda kalabilir, bu da patlama riski süresinin uzaması anlamına gelir. Büyük parçacıklar daha

hızlı yere çökerken, küçük parçacıklar havada daha uzun süre asılı kalabilir ve tutuşmaya daha açık hale gelir (Ebadat, 2010).

-Dağılım ve homojenlik: Küçük parçacıklar daha homojen bir şekilde dağılabilir ve bu da potansiyel patlama için daha tehlikeli bir karışım oluşturabilir.

1.2.5.2. Toz Bulutu Yoğunluğu

Toz bulutlarının patlayabilmesi, belirli yoğunluk (konsantrasyon) aralıklarına bağlıdır. Bu yoğunluklar genellikle şu şekildedir: En düşük yoğunluk, 50-100 g/m³ arası; Maksimum yoğunluk, 2-3 kg/m³ arasındır.

En düşük yoğunluk limiti, minimum yakıt parçacığı miktarına göre belirlenirken, toz yoğunluğunun azalması tutuşma enerjisinde bir artışa yol açmaktadır. Patlama riskini belirleyen maksimum yoğunluk limitleri ise patlamanın sürdürülebilmesi için ihtiyaç duyulan minimum oksijen miktarına bağlı olarak saptanmaktadır (Hertzberg vd., 1988).

Toz yoğunluğu, bir toz patlamasının gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini ve patlamanın şiddetini etkileyen temel faktörlerden biridir. Doğru yoğunluk aralığında, patlamalar meydana gelebilir ve patlamanın şiddeti de bu yoğunluk seviyesine bağlı olarak değişir. Toz yoğunluğunun patlamalara etkisine bakıldığında her tozun bir alt patlama sınırı ve üst patlama sınırı vardır. Bu sınırlar, patlamanın meydana gelebileceği minimum ve maksimum toz yoğunluklarını ifade eder. Toz yoğunluğu, alt patlama seviyenin altında olduğunda, yakıt eksikliği nedeniyle patlama meydana gelmez. Toz yoğunluğu, üst patlama seviyenin üzerinde olduğunda, yakıt fazlalığı ve oksijen eksikliği nedeniyle patlama oluşmaz. Toz patlamasının meydana gelebilmesi için bu iki sınır arasında, olması gerekir. Odun tozu için alt patlama sınırı yaklaşık 40-50 g/m³, üst patlama sınırı ise 2-3 kg/m³ arasında değişir. Bu aralıklarda patlama riski en yüksek düzeyde olabilir (Amyotte, 2013).

1.2.5.3. Oksijen Yoğunluğu

Toz patlama beşgeninin bir kenarını oluşturan oksitleyici genellikle havadaki oksijendir. Oksijen yoğunluğu, patlama sürecinin yayılmasını etkiler. Oksijen yoğunluğu % 21'in üzerinde olduğunda, yakıtın yanma hızı artar; ancak % 21'in altına düştüğünde, yanma hızı azalır. Bu durum, yanma sürecinde oksijenin tükenmesiyle ilgilidir. Oksijen yoğunluğu düştüğünde, tozların yanması zamanla azalır ve sonunda sönümlenir, bu da patlamanın gerçekleşme olasılığını düşürür. Yangının devam edebilmesi için oksijen yoğunluğunun % 10'un üzerinde olması gerekmektedir (Ogle, 2016).

1.2.5.4. Tutuşma Sıcaklığı

Tutuşabilen bir toz ve hava karışımı, ısıtıldığında belirli bir sıcaklıkta alev alabilir. Bu tür bir tutuşma olayının gerçekleştiği en düşük sıcaklığa minimum tutuşma sıcaklığı (MTS) denir. MTS, toz bulutundaki nem ve diğer inert maddelerin varlığıyla artabilir. Ancak, parçacık boyutunun küçülmesi, uçucu maddelerin artması, oksijen yoğunluğu ve toz katmanının kalınlığı minimum tutuşma sıcaklığını düşürebilir. Tutuşma kaynaklarının ve patlama önleme sistemlerinin tasarımı için minimum tutuşma sıcaklığının ölçülmesi önemlidir. Genel olarak, %30-90 arası nem içeren havada bulunan tipik tozların tutuşma sıcaklıkları şu şekildedir: Buğday unu, 410 - 430°C; Mısır nişastası, 410 - 450°C; Çavdar tozu, 430 - 500°C ve Odun tozu, 190-250°C.

Tahıl ve un tozları, genellikle 400-500°C arasında bir sıcaklığa maruz kalan yüzeylere püskürtüldüğünde tutuşabilir. Uygun koşullar sağlandığında, yaklaşık 200°C sıcaklık bile tozun tutuşmasına ve potansiyel olarak patlamaya neden olabilir (Hertzberg vd., 1988).

1.2.5.5. Toz Bulutu Türbülansı

Toz bulutlarını oluşturan parçacıkların üç boyutlu düzlemde rastgele hareketleri türbülans oluşturur. Bu türbülans içinde dağılmış olan tozlar, toz bulutu ateş aldığı anda bir tür çalkantı etkisi yaratır. Yanmamış veya yanan parçalar, soğuk parçalarla karışarak yeni yanmaya uygun alanlar oluşturur. Kısacası, bir kıvılcım toz bulutunda ateş aldıktan sonra, bu türbülansa giren bulutta şiddetli bir patlama gerçekleşir.

Türbülansın endüstriyel işlemlerden (proseslerden) kaynaklanan iki türü vardır:

Birincil Türbülans: Üretim operasyonları sırasında oluşan türbülans olarak bilinir. Bu türbülans, hava jetleri, karıştırıcılar, filtre çuvaları, havalı (pnömatik) taşıma boruları ve kova asansörleri gibi ekipmanlarda meydana gelir.

İkincil Türbülans: Toz bulutu tutuşturulduktan sonra yanma süreci sırasında ortaya çıkar. Bu, tutuştuktan sonra henüz yanmamış tozların patlama sırasında hareket etmesidir. Bu akışın hızı ve şekli, türbülansın şiddetini belirler. Örneğin, kova asansörlerindeki havalandırma delikleri ve kovayı andıran yapılar, türbülans oluşumunu güçlendirir ve kıvılcımın başlattığı türbülans zamanla büyür.

Yanma hızı ve toz patlamalarıyla ilgili diğer kimyasal reaksiyonların belirlenmesinde, yanma hızı ve türbülans gibi hayati önem taşıyan parametreler, toz patlaması modellerinin oluşturulmasında kritik faktörlerdir (Tamanini, 1998).

1.2.5.6. Yanıcı Gazların Varlığı

Tozun içinde yanıcı bir gaz bulunması durumunda, tozun patlayıcılığı artar. Bu durumda, minimum patlayıcı yoğunluk, minimum ateşleme sıcaklığı ve minimum ateşleme enerjisi azalırken, maksimum basınç artış hızı da artar. Dolayısıyla, yanıcı gaz, tozun normal düşük patlayıcı sınırının altındaki yoğunlukta ve gazın normal düşük patlayıcı sınırının altındaki yoğunlukta bile tozu patlayıcı hale getirebilir (Abbasi ve Abbasi, 2007).

Yanıcı gazların varlığı, toz patlamalarının riskini artıran ve patlama dinamiklerini değiştiren önemli bir faktördür. Yanıcı gazların ve tozların bir arada bulunması, potansiyel patlamanın şiddetini büyük ölçüde artırabilir ve patlama mekanizmasını daha karmaşık hale getirebilir. Yanıcı gazlar, tozun tutuşma sürecini hızlandırabilir ve patlama oluşumunu kolaylaştırabilir. Bu tür patlamalarda, gaz ve toz karışımının eşzamanlı olarak yanması, patlamanın şiddetini ciddi şekilde artırır. Ayrıca, yanıcı gazların varlığı toz patlaması sırasında serbest kalan enerjiyi artırır. Gaz ve toz birlikte yandığında, ortaya çıkan patlamanın basıncı daha yüksek olur ve daha büyük bir tahribat yaratır. Örneğin, metan gazı ve kömür tozu karışımıyla oluşan patlamalar, sadece kömür tozu patlamalarına kıyasla daha yüksek basınç üretir. Yanıcı gazlar, tozun tutuşma sıcaklığını düşürebilir. Normalde yüksek tutuşma sıcaklığına sahip bazı tozlar, yanıcı bir gaz varlığında çok daha düşük sıcaklıklarda tutuşabilir. Bu da patlamanın gerçekleşme olasılığını artırır (Bartknecht, 1981).

1.2.5.7. Tutuşma Kaynakları

Toz patlamasını tetikleyebilecek birçok tutuşma kaynağı bulunmaktadır (Eckhoff, 2000). Bu tutuşma kaynakları, sıcaklık, enerji ve güç açısından farklılık göstermektedir. Tozlar hem düşük enerji hem de yüksek enerji ateşleme kaynaklarıyla tutuşabilir. Bunlar arasında, tesis içinde meydana gelebilecek ateşleme kaynakları özellikle önemlidir. Belli başlı tutuşma kaynakları aşağıdaki gibi sıralanabilirler:

- 1-Alevler ve doğrudan ısı;
- 2-Sıcak iş,
- 3-Kızgın malzeme,
- 4-Sıcak yüzeyler,
- 5-Elektrostatik kıvılcımlar,
- 6-Elektrik kıvılcımları,
- 7-Sürtünme kıvılcımları,
- 8-Darbe kıvılcımları,

- 9-Statik elektrik,
- 10-Yıldırım ve şok dalgaları.

1. Alevler ve Doğrudan Isı

Kendiliğinden ısınma veya tutuşma, genellikle ekzotermal reaksiyonlardan kaynaklanır. Oksidasyon, su veya odun gibi malzemelerle etkileşim sonucu oluşabilir ve reaksiyonlar sıcaklık arttıkça hızlanır. Bazı durumlarda, bir katalizörün oluşması veya inhibitörün yok olması oto-katalitik reaksiyonları tetikleyebilir. Bu süreç genellikle yavaş başlar, ancak fark edilmeden devam edip kritik bir noktada ciddi tehlikelere yol açabilir. Bu nedenle, sistemlerin sürekli izlenmesi ve önleyici tedbirler alınması hayati önem taşır. Tozun kendiliğinden ısınma eğilimi eleme testleriyle belirlenmeli ve işlem sırasında sıcaklık kontrol edilmelidir. Yığın halindeki tozun depolanması, geniş yüzey alanı ve yeterli hava sirkülasyonu nedeniyle riski artırır. Özellikle sıcak tozun bir kurutucudan boşaltılması sırasında kaza olasılığı yüksektir. Bu nedenle, tozun depolama öncesinde soğutulması güvenlik açısından kritik bir adımdır (Taveau, 2012).

2. Sıcak İş

Kaynak yapma ve kesme gibi işlemler sırasında üretilen aşırı ısı, özellikle de yakınlarda düşük ateşleme eşiğine sahip (100–200 °C) bir toz bulunduğunda, başka bir belirgin tetikleyicidir. Bu tehlikenin farkına varılmadığı için kazalar sıkça meydana gelir (Skjerven, 2024).

3. Kızgın Malzeme

Kızgın parçacıklar veya diğer kızgın malzemeler, toz taşıma ekipmanında bir toz patlamasını tetikleyebilir. Patlama daha sonra kanallar ve bağlı kaplar aracılığıyla yayılabilir. Doğrudan ateşleme sistemleri, kızgın parçacıkların potansiyel kaynaklarıdır. Doğrudan ateşli kurutucularda, hava girişi, bu tür kızgın malzemenin girmesini önlemek için ince bir ekranla korunmalıdır (Bartknecht, 1988).

4. Sıcak Yüzeyler

Buhar borusu veya elektrik lambası gibi sıcak yüzeylere sahip ekipmanlar veya aşırı ısınmış hareketli ekipmanlar (örneğin, arızalı yatak) bu tetikleyici kategorisine girer. Bir toz tabakasının ateşlenmesine neden olabilecek yüzey sıcaklığı genellikle 100-200 °C aralığındadır. Tabakanın kalınlığı arttıkça, ateşleme sıcaklığı bu aralığın alt sınırına daha yakın bir değere kayar. Tozla ilgili kazaların araştırmalarından elde edilen bulgular,

ateşlemelerin beklenmedik derecede düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğini sıkça ortaya koymaktadır. Bir toz, kendi ateşlemesine katkıda bulunabilir. Tozlar ısıyı iletme konusunda zayıf olduklarından, Makine üzerindeki bir toz tabakası, atmosfere ısı kaybını önleyebilir ve böylece toz yığınının altındaki sıcaklığı ateşleme noktasına kadar yükseltebilir. Kızgın veya yanıcı bir tabaka, ya doğrudan bir toz bulutu için bir ateşleme kaynağı olarak ya da birikintilerden koparak yanıcı malzeme "yuvaları" oluşturarak başka bir bölgede bir toz bulutunu ateşleyebilir (Gummer ve Lunn, 2003).

Tozlar sıcak yüzeylerde biriktiğinde, yanmadan önce farklı ve karmaşık aşamalardan geçebilirler. Bazı tozlar, alevle ya da kor yanmasıyla doğrudan katı fazda yanarken, diğerleri sıvı olarak eriyip yanar. Bazı tozlar, büyük miktarlarda yanıcı gazlar yayabilir. Farklı tozların ürettiği alevlerin boyutları da değişiklik göstermektedir.

5. Elektrostatik Kıvılcımlar

Elektrik ekipmanından kaynaklanan elektrostatik deşarj, toz patlaması riski açısından oldukça tehlikelidir çünkü bu deşarj, havada asılı bulunan toz bulutlarını ateşleyebilir. Elektrik ekipmanlarında veya iş yerlerinde, özellikle kuru koşullarda, elektrostatik yük birikebilir. Bu yük, yeterince büyük bir elektriksel gerilim biriktiğinde bir kıvılcım oluşturabilir. Bu kıvılcım, etrafındaki patlayıcı toz ortamını ateşleyebilir ve sonuçta bir toz patlamasına yol açabilir (Ebadat, 2010).

6. Elektrik Kıvılcımları

Elektrik kıvılcımları, anahtarlar ve röleler gibi normal işletim sırasında ve arızalı elektrik ekipmanlarında meydana gelir. Elektrik kıvılcımlarına karşı korunmak için tehlikeli alanların sınıflandırılması ve güvence altına alınması gereklidir. Özellikle, alev geçirmez ekipman kullanılmalı ve tozların girmesine izin verilmemelidir. Tozları tamamen dışlayan "toz geçirmez" ekipman ile yalnızca önemsiz bir miktarda toz girmesine izin veren "toz korumalı" ekipman arasında bir ayrım yapılabilir (Field, 2012).

7. Sürtünme Kıvılcımları

Sürtünme kıvılcımları, bir katı malzemenin diğerine sürtünmesi veya öğütme sırasında meydana gelebilir. Toz, ekipmanı tıkayarak aşırı yüklenmeye yol açabilir ve bu da kıvılcım oluşumuna neden olabilir. Sürtünme kıvılcımlarını önlemek için toz akışının kontrol edilmesi ve makine aşırı yüklenme koruma sistemlerinin kurulması gerekir. Yabancı nesnelerin çıkarılması, özellikle malzeme bir değirmenden geçerken, manyetik veya pnömatik ayırma yöntemleriyle gerçekleştirilmelidir. Sürtünmeden kaynaklanan ısı

artışı, tozun sıcaklığını da artırabilir. Toz, sürükleyici konveyörlerden geçirilirken bir miktar ısınır; karıştırma işlemleri de benzer şekilde ısı üretir. Ancak, daha ciddi sürtünme kaynaklı ısı artışı, karıştırıcıların kesme hareketi nedeniyle yerel alanlarda sıcak noktalar oluştuğunda meydana gelebilir (Rogers vd., 2006).

8. Darbe Kıvılcımları

Elde tutulan aletler, ateşleyici darbe kıvılcımlarına neden olabilir; ancak tek darbe ile ateşleme olaylarına dair çok az kanıt bulunmaktadır. Metal bir aletin metal bir yüzeye çarpması gibi bir darbenin ateşleyici potansiyeli, o yüzeyin ısınmasından kaynaklanır. Ateşleme kaynağı kıvılcımın kendisi değil, ısınan yüzeydir ve ısı, metal yüzeyden toza transfer edilir (Wingerden, 2019).

9. Statik Elektrik

Statik elektrik, bir nesne hızla bir alandan dışarıya veya içerisine hareket ettiğinde kıvılcım oluşturabilir. Statik elektrik, malzemeden daha çok süreçten etkilenir. Eleme ve dökme işlemlerinde yükler düşükken, boyut küçültme işlemlerinde çok daha yüksektir. Belirli türde toz işleme tesislerinde statik elektrik kolayca üretilir. Bunlar arasında değirmenler, konveyör bantlar ve pnömatik taşıma sistemleri bulunur. Sıvılarda olduğu gibi, statik yük büyük bir depolama merkezinde birikebilir. Bu yük, topraklanmış bir prob aracılığıyla deşarj edilebilir. Ancak tozlarla ilgili benzersiz bir tehlike de yüksek yüklenmiş malzemenin topraklanmış bir kaplama duvarına kaymasıdır. Statik elektrik tarafından bir toz bulutunun ateşlenmesi, parçacık boyutu dağılımı ve ateşleme enerjisinin uygulama süresi ile oranından önemli ölçüde etkilenir (Khudhur vd., 2021).

10. Yıldırım ve Şok Dalgaları

Yıldırım, toz patlamalarını başlatabilir. Toz patlaması olaylarının kayıtlarında, tam tetikleyici genellikle ya gözden kaçırıldığı ya da kesin olarak bilinmediği için belirtilmez. Ancak tetikleyicilerin net bir şekilde tanımlandığı kazalar, kaynak yapma ve kesme, ateş, sürtünme, elektrik kıvılcımları ve şimşek gibi durumların toz patlamalarının başlıca nedenleri arasında olduğunu ortaya koymaktadır (Ebadat, 2010).

1.2.6. Toz Patlamalarının Önlenmesi

Ahşap tozları, işçilerin sağlık ve güvenliği açısından ciddi sorunlara neden olabilir ve ekipman ile binalar için yangın ve patlama riskleri oluşturur. Bu nedenle, ahşap işleme

endüstrilerinde ahşap tozu patlama kazalarını azaltmak veya ortadan kaldırmak için yöntemler geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Yanıcı tozları ve tozları içeren süreçlerde toz patlaması riskini önlemek oldukça zordur. Önleme ve koruma yöntemleri, bu risklerle başa çıkmak için iki ana yaklaşımı ifade eder. *Önleme yöntemleri*, patlama koşullarının oluşumunu tamamen engellemeyi; *koruma yöntemleri*, bir patlama meydana geldiğinde etkilerini minimize etmeyi amaçlar (Holbrow vd., 2000). Toz patlamalarını önlemeye yönelik bazı yapısal olmayan tedbirler şunlardır:

1-İkame malzemeler: Üretim süreçlerinde, yanıcı ve patlayıcı özelliklere sahip tozlar yerine, bu özelliklere sahip olmayan alternatif tozların kullanılması. Bu değişiklik, patlama riskini önemli ölçüde azaltabilir.

2-Toz yoğunluğu: Üretim süreçlerinde kullanılan tozun yoğunluğunun, patlayıcı toz/hava karışımı oluşturmayacak kadar düşük seviyelerde tutulması, patlama riskini minimize eden etkili bir önlemdir.

3-Oksijen kontrolü: Patlama sonrasında yanmayı sürdürebilecek seviyede oksijen yoğunluğunun oluşumunu engellemek, patlama riskini azaltmak için kritik bir adımdır. Oksijen seviyelerinin kontrol altında tutulması, patlama olasılığını önemli ölçüde düşürebilir.

4-Ateşleyici kaynaklar: Patlamaya neden olabilecek etkin ateşleyici kaynakları, tozların bulunduğu alanlardan uzak tutmak. Bu, olası patlamaların önlenmesine yardımcı olabilir (Lees, 2012).

Bu tedbirler, toz patlamalarının önlenmesi ve güvenli bir çalışma ortamının sağlanması için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, alınması gereken diğer önlemler Tablo 1'de açıklandığı gibidir.

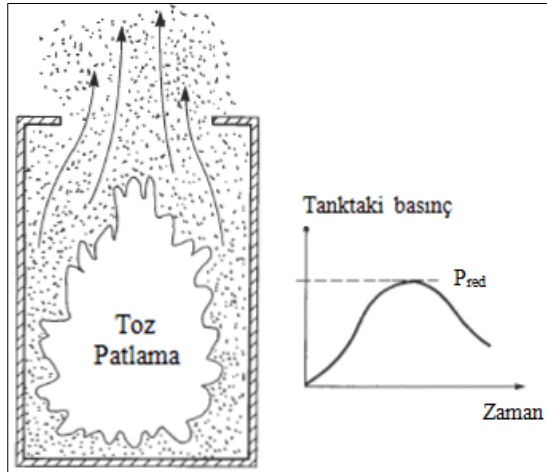
Tablo 1. Toz patlamalarına karşı uygulanacak önlemler (Amyotte, 2013).

Yöntem	Tanımı
Minimize etme	Yüksek toz konsantrasyonunun oluşumunun kaçınılmaz olduğu durumlarda, patlama riskini azaltmak için tek seferde daha az miktarda madde işlemek tercih edilmelidir. Bu yaklaşım, hem toz birikimini sınırlayarak patlama tehlikesini azaltır hem de işleme sırasında oluşabilecek potansiyel riskleri daha kontrol edilebilir hale getirir.
Yerine koyma	Tehlikeli maddeyi daha az tehlikeli bir maddeyle değiştirmek veya bu maddeyi süreçten tamamen çıkarmak, riskleri azaltmanın etkili bir yoludur. Bu yaklaşım, güvenliği artırarak hem patlama hem de diğer tehlikeli durumların oluşma olasılığını önemli ölçüde düşürür.
Uyumlaştırma	Tehlike oluşturabilecek tozun, mümkün olduğunca en az tehlikeli formda kullanılması, risklerin azaltılmasında önemli bir stratejidir. Bu, patlama riskini ve diğer olası tehlikeleri en aza indirmeye yardımcı olur.
Basitleştirme	Tasarım aşamasında, prosesi ve buna bağlı prosedürleri tehlikeyi azaltmak amacıyla mümkün olduğunca basit hale getirmek, güvenliği artırmanın etkili bir yoludur. Bu sayede, sistemin karmaşıklığı ve dolayısıyla hata veya tehlike olasılığı en aza indirgenir.

Patlamanın önlenmesi için çeşitli tedbirler alınmış olsa da, patlama gerçekleşebilir. Patlama durumunda ortaya çıkabilecek zararları hafifletmek amacıyla aşağıdaki aksiyonlar alınabilir (Amyotte vd., 2005).

1-Patlama dirençli tasarım: Endüstriyel işletmeler kurulurken, patlamaya dayanıklı bir tasarım yapılması patlamaların neden olabileceği zararları kontrol altına alabilir. Büyük tesislerin kurulum aşamasında bu tür bir tasarımı pratiğe dökmek zorlu olabilir, ancak ekipman bazında bu tasarımlar uygulanabilir (Abbasi ve Abbasi, 2007). Patlamaya dayanıklı tasarımların uygulanmasının bazı dezavantajları da vardır. Bunlar arasında yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve yapıların ağırlığının yük oluşturması sayılabilir. Burada bahsedilen patlamaya dayanıklı tasarımlar, yüksek basınçla dayanıklı tasarımlardır. Bu tür tasarımların Avrupa Standardı (EN) 14460 ve Amerika Makine Mühendisleri Birliği (ASME) standartlarına göre yapılması uygun olacaktır (Eckhoff, 2003).

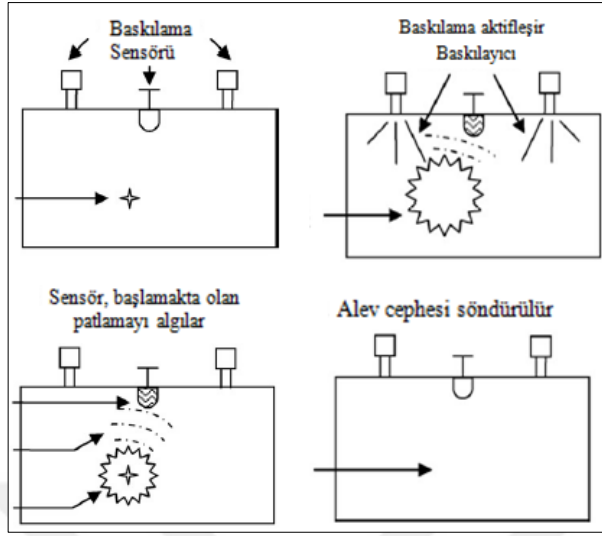
2. Havalandırma ile patlamanın giderilmesi: Patlamanın etkilerini havalandırma sistemleri aracılığıyla azaltmak ve kontrol altına almak mümkün olabilmektedir. Risklerin azaltılmasında en önemli faktörlerden biri, patlama riski taşıyan uygulamalarda tesisteki tüm birim ve bağlantılarda uygun havalandırmanın sağlanmasıdır. Şekil 3'te, patlama havalandırmasının temel prensibi gösterilmektedir. Kap içindeki basıncın, patlama sırasında belirli bir seviyeye ulaştığında açılmak üzere tasarlanmış kapaklar ile kontrol edildiği bir sistem bulunmaktadır.



Şekil 3. Patlama havalandırması (Eckhoff, 2003).

3. Baskılama yöntemi ile patlamanın bastırılması: Patlama sırasında oluşan basıncı sınırlamak için baskılama sistemlerinin kullanılmasıdır. Patlamalar meydana gelmeden önce, ölçülebilir bir süre zarfında patlama noktasına ulaşabilirler. Bu süreçte, olası patlamanın öncü belirtileri bir algılayıcı yardımıyla belirlenebilir ve buna bağlı olarak

söndürücüler faaliyete geçirilebilir. Böylece patlamanın büyümesi engellenmiş olur. Bu baskılama prensibinin çalışma mekanizması Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Baskılama yönteminin çalışma prensibi (Lees, 2012).

Bu sistemler, alev topunu fazla büyümeden söndürdüğü için patlamanın meydana geldiği kabın yırtılmasını önler. Bu yöntem sayesinde alevler ortadan kaldırılır ve sonrasında meydana gelebilecek yangınlar önlenir. Ayrıca, zehirli ve aşındırıcı (korozyif) malzemelerin açığa çıkma olasılığı azalır. Ancak, bu sistemler havalandırma sistemlerine göre daha maliyetlidir ve düzenli bakım gerektirir. Ayrıca, bazı metal tozları, asetilen ve hidrojen gibi maddeler için uygulanabilirliği sınırlı olabilir.

4. Patlama yalıtımı: Patlama etkilerinin çevreye yayılmasını önlemek için özel yalıtım yöntemlerinin uygulanmasıdır. Patlama yalıtımının amacı, birincil patlamaların ardından patlamanın doğrudan veya dolaylı olarak diğer alanlara yayılmasını engellemek ve böylece ikincil patlamaların gerçekleşmesini önlemektir. Ani sistem durdurma sistemlerinde, proseslerin gerçekleştiği tankların bağlantı borularına valfler yerleştirilir. Bu valfler, patlama algılama için yerleştirilmiş basınç algılayıcıları tarafından aktive edilebilir (Abbasi ve Abbasi, 2007). Patlamalar, kimyasal madde salınımı veya sadece mekanik yöntemlerle izole edilebilir.

Toz patlamalarının tehlikesini ve yıkıcı gücünü azaltmak amacıyla, yanıcı tozların inertleştirilmesi ve bastırılması konusundaki çalışmalar bulunmaktadır. Temel teknik yöntemler arasında inert tozların, su buharının eklenmesi ve reaksiyon sistemindeki oksijen konsantrasyonunun azaltılması bulunmaktadır (Lebecki vd., 1995). Su buharı, patlama alevinin hızını ve sıcaklığını, maksimum patlama basıncını ve basınç artış hızını etkili bir şekilde azaltabilir. Su buharı püskürtülmeden önce, toz parçacıkları eşit olarak dağılır. Su buharının etkisi altında, toz dağılımının homojenliği azalır ve akış alanındaki

girdaplar belirgin şekilde artar (You vd., 2011). Patlama sistemine inert gaz¹ enjekte etmek de bastırma rolü oynayabilir. Ar ve N₂ ile karşılaştırıldığında, düşük magnezyum tozu konsantrasyonlarında CO₂'nin daha büyük bir inertleştirme etkisi vardır ve N₂ ile CO₂'nin sınırlayıcı oksijen konsantrasyon değerleri, Ar'dan daha yüksektir (Li vd., 2009). N₂ veya CO₂'nin itici güç olarak kullanıldığı durumlarda, iki sıvılı su buharı sistemi, tek sıvılı buhara göre daha etkili bir bastırma sağlamaktadır. Tozları bastırma teknolojisi, çeşitli yanıcı toz patlamalarını bastırmada etkili olduğunu kanıtlamıştır (Chen vd., 2017).

1.3. Mobilya İmalatında Toz Oluşumu ve Toz Patlamaları

1.3.1. Mobilya Sektörü

Orman ürünleri sektörü hem dünyada hem de ülkemizde hızla gelişmekte ve buna bağlı olarak mobilya ve levha gibi birçok farklı alanda yeni malzemeler üretilmeye başlanmıştır. Son yıllarda, orman ürünleri sektöründe meydana gelen iş kazaları ve sağlık risklerine yönelik araştırmaların artması, alınan önlemlerle birlikte yeni iş güvenliği düzenlemelerinin de ortaya çıkmasına neden olmuştur (Kaygın ve Yıldız, 2017). Mobilya sektörü, İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun işyeri tehlike sınıflandırmasına göre "Tehlikeli" sınıfta yer almakta olup, mobilya boyama, vernikleme ve cilalama gibi tamamlayıcı işlemler "Çok Tehlikeli" sınıfta değerlendirilmektedir (Resmî Gazete, Sayı: 30318).

Mobilya imalatı, Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği kapsamında "C İmalat" kategorisinde yer almakta olup, bu kategori NACE kodu ile tanımlanmaktadır. Mobilya imalatı faaliyetleri, farklı özelliklere sahip ahşap malzemelerin şekillendirilmesi ve işlenmesi ile sandalye, koltuk gibi ürünlerin döşeme işlemlerini kapsamaktadır. Genel olarak bu faaliyetler "tehlikeli" sınıf altında değerlendirilmekte olup, iş sağlığı ve güvenliği açısından çeşitli riskler içermektedir. Özellikle, mobilya üretim süreçlerinin önemli bir parçası olan boyahanelerde gerçekleştirilen işlemler, 31.09.01 alt kodu ile tanımlanmakta ve bu süreçlerde "mobilyaların boyanması, verniklenmesi, cilalanması ve benzeri tamamlayıcı işlerin yapılması" gibi faaliyetler "çok tehlikeli" sınıfa girmektedir. Bu durum, söz konusu boyahanelerde kullanılan kimyasal maddelerin, örneğin boya ve tiner gibi, yüksek yanıcılık ve patlayıcılık potansiyeline sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, bu tür faaliyetlerin gerçekleştirildiği iş yerlerinde iş sağlığı ve güvenliği açısından özel

¹ Kimyasal olarak çok az tepki veren, reaktifliği son derece düşük olan gazlara verilen isimdir.

önlemler alınması gerekmektedir. Mobilya imalatı sektöründeki işletmelerin, çalışanların güvenliğini sağlamak amacıyla tehlike sınıflarını dikkate alarak sistematik risk değerlendirmeleri yapmaları ve bu doğrultuda gerekli önlemleri almaları büyük önem taşımaktadır. Özellikle "çok tehlikeli" sınıfa dahil edilen faaliyetler için özel eğitimlerin verilmesi ve güvenlik protokollerinin etkin bir şekilde uygulanması, iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır ((Resmi Gazete, Sayı:28509).

Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) yaptığı araştırmalara göre, işletmeler büyüdükçe kaza sayısı azalmakta; buna karşın, küçük ve orta ölçekli işletmelerde kaza oranları daha yüksek seyretmektedir. Özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler, işyeri sağlığı ve güvenliği konusunda çalışanların yasal haklarını genellikle işletme sorumluluğu olarak görmek yerine, manevi bir konu olarak değerlendirmektedir. Bu yaklaşım, işyerindeki çalışanların güvenliği ve sağlığının yeterince dikkate alınmamasına yol açmaktadır. Gelişmiş ve az gelişmiş ülkelerde, genellikle mobilyacılık sektöründe faaliyet gösteren firmalar küçük ölçekli olmaktadır.

Çakar vd. (2009), yapılan iş esasına göre ağaç işleri sektörünü aşağıdaki gibi sınıflandırmışlardır:

1-Kereste Atölyeleri: Tomrukların biçilerek kereste haline getirildiği atölyelerdir. Bu atölyelerde tomruk testereleri ve biçme işleri yapılmaktadır.

2-Mobilya Atölyeleri: Mobilyaların üretildiği atölyelerdir. Buralarda şerit testere, daire testere, planya, bant zımpara, freze, kalınlık makinesi, bantlama makinesi, kaplama kesme makinesi, masifleme makinesi, kaplama dikiş makinesi gibi çeşitli el aletleri kullanılmaktadır.

3-Boyahaneler: Mobilya atölyelerinden gelen mobilyaların boya ve cila işlerinin yapıldığı yerlerdir. Kullanılan hammaddeler arasında çeşitli boyalar, vernik, lak, dolgu maddeleri, organik çözücüler ve tiner bulunmaktadır.

4-Döşeme Atölyeleri: Boyahaneden gelen mobilyaların döşeme işlerinin yapıldığı yerlerdir. Bu atölyelerde çeşitli döşemelik kumaş, sünger, tutkal gibi malzemeler kullanılmaktadır. Döşeme işleri genellikle kompresör yardımıyla kullanılan hava tabancası ile zımbalama yapılarak gerçekleştirilir. Ayrıca, değişik büyüklükte dikiş makineleri de bulunmaktadır (Çakar vd., 2009).

Türkiye’de mobilya sanayi, yapısal ve fiziksel koşullar bakımından iş kazaları ve meslek hastalıkları riski açısından öncelikli ele alınması gereken sektörlerden biridir. Sektördeki işletmelerin %99,4’ü 10’dan az çalışanı olan çok küçük (mikro) ölçekli firmalardan oluşmaktadır. Ayrıca, bu sektörde çalışan işçilerin %58,5’i mesleki eğitim

almamış ve yalnızca ilkokul mezunudur. Bu koşullar, iş kazaları ve meslek hastalıklarının ortaya çıkma riskini artırmaktadır. (Atılğan vd., 2015).

Mobilya endüstrisinde yüksek miktarda toza maruz kalma durumları şu şekillerde ortaya çıkmaktadır:

- Makine operasyonları, özellikle testere, delme ve şekillendirme işlemleri.
- Zımparalama hem makineyle hem de elle yapılan işlemler.
- Yüzey işlemleri öncesinde hava kompresörü kullanılarak tozların uzaklaştırılması.
- Zımparalama malzemelerinin elle değiştirilmesi.
- Kompozit levhaların (örneğin; MDF) işlenmesi.
- Toz toplama bölmelerinden çıkan tozların torbalanması veya temizlenmesi.
- Genel ortam veya makine temizliği sırasında basınçlı hava kullanımı.

1.3.2. Sektörde Kullanılan Makineler

Mobilya imalatı sırasında kullanılan makineler aşağıdaki gibi ele alınabilir:

1.3.2.1. Rendeleme Makineleri

Rendeleme makineleri, ahşap işleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ve iş parçalarının yüzeylerini pürüzsüz hale getirmek üzere tasarlanmış önemli ekipmanlardır. Bu makineler, ahşap yüzeyleri düzleştirmenin yanı sıra, iki komşu yüzeyi birbirine dik açıyla veya belirlenen başka bir açıyla işleme yeteneğine sahiptir. Genellikle, ahşap parçalarının doğru ölçülerde ve düzgün yüzeyli olması gerektiğinde tercih edilirler. Bu makinelerde doğru kesici aletlerin kullanımı ve düzenli bakımı, iş güvenliği açısından kritik önem taşır. Ayrıca, operatörlerin makineleri kullanırken uygun güvenlik ekipmanlarını giymeleri ve makinelerin koruma mekanizmalarını aktif tutmaları olası kazaların önlenmesinde önemli bir rol oynar. (Ulusoy vd., 2018). Rendeleme işleminde yüksek hızda çalışan bıçaklar kullanıldığı için oldukça fazla miktarda ince toz ve talaş oluşur. Özellikle kuru ahşap kesilmesi sırasında oluşan toz boyutu daha küçük olur. Rendeleme makinesi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Rendeleme makinesi

1.3.2.2. Freze Makineleri

Şaküllü (Dikey) freze makinesi, üst freze makinesinin alt freze makinesinden en belirgin farkı, motor ve kesici takımın tablanın üst kısmında yer alarak dikey doğrultuda çalışmasıdır. Bu özellik, makinenin özellikle karmaşık ve hassas yüzey işleme görevlerinde tercih edilmesine olanak tanır. Şaküllü freze makineleri, alt freze makinelerinde yapılan kenar frezeleme işlemlerinin yanı sıra, detaylı yüzey oymaları ve şekillendirme işlemlerinde kullanılır. Özellikle ahşap işleme ve mobilya üretiminde, yüzeylere dekoratif detaylar eklemek veya karmaşık yüzey geometrileri oluşturmak için idealdir (Afyonlu, 1981). Şaküllü freze makinesi Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Şaküllü freze makinesi

1.3.2.3. Daire Testere Makinesi

Daire testere makinesi, rendelenmiş (yüzeyleri düzeltilmiş) iş parçalarının boy, genişlik ve kalınlıklarını istenilen ölçü ve açılarda kesmek için kullanılan en önemli ahşap işleme makinelerindendir. Bu makineler, genellikle hassas ve temiz kesim gerektiren projelerde tercih edilir. Daire testereler, ahşap tablaların ölçülendirilmesi, lamba, kuniş,

kanal ve zıvana açma gibi çok yönlü işlemleri gerçekleştirebilir, böylece tek bir makineyle farklı işlevleri yerine getirerek iş akışını hızlandırır.

Ahşap işleme sürecinde yüksek hassasiyet ve verimlilik sunan bu makineler, projelerde kesme ve şekillendirme gereksinimlerini bir arada karşılayarak üretim sürecine katkı sağlar. Güçlü motorları, kesim sırasında titreşimi en aza indirerek düzgün yüzeyler elde etmeyi kolaylaştırır. Ayrıca, farklı bıçak türleri ve hız ayarlarıyla çeşitli ağaç türleri ve kalınlıklarına uyum sağlar. Ancak, bu makinelerin güvenli kullanımı büyük önem taşır; operatörlerin uygun güvenlik ekipmanlarıyla çalışması, bıçak koruma aparatlarını doğru şekilde kullanması ve düzenli bakım yapılması olası kazaların önlenmesinde kritik rol oynar. Daire testere makinesi Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Daire testere makinesi

1.3.2.4. Şerit Testere Makinesi

Şerit testere makinesi, kalas ve ahşap parçalarının boy, genişlik ve kalınlıklarını istenilen ölçülerde kesmek için kullanılan temel ağaç işleme makinelerinden biridir. Yalnızca düz kesimler için değil, aynı zamanda eğimli ve kavisli şekilli parçaların kesiminde ve zıvana açma işlemlerinde de tercih edilir. Şerit testerenin ince ve esnek bıçağı, karmaşık ve hassas kesimlerin yapılmasına olanak tanıyarak ahşap işleme projelerinde büyük esneklik sağlar. Şerit testere makinesi Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Şerit testere makinesi

1.3.2.5. Pres Makinesi

Pres makineleri, ahşap parçalarının güçlü ve dayanıklı bir şekilde birleştirilmesini sağlamak amacıyla, yüzeyler arasındaki temas kuvvetini artırarak tutkalın eşit şekilde dağılmasını ve hızlı kurummasını sağlar. Çalışması sırasında toz oluşumuna sebep olmaz ancak geniş yüzeyi işletmede oluşan tozların üzerinde birikmesine imkân sağlar. Bu yönü ile toz patlamalarının ikinci evresinde rol oynayabilir. Pres makinesi Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Pres makinesi

1.3.2.6. Torna Makinesi

Ahşap torna makinesi, ahşap parçalara silindirik, konik veya çeşitli dairesel şekiller vermek için kullanılan temel ağaç işleme makinelerinden biridir. Bu makine, ahşap parçalarını döndürerek üzerinde kesme, biçimlendirme ve detay işleme işlemlerini gerçekleştirir. Bu özellik, farklı şekil ve boyutlarda ürünler üretmeyi mümkün kılar, böylece tasarımcılar ve üreticiler geniş bir yelpazede yaratıcılıklarını sergileyebilirler.

Ahşap torna makineleri, özellikle mobilya üretimi ve dekoratif ahşap işlerinde yaygın olarak kullanılmakta olup, masa ayakları, süs eşyaları, kaplama elemanları ve daha birçok özel ürünün imalatında kritik bir rol oynamaktadır. Bu makineler hem amatör hem de profesyonel ahşap işçileri tarafından tercih edilir ve kullanımı oldukça yaygındır. Torna makinesi Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. Torna makinesi

1.3.2.7. Bant Zımpara Makinesi

Bant zımpara makinesi, genellikle geniş düzlem yüzeyli tablaların pürüzsüzleştirilmesi ve perdah edilmesinde kullanılır. Bu makine, zımpara bantlarının sürekli bir hareketle yüzeylere uyguladığı abrasif kuvvet sayesinde, ahşap yüzeyleri hızlı ve etkili bir şekilde düzleştirir. Özellikle büyük yüzeylerde zaman ve iş gücü tasarrufu sağlarken, yüzeydeki düzensizlikleri ve kusurları giderir, böylece yüksek kaliteli bir son işleme sağlar (Afyonlu, 1981). Zımpara makineleri toz patlamalarının bileşenlerinden olan tozun kendisini oluşturma da en önemli olandır. Özellikle ince toz oluşumuna neden olur. Bant zımpara makinesi Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Bant zımpara makinesi

1.3.3. Masif Ahşap Tozu

Ahşap malzeme, yanma sırasında 170°C’ye kadar kurumaya devam eder; 270°C’ye ulaşana kadar su buharı, CO ve CO₂ gazları çıkışı olur. 250-300°C arası ise tutuşma ile yanma başlar (Peker ve Atılgan, 2015). Odun tozunun tutuşma sıcaklığı hava basıncı, odun tozunun rutubeti ve toz parçacık büyüklüğüne bağlı olarak 420°C ile 530°C arasında değişkenlik gösterir (Martinka vd., 2015). Vandlíčková vd. (2020)’da tutuşma sıcaklığının ağaç türüne göre de farklılık gösterdiğini rapor ederler (Vandlíčková vd., 2020).

Ahşap, yenilenebilir bir malzeme olması ve farklı kimyasal, biyolojik, fiziksel ve mekanik özellikleri nedeniyle insan yaşamında her zaman büyük bir öneme sahiptir (Kminiak vd., 2020). Doğadan nihai kullanımına dönüşümünde, olası tehlikeleri anlayabilmek için bilinmesi gereken birçok işlemden geçmektedir. Ahşabın zımparalanması gibi mekanik işlemler, ürün imalatının temel bir parçasıdır ve bu süreçte büyük miktarda toz üretilmekte ve çalışma alanlarındaki zeminlere, duvarlara ve yüzeylere birikmektedir (Pedzik vd., 2021).

Ahşap tozu, ahşap ve ahşap esaslı panellerin işlenmesi sırasında (kesme, zımparalama, yonga ve pul yapma gibi işlemler) ortaya çıkan en yaygın atıklardan biridir. Bu toz, kolayca yangınlara ve patlamalara sebep olabilir. Özellikle ince ahşap tozu, havada asılı kaldığında solunma riski taşıyarak işçilerin solunum sistemine zarar verebilir. Bunun yanı sıra, ahşap tozu ile havanın karışımı, patlama riski oluşturur. Dünya genelinde meydana gelen ahşap tozu patlamaları, ekipmanlar ve binalar üzerinde büyük tahribata yol açmakta, çevreye zarar vermekte ve ne yazık ki insan ölümlerine sebep olarak ciddi sağlık tehditleri oluşturmaktadır (Soleimani vd., 2024). Ahşap tozu, yanıcı özellikleri nedeniyle önemli bir patlama riskine sahip bir toz türüdür. Bu risk, ahşap işleme, taşıma ve depolama süreçlerinde belirgin bir şekilde ortaya çıkabilir. Ahşap tozunun patlama potansiyeli, ekipmanlara, çevreye ve insan sağlığına ciddi zararlar verebilir. Patlamalar hem maddi hasara neden olabilir hem de insan hayatını tehdit edebilir. Patlama riskini etkileyen faktörlerden biri, tozların fiziksel özellikleridir. Özellikle toz parçacıklarının boyutu ve şekli, toz bulutlarının patlama özelliklerini belirlemede kritik rol oynar. Daha ince ve homojen toz parçacıkları, havada daha uzun süre asılı kalabilir ve bu durum, patlama riskini artırabilir (Cashdollar, 2000). Ayrıca, toz parçacıklarının şekli ve dağılımı, patlama enerjisinin yoğunluğunu ve yayılma hızını etkileyebilir, bu da güvenlik önlemlerinin ve yönetim stratejilerinin önemini vurgular.

Ahşap tozu, ahşap, sunta ve fiber levha gibi ahşap içeren malzemelerin işlenmesi sırasında oluşur. Ahşap tozu, sert ağaç (yaprak döken) veya yumuşak ağaç (çoğunlukla iğne yapraklı) türlerinden elde edilen kerestenin işlenmesinden kaynaklanabilir. Hem sert ağaç hem de yumuşak ağaç tozu, solunum yolu hassasiyetine ve dermatite neden olabilirken, sert ağaç tozu ayrıca sinüs kanserine yol açabilir (Kauppinen vd., 2006).

Toz patlaması kazaları dünya genelinde sıklıkla meydana gelmektedir ve ağır can ve mal kaybına yol açmaktadır. Ahşap tozu genellikle doğal ahşap işleme sürecinde oluşan atık kalıntılardan türetilir ve inşaat malzemeleri, kimya sanayi, tarım, hayvancılık ve enerji üretimi gibi birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılır. Ancak, ahşap tozu üretim ve kullanım sırasında kolayca birikir ve yayılır ve işleme genellikle kesme ve

cilalama gibi yüksek riskli işlemlerle birlikte yapılır, bu da ahşap tozu patlama kazalarına neden olabilir. Son araştırmalar, ahşap tozu bulutlarının patlama tehlikesinin, tozun nemi, türü, parçacık boyutu, konsantrasyonu ve hava nemi gibi çeşitli faktörlerle ilişkili olduğunu göstermiştir (Dudarski vd., 2015). Fırınlanmış ahşap malzemeden oluşan toz, daha yüksek maksimum patlama basıncı ile tutuşmaya daha duyarlıdır ve alev yayılma hızı, işlenmemiş örnekten daha yüksektir (Medina vd., 2015). Parçacık boyutuna göre, küçük parçacıklı ahşap tozunun patlama riski, büyük parçacıklı tozdan daha yüksektir (Min vd., 2016). Daha büyük parçacıklara kıyasla, küçük toz örnekleri havada uzun süre asılı kalma eğilimindedir ve bu da patlama tetikleme eğilimini artırır (Mračková ve Tureková, 2016). Ahşap tozunun 58 µm ortalama parçacık boyutuna sahip olanının maksimum patlama basıncı, 276 µm ahşap unu ile kıyaslandığında sadece biraz daha yüksek olmasına rağmen, birincisinin maksimum basınç artış hızı, ikincisinin üç katıdır. Ahşap tozu ayrıca ekipman yüzeyinde birikir ve toz tabakası oluşturur. Toz tabakasının minimum tutuşma sıcaklığı, kalınlığın artmasıyla azalır (Kuracina vd., 2017).

Talaş, testere talaşı, kıymık ve toz gibi odun parçacıklarının fiziksel ve mekanik özellikleri (boyut, şekil, tane iriliği, homojenlik ve miktar) çok önemlidir. Bu özelliklerin bilinmesi, yalnızca yan ürün kullanımı açısından değil, aynı zamanda kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrisinde ve yonga ile lif levha üretiminde kalite standartlarının karşılanması için de gereklidir (Medved ve Resnik, 2007).

Odun parçacıklarının boyutu, şekli ve diğer fiziksel özellikleri, konveyör ve egzoz sistemleri, yığın malzeme depolama, atölye tasarımı (toz çökmesi açısından) ile filtreleme/havalandırma sistemlerinin tasarımında da belirleyici rol oynar (Dolny vd., 2013).

Kesici geometrisi kesin olarak tanımlanmış bir aletle yapılan ahşap işleme, aletin hareketi ve kesme modeli sayesinde, talaşın şekli ve boyutunun oldukça doğru bir şekilde belirlenmesini mümkün kılar. Böylece, kinematik parametrelerin doğru seçimiyle talaşın boyutu ve şekli üzerinde etkili olunabilir. Ancak, kesme anında oluşan talaşlar, elde edilen yüksek hız nedeniyle (kinetik ve potansiyel enerji kazanımı sonucunda) gerçekte daha küçük parçalara ayrılır. Bu durum, parçacıkların sistemin duvarlarına çarpması ve birbirleriyle temas etmesiyle sonuçlanır. Ayrıca, karmaşık kesici başlığa sahip bir aletin kullanılması da talaş oluşumunu etkiler; çok sayıda kesici kama ve açısının varlığı, farklı boyut ve şekillerde parçacıkların oluşmasına yol açar (Dzurenda vd., 2010).

Kesici geometrisi ve alet hareketi tam olarak tanımlanmamış bir aletle (örneğin zımparalama işlemi) gerçekleştirilen ahşap işleme sırasında ise ortaya çıkan parçacıkların boyutunu ve şeklini kesin olarak belirlemek mümkün değildir. Ahşap talaşı oluşumu,

malzemenin özelliklerine göre değişiklik gösterir; doğal ahşap, fiziksel ve mekanik özellikleri, nem içeriği ve kesme yönüne bağlı olarak farklı ağaç türlerinden etkilenirken, MDF gibi homojen malzemeler veya her tabakası farklı parçacıklar içeren yonga levhaları gibi aglomere malzemelerde de benzer etkiler gözlemlenir.

1.3.4. Orta Yoğunlukta Lif Levha (MDF) Tozu

MDF (orta yoğunlukta lif levha) tozu, belirli koşullar altında patlama riski taşıyan bir materyal olarak dikkat çekmektedir. MDF, ahşap liflerinin, yapıştırıcıların ve çeşitli katkı maddelerinin yüksek basınç altında sıkıştırılmasıyla üretilir; bu süreçte oluşan ince toz partikülleri, havada asılı kalma özelliği sayesinde patlayıcı bir ortam yaratma potansiyeline sahiptir. Özellikle, bu tozların havada belirli bir konsantrasyona ulaşması, patlayıcı bir karışım meydana getirirken, uygun bir ateşleme kaynağının (örneğin, kıvılcım, alev veya yüksek sıcaklık) varlığı, bu karışımın patlamasına yol açabilir. MDF tozunun statik elektrik birikimine neden olabilmesi de önemli bir risk faktörüdür. İşleme sırasında, kesme ve zımparalama gibi işlemler, toz bulutunun oluşturulmasına ve statik elektriğin birikmesine zemin hazırlar. Bu statik yük, toz bulutunu ateşleyebilecek kıvılcımların ortaya çıkmasına neden olabilir. Ayrıca, MDF işleme tesislerinde, tozun birikimi genellikle kapalı alanlarda gerçekleşir ve bu da patlama riskini artırır. Havalandırmanın yetersiz olduğu veya tozun yoğun bir şekilde biriktiği alanlarda, iş sağlığı ve güvenliği açısından tehlikeli bir durum ortaya çıkabilir. MDF'nin işleme süreçleri, kesme, zımparalama ve taşlama gibi aktiviteleri içerdiği için, bu aşamalarda üretilen toz miktarı da önemli ölçüde artmaktadır. Dolayısıyla, toz kontrol önlemleri alınmadığı takdirde, iş yerlerinde patlama riski ciddi bir endişe kaynağı haline gelir. Bu bağlamda, MDF işleme tesislerinde etkili bir toz kontrol stratejisinin uygulanması, tozun havalandırılması ve düzenli temizlik yapılması gerekmektedir. Ayrıca, çalışanların bu riskler konusunda bilgilendirilmesi ve yangın güvenliği önlemlerinin etkin bir şekilde uygulanması, potansiyel tehlikelerin azaltılması için kritik öneme sahiptir. Sonuç olarak, MDF tozunun patlama riski, uygun güvenlik önlemleri alınmadığında ciddi sonuçlar doğurabileceğinden, mobilya imalatı sektöründe titizlikle ele alınması gereken bir konudur (Guo vd., 2019).

Mobilya fabrikalarında MDF kesimi sırasında ortaya çıkan havadaki toz konsantrasyonları, güvenlik sınırlarını aşarak işçiler için önemli bir sağlık riski teşkil etmektedir. Bu durum, özellikle etkili havalandırma sistemlerinin eksik olduğu alanlarda daha belirgin bir hale gelmektedir. Kullanılan ahşap işleme makineleri, örneğin dairesel testere ve kesme makineleri, havada bulunan toz parçacıklarının özellikleri üzerinde

önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca, hava ortamındaki toz parçacıklarının boyutları ve konsantrasyonları arasında yüksek bir değişkenlik gözlemlenmiştir. İnce toz parçacıklarının solunum sistemine derinlemesine nüfuz etme olasılığı, işçilerin sağlık risklerini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu ince toz parçacıkları genellikle 10 mikrometreden daha küçük boyutlardadır, bu da onların solunum yollarında derinlere kadar ulaşma kapasitesini artırmaktadır (Teixeira vd., 2017).

MDF'nin işlenmesi sırasında dikkat edilmesi gereken bazı önemli noktalar şunlardır:

-Toz Emisyonu: MDF işleme süreçlerinde, özellikle kesim ve şekillendirme sırasında, yüksek miktarda toz emisyonu gerçekleşmektedir. Bu toz, hem işçi sağlığını tehdit eden bir unsur hem de çevresel bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

-Parçacık Boyut Dağılımı: Çalışmada, işleme sırasında oluşan toz parçacıklarının boyutlarının önemli bir değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir. İnce toz parçacıkları, solunum yollarına daha derinlemesine nüfuz etme kapasitesine sahip olup, sağlık risklerini artırmaktadır.

-Formaldehit Konsantrasyonu: MDF işleme sırasında, formaldehit gibi zararlı kimyasalların konsantrasyonlarının arttığı gözlemlenmiştir. Formaldehit, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan bir madde olduğundan, maruziyetinin azaltılması kritik öneme sahiptir.

-İş Sağlığı ve Güvenliği Önlemleri: Çalışma, MDF'nin işlenmesi sırasında ortaya çıkan tehlikelerin, iş sağlığı ve güvenliği standartlarının gözden geçirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu, etkili toz kontrol sistemlerinin ve uygun havalandırma çözümlerinin uygulanmasını gerektirmektedir (Chung vd., 2000).

Orta Yoğunluklu Lif Levha (MDF) üretim süreçlerinde açığa çıkan toz, ahşap endüstrisinde önemli bir mesleki tehlike olarak değerlendirilmektedir ve sağlık riskleri bakımından incelenmesi gereken kritik bir unsurdur. Araştırmalar, MDF toz partiküllerinin çoğunlukla 100 µm'den küçük olduğunu ve özellikle 10 µm'den küçük parçacıkların yüksek bir oranda bulunduğunu göstermektedir. Bu boyut aralığındaki toz partikülleri, solunum yollarına derinlemesine nüfuz edebilme kapasitesine sahip olduğundan, uzun vadede işçilerin solunum sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratma potansiyeline sahiptir (Cui vd., 2022).

MDF'nin işlenmesi sırasında toz oluşumu, kullanılan işleme yöntemine göre değişkenlik göstermektedir. Zımparalama işlemi, doğal ahşaplara kıyasla daha fazla toz oluşturarak iş sağlığı riskini artırmaktadır; kesme işlemlerinde ise doğal ahşapla benzer miktarda toz emisyonu meydana gelmektedir. İşlem esnasında ayrıca formaldehit

emisyonları da ortaya çıkmaktadır; ancak bu emisyonların nispeten düşük seviyelerde kaldığı ve genellikle yasal güvenlik sınırları içerisinde olduğu bildirilmiştir. Ek olarak, izosiyanat bazlı reçinelerle üretilen MDF levhalardan kaynaklanan tozda, izosiyanat ölçümleri yapılmış ancak kayda değer bir miktara rastlanmamıştır. Bu durum, izosiyanat bazlı levhaların sağlık riski bakımından bazı avantajlara sahip olduğunu düşündürmektedir (Chung vd., 2000).

MDF işleme tesislerinde doğal havalandırmanın genellikle yetersiz kalması, etkili toz yönetimini zorunlu hale getirmektedir (Kic ve Müller, 2018). Yetersiz havalandırma, işçilerin toza bağlı kronik solunum sorunları yaşama riskini artırdığı için, bu tesislerde yüksek kapasiteli filtre sistemleri ve uygun havalandırma çözümlerinin uygulanması gerekmektedir. Bununla birlikte, MDF tozunun bertaraf edilmesine yönelik sürdürülebilir yöntemler de araştırılmaktadır. Örneğin, MDF tozundan gazlaştırma yoluyla elektrik enerjisi üretilmesi gibi yenilikçi yaklaşımlar, atık bertaraf maliyetlerini azaltma ve çevresel etkileri en aza indirme potansiyeline sahiptir (Williams vd., 2003).

1.3.5. Mobilya Atölyelerinde Toz Patlamasına Neden Olabilecek Faktörler

Mobilya atölyelerinde kullanılan malzemeler ve üretim süreçleri, ahşap tozu gibi yanıcı maddelerin oluşmasına ve birikmesine yol açabilir. Bu tür ortamlarda güvenlik önlemlerinin alınmaması, ciddi patlama risklerine neden olabilir. Küçük bir mobilya atölyesinde toz patlaması riskini artıran başlıca faktörler:

-Ahşap Tozunun Yüksek Konsantrasyonu: İnce ahşap tozları havada asılı kaldığında patlayıcı bir karışım oluşturur. Özellikle kapalı alanlarda, yüksek yoğunluklu toz, küçük bir kıvılcımla bile büyük bir patlamaya sebep olabilir.

-Yetersiz Havalandırma: Atölyede etkili bir havalandırma sistemi bulunmaması, ahşap tozunun iş atmosferinde birikmesine ve havada uzun süre asılı kalmasına yol açar. Bu durum, patlayıcı karışımın oluşmasını kolaylaştırır ve risk faktörünü artırır.

-Açık Ateş veya Kıvılcımlar: Sigara içmek, kaynak yapmak ya da elektrikli cihazların kıvılcım oluşturması, havada bulunan yanıcı ahşap tozunu tutuşturabilir. Bu durum, ani ve şiddetli bir patlamaya neden olabilir.

-Statik Elektrik: Toz toplama sistemleri ya da çalışan makineler, kuru ortamlarda statik elektrik birikmesine yol açabilir. Statik birikim yeterince yükseldiğinde bir kıvılcım oluşturabilir ve bu, patlamayı tetikleyebilir.

-Yetersiz Toz Toplama Sistemleri: Verimli çalışmayan veya düzenli bakımı yapılmayan toz toplama sistemleri, ahşap tozunun birikmesine neden olur. Bu da havada patlayıcı toz bulutlarının oluşmasına sebep olur.

-Isınan Ekipmanlar: Taşlama makineleri, motorlar ve kompresörler gibi ekipmanlar aşırı ısınabilir. Bu durumda, sıcak yüzeylerin ahşap tozu ile temas etmesi, tutuşmaya ve dolayısıyla patlamaya neden olabilir.

-Yanıcı Gazlar ve Kimyasallar: Mobilya üretiminde kullanılan bazı cilalar, boyalar veya yapıştırıcılar yanıcıdır. Bu kimyasallar, ahşap tozuyla birleştiğinde patlayıcı bir karışım oluşturabilir.

-Bakımı Yapılmamış Elektrikli Cihazlar: Aşırı yüklenmiş veya arızalı elektrikli cihazlar kıvılcımlar oluşturabilir. Bu kıvılcımlar, ahşap tozu ile birleştiğinde patlama riskini artırır.

-Toz Birikimi: Zeminler, makineler ve raflar gibi yüzeylerde biriken ahşap tozları, patlama sırasında ikinci bir patlamaya neden olabilir. Bu tozlar havaya karışarak daha büyük patlamalara neden olabilir.

-Uygun Olmayan Elektrik Tesisatı ve Aydınlatma: Patlayıcı ortamlar için tasarlanmamış elektrik tesisatları ve aydınlatma sistemleri kıvılcıma neden olabilir. Bu tür kıvılcımlar da ortamdaki toz bulutunu ateşleyerek patlama yaratabilir.

1.3.6. Risk Değerlendirme Yöntemleri

Risk değerlendirme sürecinde kullanılan yöntemler, işletmenin faaliyet alanı, yapısı ve büyüklüğüne bağlı olarak farklılık gösterebilir. İşyerlerindeki potansiyel tehlikelerin belirlenmesi, risklerin analiz edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması amacıyla çeşitli analiz teknikleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler, risklerin minimize edilmesine ve güvenli bir çalışma ortamı oluşturulmasına yardımcı olur. Yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında Ön Tehlike Analizi, Çeklist Yöntemi, HAZOP, Hata Türleri ve Etki Analizi (FMEA), Hata Ağacı Analizi (FTA), Olay Ağacı Analizi, Neden-Sonuç Analizi, 'Olursa Ne Olur?' Analizi, L Matris Metodu, Fine-Kinney Metodu ve Karar Matrisi yer almaktadır (Akpınar ve Çakmakkaya, 2014).

Ön Tehlike Analizi

Ön Tehlike Analizi, bir sistem veya süreçteki potansiyel tehlikeleri erken aşamada tespit etmek ve değerlendirmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz, her bir potansiyel tehlikenin olasılık ve etkilerini belirler. Sonuç olarak, hangi tür tehlikelerin daha sık ortaya çıkabileceği ve hangi analiz metodolojilerinin gerektiği ortaya konur. Tespit edilen tehlikeler, sıklık ve sonuç diyagramları kullanılarak öncelik sırasına göre sıralanır. Böylece, önlemlerin hangi sırayla alınacağı belirlenir. PHA genellikle tasarım sürecinin erken aşamalarında uygulanır, ancak tek başına yeterli değildir. Diğer

metodolojilerle birleştirilerek daha etkili ve kapsamlı bir analiz yapılması sağlanır (Ay, 2014).

Çeklist Yöntemi

Çeklist yöntemi, risk değerlendirmesi yöntemleri arasında en basit ve en erken uygulanan yaklaşımdır. Bu yöntem, sistemin her aşaması için geliştirilen kontrol listeleri üzerinden değerlendirme yapmayı içerir. Çeklist, İş Sağlığı ve Güvenliği açısından işverenlerin risk değerlendirme yükümlülüklerini yerine getirmeleri için önemli bir araçtır. Bu metodoloji, Risk Değerlendirme Karar Matris Metodolojisi ile kullanılabilir. Özellikle 3x3, 5x5 matrisler ve L tipi matrisler gibi yöntemlerle entegrasyon sağlayarak daha kapsamlı ve etkili bir analiz yapılabilir (Yanturalı, 2015).

HAZOP

HAZOP, kimya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu metodolojide, yapılan işlemler birbirinden bağımsız olarak değerlendirilir ve her bir ünitenin ayrı ayrı incelenmesi sağlanır. HAZOP, bir proseste (süreçteki) sapmaların etkilerinin tespit edilmesini ve normal koşullar altındaki prosese göre karşılaştırma yapılmasını mümkün kılar. Bu özelliği sayesinde, tehlikelerin ve potansiyel arızaların erken tespiti açısından geniş bir kabul görmüştür (Dunjó vd., 2010).

Hata Türleri ve Etki Analizi (FMEA)

FMEA, üretim süreçlerindeki riskleri azaltarak kalitesiz üretimi önlemeyi amaçlayan bir analiz yöntemidir. ABD ordusunda geliştirilmiş olup, sistem ve donanım hatalarının etkilerini belirlemek için kullanılır. Bu metodoloji, teknoloji ağırlıklı sektörler, uzay, kimya ve otomotiv endüstrilerinde yaygın olarak uygulanır. Kullanımının kolay olması ve derin teorik bilgi gerektirmemesi nedeniyle orta düzey deneyime sahip ekipler tarafından rahatlıkla uygulanabilir. FMEA, sistem içindeki aksaklıkları belirleyerek süreçlerin etkinliğini artırmaya yardımcı olur (Yılmaz, 2000).

Hata Ağacı Analizi (FTA)

FTA, 1962 yılında askeri amaçlı güvenlik sistemlerinin kontrolü için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu analizde, istenmeyen bir olayın kökenine inerek, diğer olası hatalar ve bu hataların sebepleri ortaya konur. Hataların ve nedenlerinin belirlenmesinde, tekniğe özgü mantık sembollerinden yararlanarak bir "hata ağacı" (fault tree) oluşturulur. Bu ağaçlar, hiyerarşik modellerdir ve güvenlik, dayanıklılık ve risk değerleri açısından performans değerlendirmesinde önemli bir rol oynar. FTA, FMEA ve diğer risk değerlendirme yöntemleri ile kullanılabilir, çünkü bu metotlar benzer amaçlara hizmet eder (Gökçe ve Zorluer, 2022).

Olay Ağacı Analizi

Olay ağacı analizi, Hata Ağacı Analizi'ne benzer bir yöntemdir. Bu analiz, tasarlanan bir olayın veya olayın seyrinin üzerinde etkili olabilecek faktörlerin incelenmesi ve çözüm planlarının yapılmasını içerir. Olayın olası sonuçları, olayın başlangıcından itibaren dallanarak değerlendirilir ve her bir dalda farklı sonuçlar ile olasılıklar analiz edilir (Kılıç ve Sanal, 2015).

Neden – Sonuç Analizi

Neden – Sonuç Analizi, Hata Ağacı Analizi ile Olay Ağacı Analizinin birleşimi olan bir yöntemdir. Bu analiz, nedenlerin ve sonuçların birlikte ele alındığı bir yaklaşımdır ve tündengelimli ile tümevarımlı analiz yöntemlerinin bir karışımını kullanır. Amacı, olaylar arasındaki zinciri tanımlayarak istenmeyen sonuçların nasıl meydana geldiğini belirlemektir. Yöntemin avantajı, sadece "en kötü durum" senaryolarına odaklanmak yerine, daha gerçekçi ve esnek bir yaklaşım sunmasıdır. Bununla birlikte, dezavantajı, analistin sistemdeki değişiklikleri önceden tahmin etmesi gerektiği ve olasılıkları saptamanın genellikle zor ve tartışmalı olmasıdır (Ceylan ve Başhelvacı, 2011).

Olursa Ne Olur?

Bu metot, "Olursa Ne Olur?" sorusuyla başlar ve sorulara verilen cevaplara dayanarak geliştirilir. Aksaklıkların olası sonuçları belirlenir ve her bir durum için sorumlu kişiler tarafından tavsiyeler tanımlanır. Risk değerlendirme raporunda, tehlikelerin türünü tanımlamak ve tavsiyeleri değerlendirmek amacıyla kullanılır. Bu metotla yapılan risk değerlendirmesinde, risk analistinin dikkati sadece bir noktaya odaklanabilir veya analistin tecrübesi, o noktadaki tehlikeyi görmesini engelleyebilir. Ayrıca, bu analiz işi veya süreci yürüten takım üyelerinin deneyimlerine dayanır ve bu da sonuçların büyük ölçüde takım üyelerinin tecrübelerine bağlı olmasına neden olur. Bu yönüyle, daha informal bir metot olarak kabul edilir (Akpınar ve Çakmakkaya, 2014).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Mobilya ve ahşap sektöründe faaliyet gösteren kuruluşlar genellikle küçük ölçekli aile işletmeleri olarak varlık gösterir. Türkiye genelinde yaklaşık 61.728 bin mobilya işletmesi/atölyesi bulunmaktadır ve bu işletmeler perakende mağazaları ile 258.313 bin çalışan istihdam etmektedir. (Serin vd., 2014). Mobilya, ahşap esaslı paneller ve plastik, çelik ve kumaş gibi diğer malzemeler kullanılarak üretilir. Bununla birlikte, mobilyaların % 95'inden fazlası ahşap esaslı levhalardan (lif levha, yonga levha gibi) yapılır. Ahşap esaslı levhalar, mobilya üretiminde doğal ahşap olarak sınıflandırılır. Doğal ahşap pahalı olması, işlenmesindeki zayıflıklar ve orman kaynaklarındaki azalma gibi nedenlerden ötürü yonga levha ve lif levha (MDF) gibi yapay ahşap esaslı levhalar, yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu levhaların küresel üretimi ve tüketimi 1980'den beri istikrarlı bir şekilde büyümüştür. Yapay levhaların yaklaşık % 60'ı mobilya üretmek için, % 40'ı ise inşaat için kullanılmaktadır (Kim, 2019).

Küçük ve orta ölçekli işletmeler (KOBİ'ler), değişen koşullara hızla uyum sağlama yetenekleriyle bir toplumun üretken potansiyelini ortaya çıkarmada önemli rol oynarlar. Bir ülkenin sosyo-ekonomik yapısı çerçevesinde, KOBİ'ler istihdam hacmini artırmak ve daha dengeli gelir dağılımı elde etmek gibi bir dizi işlevi yerine getirmeye katkıda bulunurlar. KOBİ performans incelemesine göre, 2002-2008 yılları arasında KOBİ kapsamına giren işletme sayısı yıllık ortalama % 1.9 oranında artarken, büyük ölçekli işletme işyeri sayısı % 0.8 oranında artmıştır. KOBİ'ler ayrıca rekabeti ve sosyal uyumu korur, sanayinin çeşitli kollarında nitelikli eleman yetiştirir, planlı kentleşme sağlar ve bölgeler arası dengesizlikleri ortadan kaldırır. Bu işletmeler genellikle daha az yatırımla daha büyük üretim hacmi ve daha geniş ürün yelpazesi elde etme, daha düşük yatırım maliyetiyle istihdam olanakları yaratma, ekonomik dalgalanmalardan daha az etkilenme, talep değişikliklerine daha kolay uyum sağlama ve teknolojik gelişmelere daha yatkın olma gibi ortak özelliklere sahiptirler (Aksu vd., 2011).

Tüm Ekonomik Faaliyetlerin Uluslararası Standart Sanayi Sınıflamasında (ISIC) “imalat ister makinede veya elde ister fabrikada veya atölyede yapılsın, maddelerin ya da bütünü oluşturan parçaların fiziksel veya kimyasal bir işleminden geçirilerek, yeni ürünler elde edilmesi” diye tanımlanır. Orman Ürünleri Sanayi (OÜS) ise, odunu hammadde olarak kullanan ve kereste, diğer odun, mobilya, kâğıt hamuru, kâğıt ve kâğıt ürünleri alt

bölümlerini içeren sanayi olarak tanımlanır (Top vd., 2014). Mobilya sektörünün toplam imalat sanayi içindeki toplam payı % 1.3'tür. Bu, çoğunlukla geleneksel, emek yoğun, taklitçi ve iç pazara yönelik yöntemlerle çalışan atölye tarzındaki küçük ölçekli işletmelerden oluşan bir endüstridir (Aksu vd., 2011).

İmalat sektörü içinde orman ürünleri sanayi, 3 alt bölüm şeklinde sınıflandırılmıştır. Tüm Ekonomik Faaliyetlerin Uluslararası Standart Sanayi Sınıflamasında (ISIC Rev. 4)'de, imalat sektörü içinde OÜS'ni oluşturan kısımların numara ve tanımları Tablo 2'de sunulmuştur (United Nations. Statistical Division, 2008).

Tablo 2. OÜS'ni oluşturan kısım, grup ve sınıfların ISIC Rev. 4'e göre kod ve adları (Top vd., 2014).

Kod			Adlandırma
Sektör	Kısım	Grup	Sınıf
C			İMALAT
			161 Ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı (mobilya hariç); saz, saman ve benzeri malzemelerden örülerek eşyaların imalatı
			1610 Ağaçların biçilmesi ve planyalanması
			- Ağaç, mantar, kamış ve örgü malzeme ürünü imalatı
			1621 Ahşap plaka ve levha imalatı
			1622 Bina doğramacılığı ve marangozluk ürünlerinin imalatı
			1623 Ahşap konteynır imalatı
			1629 Diğer ağaç ürünleri imalatı
			Kâğıt ve kâğıt ürünlerinin imalatı
			1701 Kâğıt hamuru, kâğıt ve mukavva imalatı
			1702 Oluklu kâğıt ve oluklu mukavva imalatı ile kâğıt ve mukavvadan yapılan ambalaj kutuları imalatı
			1709 Kâğıt ve mukavvadan diğer ürünlerin imalatı
			31 Mobilya imalatı
			3100 Mobilya imalatı

Bu çalışma yukarıda sektörel yapısı, kullandığı hammadde ve hammadde işleme şekilleri hakkında bilgi verilen mikro ölçekli (1-9 çalışan istihdam edilen işletme) üç mobilya atölyesinde/işletmesinde gerçekleştirilmiştir. İşletmeler Trabzon ili Şalpazarı, Beşikdüzü ve Ortahisar ilçelerinde faaliyet göstermektedir. Bu üç işletme, çalışan sayısı, üretimde kullanılan hammadde, üretim araçları, hammadde olarak ahşap ve/veya MDF/yonga levha kullanılması, işyeri düzeni, işyerinde bulunan riskler gibi faktörler açısından sektörde yer alan herhangi bir mobilya imalatı yapan işletmenin özellikleri ile benzer özellikler göstermektedir. Bu sebep ile bu çalışmada elde edilecek bulgu ve sonuçlar, mikro ölçekli mobilya imalatı yapan tüm işletmeleri kapsayacak şekilde genellenebilir.

2.2. Yöntem

Bu çalışmada yöntem olarak L tipi matris yöntemi seçilmiştir. Bu yöntem, tanımlanan tehlikenin meydana gelme olasılığı ile gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkacak sonucun şiddetinin derecelendirilerek değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, sebep-sonuç ilişkilerinin anlaşılmasına katkı sağlayarak risklerin daha iyi bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır. Acil önlem alınması gereken durumlarda sıkça tercih edilen matris yöntemi, uygulanmasının nispeten kolay olması nedeniyle ekip çalışmasına gerek kalmadan analizi yapacak uzmanın tek başına çalışmasına olanak sağlar. Bu özellik, zaman kısıtlamaları olan durumlarda büyük bir avantaj sunar. Ancak, birbirinden farklı ve çok sayıda süreci kapsayan işlerde, öncelikli olarak müdahale edilmesi gereken tehlikelerin belirlenmesi amacıyla bu yöntemin kullanılması daha uygun olabilir. Bu tekniğin başarısı, sürecin özellikleri hakkındaki bilgi birikimi ve deneyime bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Özkiliç, 2005).

Bu yöntem, farklı imalat süreçlerini içeren veya çeşitli iş akış şemalarına göre üretim yapan iş yerlerinde, tehlikelerin derhal veya kısa bir süre içinde belirlenmesi zorunluluğunu karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Risk Değerlendirme (RD) yönteminin uygulanması kolay olduğu için, ekibindeki üye sayısının yetersiz olduğu iş yerleri için oldukça uygundur.

L tipi matris yöntemi, bu araştırmada mobilya sektöründe toz patlaması riskiyle ilgili faktörlerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi için tercih edilmiştir. Bu yöntemin seçilmesinin birkaç önemli nedeni bulunmaktadır. Öncelikle, mobilya üretiminde toz patlaması riski, bir dizi faktörün etkileşimi ile şekillenir; örneğin, tozun boyutu, yoğunluğu, üretim süreçleri, kullanılan malzemeler, ortam koşulları (hava akımı, sıcaklık, nem) gibi birçok değişken bu riski artırabilir. L tipi matris, bu faktörlerin birbirleriyle olan ilişkilerini sistematik bir şekilde analiz etmeye olanak tanır. Matris, risk faktörlerini bir araya getirerek, her bir faktörün risk üzerindeki etkisini açıkça ortaya koyar. Bu da patlama riskiyle ilgili farklı değişkenlerin karşılaştırılmasını ve sıralanmasını kolaylaştırır.

L tipi matrisin bir diğer önemli avantajı, toz patlaması riskini oluşturan faktörlerin önceliklendirilmesine olanak sağlamasıdır. Çeşitli faktörlerin farklı seviyelerde etkili olduğunu varsayar ve bu faktörleri matris aracılığıyla değerlendirerek hangi risklerin daha acil bir şekilde ele alınması gerektiğini belirler. Örneğin, bazı faktörler diğerlerine göre daha yüksek risk taşıyabilir, bu nedenle önceliklendirme yapmak, işletmelerin kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmasını ve en kritik risklere karşı önlem almasını

sağlar. Bu sayede, risk azaltma stratejileri, en önemli tehditler üzerinden yapılandırılabilir.

Görsel bir analiz aracı olarak L tipi matris, araştırmanın bulgularını daha anlaşılır hale getirir. Verilerin görsel olarak sunulması hem sektörel uzmanlar hem de akademik çevreler için analizlerin daha erişilebilir olmasını sağlar. Görsel matris, karmaşık ilişkilerin kolayca anlaşılmasını sağlar ve verilerin yorumlanmasında belirsizlikleri en aza indirir. Ayrıca, matrisin yapılandırılmış yapısı, araştırma bulgularının açık bir şekilde sunulmasını sağlar, bu da karar vericilere hangi faktörlerin ve değişkenlerin önemli olduğunu net bir şekilde gösterir.

L tipi matrisin, içsel ve dışsal faktörlerin karşılaştırmalı olarak analiz edilmesini mümkün kılması da bir diğer önemli avantajıdır. Mobilya sektöründe toz patlaması riski yalnızca üretim süreci içindeki fiziksel faktörlerden (toz boyutu, yoğunluğu vb.) değil, aynı zamanda çevresel koşullardan (havalandırma, nem, sıcaklık) ve iş güvenliği eğitiminden de etkilenebilir. L tipi matris, bu içsel ve dışsal faktörleri birlikte değerlendirerek, her iki grup arasındaki etkileşimi anlamaya yardımcı olur. Bu, daha kapsamlı bir risk değerlendirmesi sağlar ve işletmelere yalnızca üretim süreçlerini değil, aynı zamanda çalışma ortamlarını da gözden geçirme fırsatı sunar.

Bu yöntemde, bir olayın meydana gelme olasılığı ile meydana geldikten sonraki sonuçlarının derecelendirilmesi ve ölçümü yapılmaktadır (Özkiliç, 2005). Bu süreçte, tehlike ve risklere ait olasılık (O) ve şiddet (Ş) değerlerinin çarpımından risk puanı (RP) değerleri elde edilir. Elde edilen bu risk puanı değerleri, matris tablosundaki uygun yerlere yazılarak görsel bir analiz sağlanır. Bu yöntem, iş yerindeki tehlikelerin daha hızlı ve etkili bir şekilde belirlenmesini sağlayarak, önleyici tedbirlerin alınmasına olanak tanır.

Tehlikeler belirlendikten sonra, risklerin değerlendirilmesi aşamasına geçilir. Bu süreçte, olayın gerçekleşme olasılığı tespit edilerek bir skor belirlenir. Olasılık derecelendirilirken, dikey ekseninde 'çok düşük'ten 'çok yüksek'e kadar beş farklı kategori kullanılır.

Bu kategoriler, olası risklerin ciddiyetini ve aciliyetini anlamak için önemlidir. Her bir kategori, belirli bir olasılık aralığını temsil eder ve bu sayede, iş yerindeki tehlikelerin etkili bir şekilde analiz edilmesi sağlanır. Risk değerlendirmesi, iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin güçlendirilmesi için temel bir adım olduğundan, bu aşama dikkatlice yürütülmelidir.

Olayın gerçekleşmesi durumunda oluşacak şiddet de tespit edilerek bir skor belirlenir. Şiddet derecelendirilirken, 'çok hafif'ten 'çok ciddi'ye kadar beş farklı seviyede sınıflandırma yapılır.

Bu sınıflandırma, meydana gelebilecek olayların olumsuz etkilerini anlamak ve bu etkilere göre önceliklendirme yapmak için kritik öneme sahiptir. Her bir seviye, olayın potansiyel sonuçlarını temsil eder ve bu sayede, iş yerindeki risklerin daha sistematik bir şekilde analiz edilmesi sağlanır. Bu aşama, iş sağlığı ve güvenliği stratejilerinin oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Risk skoru, olasılık ve şiddet değerlerinin çarpımıyla hesaplanır:

$$\text{Risk Skoru} = \text{Olasılık} \times \text{Şiddet}$$

Hesaplanan risk skoru, derecelendirme matrisine yerleştirilir ve bu skora uygun risk önem derecesi belirlenir. Bu aşamada, riskin önemine göre alınacak önlemler tespit edilir.

Risk skoru, iş yerindeki tehlikelerin önceliklendirilmesine ve yönetilmesine yardımcı olur. Yüksek risk skoruna sahip durumlar için daha acil önlemler planlanırken, düşük risk skorları için daha az acil müdahaleler öngörülebilir. Bu sistematik yaklaşım, iş sağlığı ve güvenliği alanında etkili stratejilerin geliştirilmesine olanak tanır.

Tablo 3'te, riskin gerçekleşme sıklığına göre belirlenen olasılık değerleri yer almaktadır. Bu değerler, olası tehlikelerin ne sıklıkta meydana gelebileceğini anlamak için kritik bir başlangıç noktası sağlar. Tablo 4'te ise riskin sonuçlarının yarattığı etkilerin derecelendirildiği şiddet değerleri sunulmuştur. Şiddet değerleri, bir olayın gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkacak olumsuz sonuçların ciddiyetini anlamak için önemlidir. Bu iki tablodan elde edilen olasılık ve şiddet değerleri çarpılarak risk skoru hesaplanır.

Tablo 5'te, 5x5 L matris analizi ile hesaplanan risk skorlarının derecelendirmeleri gösterilmektedir. Bu matris, farklı olasılık ve şiddet seviyelerini bir araya getirerek, her bir riskin genel önem derecesini belirlemeye yardımcı olur. Her risk skoru, iş yerindeki mevcut tehlikelerin önceliklendirilmesine ve hangi alanlarda acil önlemler alınması gerektiğine dair net bir görünüm sunar.

Tablo 6'da ise matris yöntemine göre elde edilen sonuçların kabul edilebilirlik seviyeleri belirtilmektedir. Bu kabul edilebilirlik seviyeleri, iş yerindeki risklerin yönetiminde hangi önlemlerin alınması gerektiği konusunda rehberlik sağlar. Riskin kabul edilebilirlik seviyesi, iş sağlığı ve güvenliği politikalarının geliştirilmesine katkıda bulunarak, çalışanların güvenli bir çalışma ortamında bulunmalarını sağlamak için kritik bir araçtır.

Tablo 3. Risk Gerçekleşme Sıklığına Göre Olasılık Değerleri

Olabilirlik-Nicel	Olabilirlik-Nitel	Derecelendirme
1	Çok Küçük	Yılda bir
2	Küçük	Üç ayda bir
3	Orta	Ayda bir
4	Yüksek	Haftada bir
5	Çok Yüksek	Her gün

Tablo 4. Bir Olayın Gerçekleştiği Takdirde Şiddet Değerleri

Şiddet-Nicel	Şiddet -Nitel	Derecelendirme
1	Çok Hafif	İş saati kaybı yok, ilkyardım gerektiren
2	Hafif	İş günü kaybı yok, ilkyardım gerektiren
3	Orta	Hafif yaralanma, tedavi gerekir
4	Ciddi	Ölüm, Ciddi yaralanma, meslek hastalığı
5	Çok Ciddi	Birden çok ölüm, sürekli iş göremezlik

Tablo 5. Matris Yöntemine Göre Risk Derecelendirme Tablosu (Erdim vd., 2010).

		İlkyardımla hemen giderilebilen yaralanma/ İş saati kaybı yok	Ayakta tedavi edilebilen yaralanma /İşgünü kaybı yok	Yatarak tedavi gerektiren yaralanma / Kısa süreli iş göremezlik	Uzun süreli yatarak tedavi gerektiren yaralanma veya meslek hastalığı / Uzun süreli iş göremezlik	Uzuv kaybı veya ölüm/ Sürekli iş göremezlik
		1 (Çok Hafif)	2 (Hafif)	3 (Orta)	4 (Ciddi)	5 (Çok Ciddi)
Hemen hiç	1 Çok Küçük	1 Anlamsız	2 Düşük	3 Düşük	4 Düşük	5 Düşük
Çok az (Yılda bir kez)	2 Küçük	2 Düşük	4 Düşük	6 Düşük	8 Orta	10 Orta
Az (Yılda birkaç kez)	3 Orta	3 Düşük	6 Düşük	9 Orta	12 Orta	15 Ciddi
Sıklıkla (Ayda bir kez)	4 Yüksek	4 Düşük	8 Orta	12 Orta	16 Ciddi	20 Ciddi
Çok sık (Haftada bir)	5 Çok Yüksek	5 Düşük	10 Orta	15 Ciddi	20 Ciddi	25 Tolere Edilemez

Buna göre, Tablo 5'ten elde edilen değerler, Risk Değerlendirme (RD) tablosuna kaydedilir. Bu aşamada, en yüksek risk puanı (RP) değerinden başlanarak, öncelikle en kritik riskler için gerekli önlemler alınır.

Bu sistematik yaklaşım, yüksek risk taşıyan durumların öncelikli olarak ele alınmasını ve risklerin minimize edilmesini sağlar. Her risk için belirlenen önlemler, iş yerinin güvenliğini artırmaya ve olası kazaların önlenmesine yönelik etkili stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olur. Ayrıca, bu süreç, iş sağlığı ve güvenliği politikalarının sürekli olarak güncellenmesine olanak tanır.

Tablo 6. Risk Seviyesi (Erdim vd., 2010).

RP	Risk Seviyesi	Alınması Gereken Önlemler
1	Anlamsız (Önemsiz riskler)	Riskleri ortadan kaldırmak için kontrol prosesleri planlamaya ve gerçekleştirilecek faaliyetlerin kayıtlarını saklamaya gerek yoktur.
2, 3, 4, 5, 6	Düşük (Katlanılabilir riskler)	Riskleri ortadan kaldırmak için ilave kontrol proseslerine gerek olmayabilir. Ancak mevcut kontroller sürdürülmelidir.
8, 9, 10, 12	Orta (Orta düzeydeki riskler)	Riskleri düşürmek için gerekli faaliyetler başlatılmalı ve en fazla 6 ay içinde tamamlanmalıdır.
15, 16, 20	Ciddi (Önemli riskler)	Riskleri düşürmek için gerekli faaliyetler kısa zamanda (birkaç hafta içinde) başlatılmalıdır. Risk, faaliyetin durdurulmasını gerektirecek kadar büyük değilse çalışmalar kontrollü olarak, yetkili kişilerce yürütülmelidir.
25	Tolere Edilemez (Katlanılamaz riskler)	Risk, kabul edilebilir seviyeye düşürülünceye kadar iş başlatılmamalı, devam eden faaliyet varsa hemen durdurulmalıdır. Gerçekleştirilen faaliyetlere rağmen risk düşmüyorsa, faaliyet engellenmelidir

L tipi matris yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen risk değerlendirmesi sonucunda, öncelikle önemli seviyedeki riskler ön plana çıkartılmıştır. Uygulamada, matris yöntemine dayalı olarak atölye ortamındaki tehlikeler sistematik bir şekilde tespit edilip sınıflandırılmıştır. İlk olarak, her bir tehlikenin gerçekleşme olasılığı ve bu tehlikenin gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkabilecek şiddet değerleri belirlenmiştir. Bu iki parametre kullanılarak risk düzeyleri hesaplanmış ve her bir riskin önemi ortaya konmuştur.

Belirlenen risk düzeylerine göre, düzeltici ve önleyici faaliyetler, risklerin öncelik sırasına göre planlanmıştır. Planlanan bu faaliyetler, risklerin etkisini azaltmayı amaçlarken, olasılık ve şiddet parametreleri de uygulama sonrasında yeniden değerlendirilmiştir.

Alınan önlemler sonucunda, matris yöntemine dayalı risklerin %100 oranında kabul edilebilir seviyeye indirildiği görülmüştür. Bu süreç, sürekli iyileştirme anlayışıyla yürütülmüş olup, ortaya çıkan her risk için gerekli önlemler titizlikle uygulanmıştır. Matris yöntemine dayalı bu değerlendirme sonuçları, ilgili Tablo 7, 8 ve 9'da detaylı olarak sunulmuştur. Bu tablolar, risk yönetimi sürecinin etkinliğini ve alınan önlemlerin sonuçlarını görsel olarak desteklemektedir.

2.3. Araştırmanın Sınırlılıkları

Araştırmada işletmelerin işyeri atmosferlerinde biriken toz bulutu yoğunluğu ölçümü gerekli ölçüm cihazının elde edilememiş olması nedeni ile yapılamamıştır. Bu neden ile, ilgili riskin değerlendirilmesi ölçüm sonucu yerine araştırmacının gözlemi kullanılarak yapılmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda toz bulutu yoğunluğu ölçümü

yapmak, daha hassas risk derecelendirmeleri yapmayı mümkün kalabilir ve bu çalışmanın eksikliğini giderebilir.



3. BULGULAR

Bu çalışmada, üç farklı işletmede sektörel özelliklere göre tespit edilen tehlikeler tanımlanmış, özellikle toz patlaması riski açısından bu tehlikelerin yaratabileceği riskler belirlenmiş ve analiz edilerek derecelendirilmiştir. Derecelendirme sonuçlarına dayanarak, düzeltici ve önleyici faaliyetler aşama aşama belirlenmiş ve bu faaliyetlerin ardından risklerin kabul edilebilir seviyelere inip inmediği değerlendirilmiştir.

Risklerin belirlenmesi amacıyla seçilen işletmeler düzenli olarak gözlemlenmiş ve yapılan gözlemler sonucunda risk değerlendirmesi yapılmıştır. Bu süreçte toplamda 64 adet tehlike tespit edilmiştir. Belirlenen tehlikelerin tamamı kapsamlı bir şekilde incelenmiş, her birinin olasılık ve şiddet değerleri sistematik bir şekilde derecelendirilerek risk seviyeleri hesaplanmıştır.

3.1. A İşletmesine Ait Bulgular

İşletme, mikro ölçekli olup bir binanın zemin katında faaliyet göstermektedir ve iki personel tarafından işletilmektedir. Ana faaliyet alanları arasında mobilya üretimi ve boyama işlemleri bulunmaktadır. Bu süreçlerde kullanılan malzemeler ve kimyasallar, işletme içerisinde depolanmakta ve bu durum yangın ve patlama riski açısından dikkate alınması gereken önemli bir faktördür.

İşletmede standart bir aydınlatma sistemi kullanılmakta ve elektrik panosu, operasyon alanının içinde yer almaktadır. Ancak, çeşitli kimyasal maddelerin depolanması, özellikle yangın ve patlama risklerini artırmaktadır. Mevcut havalandırma, yalnızca kapıların açılmasıyla sağlanan doğal havalandırma ile sınırlı olup, bu durum yeterli hava akımı (sirkülasyon) sağlamada yeterli olmayabilir. Başka bir havalandırma sisteminin bulunmaması, işletme içinde gazların veya tozların havada birikmesine neden olabilir.

Toz patlama risklerini minimize etmek adına, kimyasalların uygun şekilde depolanması, elektrik panosunun düzenli bakımının yapılması ve havalandırma sisteminin kurulması, işletme için kritik önlemler arasında yer almaktadır. İşletmeye ait risk değerlendirme sonuçları ise Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7. A işletmesine ait 5x5 risk değerlendirme matrisi sonucu

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
1		Tozların Birikmesi	Tozlar birikerek havada asılı kalabilir ve uygun koşullarda patlayıcı bir ortam oluşturabilir. Özellikle ince parçacıklara sahip tozlar, havada asılı kaldıklarında tutuşma kaynağı ile temas ettiklerinde çok hızlı bir şekilde yanabilir ve patlayabilirler.	3	5	15	Toz birikmesini önlemek için iş yerlerinde düzenli temizlik yapılmalı ve tozlar sürekli olarak temizlenmelidir. Özellikle zeminler, raflar, makineler ve havalandırma kanalları gibi toz birikmeye meyilli alanlar dikkatle izlenmelidir.	1	3	3
2		Toz Birikmesi	Toz patlaması sonucunda ikincil patlamaya sebep olması	2	5	10	Yerde çökelmiş olan tozların ikincil patlamaya sebep olmaması için temizlenmeli	1	2	2

Tablo 7. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
3		Çalışma ortamında patlayıcı gazların bulunması	LPG tüpü gaz kaçırırsa, yanıcı tozlar ve gaz bir araya gelerek patlama riski oluşturur. Kaçan gaz, bir kıvılcım veya sıcak bir yüzeyle temas ettiğinde çok büyük bir yangın veya patlama meydana gelebilir.	4	5	20	LPG tüpleri, yanıcı tozların yoğun olduğu ortamlardan uzak tutulmalı ve havalandırması iyi olan, yangın tehlikesi taşımayan alanlarda muhafaza edilmelidir.	1	3	3
4		Havalandırma Yetersizliği	Eğer ortamda iyi bir havalandırma sistemi yoksa hem tozların havada asılı kalması hem de gaz sızıntısı durumunda gazın birikmesi riski artar. Gaz kaçağı ve havadaki yanıcı tozlar patlayıcı bir karışım oluşturabilir.	3	4	12	Hem toz birikimini azaltmak hem de olası gaz kaçaklarını etkisiz hale getirmek için ortamın iyi bir şekilde havalandırıldığından emin olunmalıdır.	2	2	4

Tablo 7. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
5		Toz toplama sisteminin dolması	Toz toplama sistemleri dolduğunda, içlerinde biriken tozlar hava akımı ile daha fazla havalanabilir. Bu, kapalı sistemlerde basıncın artmasına ve toz parçacıklarının yoğun bir şekilde birikerek patlama riskini tetiklemesine neden olabilir. Eğer sistem içinde bir kıvılcım, statik elektrik veya aşırı ısınma gibi bir tutuşma kaynağı bulunursa, bu patlayıcı bir duruma yol açabilir.	4	5	20	Toz toplama sisteminin belli aralıklarla kontrol ederek çalışmasını sağlamak	2	2	4
6		Tıkanma ve Hava Akışının Engellenmesi	Dolmuş bir toz toplama sistemi, hava akışını kısıtlar ve tozların etkili bir şekilde filtrelenmesini engeller. Bu, sistemin verimliliğini düşürerek ortamda daha fazla tozun birikmesine ve patlama riskinin artmasına neden olabilir.	4	4	16	Toz toplama sistemlerinin düzenli olarak boşaltılması, temizlenmesi ve bakımlarının yapılması gerekir. Sistemin doluluk oranı sürekli izlenmeli ve kritik seviyelere ulaşmadan boşaltılmalıdır.	2	1	2

Tablo 7. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
7		Toz toplama sisteminin işyerinde bulunan tüm makinelerde olmaması	Tüm makinelerin ortama toz bırakması sonucu toz patlamasına sebep olması	4	5	20	Tüm makinelere gerekli olan toz toplama sistemi kurulması	1	2	2
8		Makinelerin sıcak yüzeylerinde tozların birikmesi	Sıcak yüzeyle biriken tozlar sıcaklığın etkisi ile patlamaya sebep olması	3	5	15	Makinelerin sıcak yüzeylerinin kontrol edilmesi ve aşırı ısınmasının önüne geçilmesi	2	2	4

Tablo 7. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
9		Elektrik tesisatının iç kısımlarına tozların ulaşması ve birikmesi	Elektrik tesisatında biriken tozlar ortaya çıkan bir ark kıvılcımı ile toz patlamamasına sebep olması	3	5	15	Elektrik tesisatının priz kısımlarına tozların ulaşıp birikmesini engellemek	1	3	3
10		Makinelerin elektrik tesisat kablolarında deforme olması	Kablolarda meydana gelen deformasyonlar sonucunda kıvılcım oluşarak toz patlamasına sebep olması	2	5	10	Yıpranan elektrik kablolarının yenilenmesi	1	2	3

Tablo 7. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
11		Çalışma ortamında tiner gibi yanıcı ve patlayıcı maddelerin bulunması	Tiner gibi solventlerin buharları havada kolayca yayılır ve düşük bir tutuşturma kaynağı ile (örneğin kıvılcım, sıcak yüzey veya açık alev) hızla alev alabilir. Eğer ortamda yanıcı tozlar (örneğin odun tozu) birikmişse, bu yangın riski daha da artar.	3	5	15	Ortamdaki yanıcı parlayıcı ve patlayıcı maddeleri güvenli alanlarda depolamak	2	2	4
12		Çalışma ortamında tiner gibi yanıcı ve patlayıcı maddelerin bulunması	Yanıcı tozların olduğu bir ortamda tiner gibi solventlerin buharı, patlayıcı bir karışım oluşturabilir. Eğer bir tutuşturma kaynağı bulunursa hem solvent buharı hem de ortamdaki tozlar büyük bir patlamaya neden olabilir.	3	4	12	Çalışma ortamında tiner kullanılıyorsa, iyi bir havalandırma sistemi bulunmalıdır. Bu hem buharların ortamda birikmesini önler hem de çalışanların zehirli gazları solumasını engeller. Lokal egzoz havalandırma sistemleri, solvent buharlarını doğrudan kaynağından uzaklaştırabilir.	2	2	4

Tablo 7. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
13		Uygun olmayan sistemler ile toz toplamanın yapılması	Toplanan tozlar çalışma ortamında birikmesi ve toplanması sonucunda tozların ortamda uzaklaştırılamadığı için toz patlamasına sebep olması	4	5	20	Toz toplama sistemi kurularak tozların ayrı bir ortamda birikmesini sağlamak	2	2	4
14		Dış ortamda biriken tozlar dış etkenler sonucunda çalışma ortamındaki havaya karışması	Dış ortamdan gelen tozlar havada asılı kalması ile toz patlamasına sebep olması	2	4	8	Mevcut yerlerde tozların biriktirdikten sonra kısa sürede toplanıp alınmasını sağlamak	1	2	2

Tablo 7. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
15		Çalışma ortamında havalandırma sisteminin olmaması	Ortamda havaya karışan tozun uygun yöntemler ile dışarı atılamaması sonucu havada asılı kalan tozun patlamaya sebep olması	3	5	15	Hava aspiratörleri kullanarak tozların ortamdaki uzaklaştırılmasını sağlamak	2	2	4
16		Çalışma ortamında sıcak yüzeylerin bulunması	Sıcak yüzeyler, tozların veya yanıcı maddelerin üzerinde bulunduğu, bu maddelerin tutuşturulma riskini artırır. Özellikle yanıcı tozlar, yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında kolayca tutuşabilir.	3	5	15	Sıcak yüzeyler, uygun ısı yalıtımı ile kaplanarak ısının yayılmasını azaltılmalıdır. Bu, ortamın genel sıcaklığını düşürmeye yardımcı olur.	1	2	2

3.2. B İşletmesine Ait Bulgular

İşletme, mikro ölçekli bir kuruluş olarak, bir mahalledeki binanın zemin katında faaliyet göstermektedir. Alanı sınırlı olan bu işletme, yalnızca temel ekipmanlara sahiptir. İşletmenin günlük faaliyetleri sürekli değil, gün içerisinde belirli zaman dilimlerinde gerçekleştirilmekte olup, günlük çalışma süresi yalnızca birkaç saatle sınırlıdır. Çalışma süresinin sınırlı olması, toz oluşumunun da sınırlı kalmasına neden olmuştur. Bu durum, iş atmosferinde oluşan toz yoğunluğunun, toz patlamasına yol açabilecek seviyelere ulaşmasını engelleyen bir faktör olarak değerlendirilebilir.

İşletme içinde gözlemlenen risk unsurları arasında, özellikle bir adet gaz tüpünün bulunması dikkat çekicidir. Gaz tüpü, yangın ve patlama gibi ciddi potansiyel tehlikeleri beraberinde getirmektedir. Ayrıca, işletme içinde yangın güvenliği açısından yeterli önlemlerin alınmaması, bu riski daha da artırmaktadır.

Havalandırma sistemi yalnızca doğal yöntemlerle, kapılar aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu yetersiz havalandırma koşulları, iç mekândaki hava sirkülasyonunun sınırlı kalmasına yol açarak havaya karışan toz miktarının artmasına neden olabilmektedir. Bu durum toz patlaması riski açısından olumsuz bir etki oluşturabilir.

Isınma amacıyla işletme içinde kullanılan soba, toz patlaması riski açısından önemli bir tutuşturucu kaynak olarak değerlendirilmektedir. Sobanın kullanımı ve yerleştirilmesi gibi unsurlar doğru şekilde yönetilmediğinde, yüksek sıcaklık veya kıvılcımlar nedeniyle toz patlamasını tetikleme olasılığını artırabilir. Bu nedenle, sobanın etrafındaki alanın düzenli olarak temizlenmesi ve sobanın güvenli bir şekilde monte edilmesi önem arz etmektedir.

İşletmeye yönelik yapılan risk değerlendirmesi, çeşitli tehlikeleri ve bunların olası sonuçlarını detaylı bir şekilde ortaya koymuştur. İşletmeye ait risk değerlendirme sonuçları, Tablo 8’de sunulmuştur. Tablo, her bir riskin tanımını, olasılığını, potansiyel etkilerini ve alınması gereken önlemleri ortaya koymaktadır. Bu veriler, işletmenin güvenliğini artırmak için gerekli adımların atılmasında kritik bir temel oluşturmaktadır.

Tablo 8. B işletmesine ait 5x5 risk değerlendirme matrisi sonucu

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
1		Çalışma ortamında MDF tozu bulunması	MDF tozu, ince ve kuru olduğu için uygun koşullar altında toz patlamasına neden olabilir. Özellikle havada yeterli miktarda toz biriktiğinde ve bir kıvılcım ya da ateş kaynağına maruz kaldığında patlayıcı bir karışım oluşabilir.	3	4	12	Kesim, zımparalama gibi işlemler sırasında ortaya çıkan mdf tozun hemen toplanabilmesi için uygun toz toplama sistemleri (örneğin, vakumlu toz toplama sistemleri) kullanılmalıdır.	2	2	4
2		Elektrik panosunun açık olması	Elektrik panosunun açık olması sonucu ark oluşması veya kıvılcım çıkması sonucu toz patlamasına sebep olması	3	4	12	Elektrik panosunda gerekli izolasyonu yaparak çıkabilecek kıvılcımların önlenmesi	2	3	6

Tablo 8. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
3		Kıvılcım Kaynağı	Elektrikli aletler kıvılcım üretebilir. Bu kıvılcımlar, tozun havada asılı olduğu bir ortamda patlamaya neden olabilir.	4	5	20	Toz patlaması riskinin yüksek olduğu ortamlarda kıvılcım oluşturmayacak antistatik veya kıvılcım önleyici aletler kullanılmalıdır.	2	3	6
4		Statik Elektrik	Metal yüzeylere sahip küçük aletler, özellikle iyi topraklanmamışsa statik elektrik birikmesine yol açabilir. Biriken statik elektrik, toz bulutları için bir tutuşturma kaynağı olabilir.	4	5	20	Aletler ve çalışanlar arasında statik elektrik birikmesini önlemek için uygun topraklama ve antistatik ekipman kullanılmalıdır.	2	2	4
5		Aletlerin Aşınması ve Yıpranması	El aletlerinin düzenli bakımı yapılmadığında, aşınmış yüzeyler ya da bozulmuş kablo izolasyonu, mekanik kıvılcım ya da elektriksel kıvılcım riskini artırabilir.	4	5	20	Aletlerin düzenli bakımı yapılmalı ve toz birikimi önlenmelidir.	2	4	8

Tablo 8. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
6		Yanıcı Malzemelerin Kullanımı	Eğer el aletleri yağ, gres gibi yanıcı malzemelerle kaplıysa, bu malzemelerin varlığı yangın riskini artırabilir.	3	4	12	Aletlerin yağ ve diğer yanıcı maddelerle kaplanmış aletler sık sık temizlenmelidir.	2	3	6
7		Yanıcı Buharlar	Tiner ve boya, buharlaşarak yanıcı buharlar üretir. Bu buharlar, toz patlaması riski taşıyan ortamlarda ek bir tutuşturma kaynağı oluşturabilir.	4	4	16	Tiner ve boya kullanımı sırasında uygun havalandırma sağlanmalı ve yanıcı buharların ortamda birikmesi önlenmelidir.	2	2	4
8		Alevlenme Riski	Tinerin düşük parlama noktası (genellikle 20-30°C civarında) onu oldukça yanıcı hale getirir. Eğer ortamda kıvılcım veya açık alev varsa, tiner buharları kolayca alev alabilir ve patlamaya neden olabilir.	4	4	16	Kıvılcım üreten makineler, sıcak yüzeyler veya açık alevler bu tür yanıcı maddelerle birlikte kullanılırken dikkat edilmelidir. Bu tür kaynaklar ortamdan uzaklaştırılmalı ya da kapalı ve izole edilmelidir.	2	2	4

Tablo 8. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık Şiddet Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık Şiddet Risk Seviyesi
9		Havada Asılı Madde Yoğunluğu	Tiner ve boya uygulaması sırasında, havaya yayılan ince damlacıklar, tozla birleşerek patlamayı daha da şiddetlendirebilir. Tozla birlikte bir patlama üçgeni oluşmasına katkı sağlarlar.	3 4 12	Eğer mümkünse, solvent bazlı tiner ve boya yerine su bazlı veya alev almaz alternatifler tercih edilmelidir.	1 2 2
10		Yanıcı Gaz	Mutfak tüplerinde bulunan LPG, havayla karıştığında çok tehlikeli bir patlayıcı gaz haline gelir. Gaz sızıntısı olursa ve ortamda yanıcı toz bulunuyorsa, patlamaya neden olabilir.	4 5 20	LPG'nin yoğunluğu havadan daha ağır olduğundan, ortamda sürekli havalandırma sağlanmalı, gazın birikmesi önlenmelidir. Kapalı alanlarda mutfak tüpü kullanımı sınırlandırılmalı ve hava giriş-çıkışı olan alanlarda tercih edilmelidir.	2 3 6
11		Kaçak Riski	Mutfak tüpünün valf, hortum veya bağlantı noktalarından gaz sızması riski vardır. Bu sızıntı fark edilmeden ortama yayılırsa, kıvılcım, sıcak yüzey veya açık alevle temas ettiğinde patlama gerçekleşebilir.	4 4 16	Mutfak tüpünün hortumları, valfleri ve bağlantı noktaları düzenli olarak kontrol edilmeli ve herhangi bir gaz sızıntısı olup olmadığı tespit edilmelidir. Sızıntı olması durumunda hemen tüp kapatılmalı ve ortam havalandırılmalıdır.	2 3 6

Tablo 8. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık Şiddet Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık Şiddet Risk Seviyesi
12		Tutuşma Kaynağı	Tüp gazın açığa çıkması ve toz bulutlarıyla karışması durumunda, gaz birincil patlamanın etkisiyle alev alarak çok daha geniş bir yangın ya da patlama alanı oluşturabilir.	3 4 12	Gaz kaçaqlarını erken tespit edebilmek için mutfak tüpünün bulunduğu ortama gaz algılama sensörleri yerleştirilebilir. Bu sayede olası sızıntılar erkenden fark edilir ve müdahale edilebilir.	2 3 6
13		Patlama Riski	LPG'nin basınç altında sıvı halde depolanıyor olması, tüp üzerinde fiziksel bir hasar ya da yüksek sıcaklığa maruz kalması durumunda patlama riskini artırır.	2 4 8	Mutfak tüpleri, sıcak yüzeylerden, kıvılcım ve alevlerden uzak tutulmalı, serin ve iyi havalandırılan ortamlarda muhafaza edilmelidir.	2 2 4

Tablo 8. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık Şiddet Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık Şiddet Risk Seviyesi
14		Yanıcılık	Kalın toz parçaları genellikle patlamaya yol açmaz çünkü patlamanın gerçekleşebilmesi için tozun ince olması ve havada bir toz bulutu oluşturabilmesi gerekir. Ancak kalın tozlar da ikincil patlamaya sebep olabilir.	3 4 12	Kalın toz parçaları, yangına neden olabilecek ısı kaynaklarından uzak tutulmalıdır. Sıcak yüzeylerin etrafındaki toz birikimi önlenmelidir.	1 2 2
15		Birikme ve Tutuşma	Kalın toz parçaları makine yüzeylerinde, sıcak yüzeylerde ya da ısı kaynaklarının yakınında birikerek yangına neden olabilir.	3 5 15	Kalın toz parçalarının yüzeylerde birikmesini önlemek için düzenli temizlik yapılmalıdır. Özellikle ısı kaynaklarının, makine motorlarının ve elektrikli ekipmanların bulunduğu alanlar sık sık kontrol edilmelidir.	2 2 4

Tablo 8. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
16		Yanıcılık	İnce toz taneleri, yanıcıdır. Yanıcı tozlar, uygun koşullarda patlayabilirler.	4	5	20	İnce tozların birikmesini ve havaya karışmasını önlemek için etkili toz toplama ve havalandırma sistemleri kurulmalıdır. Bu sistemler, toz birikimini engelleyerek patlama riskini azaltır.	2	3	6
17		Havada Asılı Kalabilme	İnce toz taneleri havada uzun süre asılı kalabilir, bu da toz bulutu oluşturma potansiyelini artırır. Patlamalar genellikle ince tozların havada asılı olduğu ortamlarda gerçekleşir.	4	5	20	İnce tozlar düzenli aralıklarla temizlenmelidir. Özellikle sıcak yüzeyler, makineler ve elektrikli ekipmanlar etrafında toz birikimi engellenmelidir.	2	2	4

Tablo 8. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
18		Tutuşma Kaynakları	İnce tozlar, kıvılcım, açık alev, sıcak yüzeyler, statik elektrik veya mekanik sürtünmeyle kolayca tutuşturulabilir. Tutuşma kaynağı, havada bulunan toz bulutunu patlatabilir.	4	4	16	İnce toz patlamalarını tetikleyebilecek statik elektrik birikimini engellemek için antistatik ekipman ve topraklama kullanılmalıdır.	1	2	2
19		Toz Birikimi ve Patlama	Dolu toz toplama sistemleri, tozların filtrelerde ve torbalarda birikmesine neden olur. Bu birikim, ortamdaki en küçük tutuşturma kaynağıyla (kıvılcım, sıcak yüzey, statik elektrik) temasa geçtiğinde patlamaya neden olabilir.	3	4	12	Toz toplama sistemlerinin düzenli olarak temizlenmesi ve bakımı yapılmalıdır. Filtreler ve toplama torbaları belirli periyotlarda boşaltılmalı ve biriken tozlar uzaklaştırılmalıdır.	2	2	4

Tablo 8. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
20		Hava Akışının Engellenmesi	Dolu filtreler, sistemdeki hava akışını kısıtlar, bu da tozların ortama geri yayılmasına ve toz konsantrasyonunun artmasına yol açar.	3	4	12	Toz toplama sistemine doluluk seviyesi sensörleri takılabilir. Bu sensörler, doluluk oranını izleyerek doluluk seviyesinin kritik bir noktaya ulaştığında uyarı verir.	2	2	4
21		Hava Akışının Engellenmesi	Kısıtlanmış hava akışı, patlama basıncı oluşması için gerekli olan kapalı alan ortamını güçlendirir.	3	3	9	Hava akışını sağlayan fanlar, filtrasyon sistemi ve havalandırma yollarının düzgün çalıştığından emin olunmalıdır. Hava akışı engellenmemeli ve sistem kapasitesi aşılmamalıdır.	2	1	2

Tablo 8. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık Şiddet Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık Şiddet Risk Seviyesi
22		İkincil Patlamalar	Dolu toz toplama sistemleri, patlama riski arttığında ikincil patlamalara yol açabilir. İlk patlamada havaya karışan tozlar, sistemde biriken tozları harekete geçirip çok daha büyük bir patlama yaratabilir.	3 4 12	Toz toplama sistemlerine basınç tahliye valfleri ve patlama tahliye panelleri gibi ek güvenlik sistemleri kurulmalıdır. Bu sistemler, olası bir patlamayı bastırmak veya yönlendirmek için kritik öneme sahiptir.	2 3 6
23		Yangın	Ahşap tozu, kimyasal maddeler veya diğer yanıcı maddelerin bulunduğu yerlerde soba, bu maddelerin yanmasına ve hızla yayılmasına sebep olabilir.	4 5 20	Çalışma ortamında bulunan ısıtıcılar kaldırılmalıdır.	2 1 2

Tablo 8. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
24		Toz Patlaması	Özellikle ahşap, gibi yanıcı tozların bulunduğu yerlerde soba, toz patlaması için bir tutuşturma kaynağı oluşturabilir. Soba çevresinde asılı kalan tozlar, sıcak yüzeylerle temas ettiğinde kolayca tutuşabilir ve patlamaya yol açabilir.	4	4	16	Eğer soba kullanılması zorunluysa, soba çevresinde hiçbir şekilde yanıcı madde veya toz birikmesine izin verilmemelidir.	3	2	6
25		Tutuşma Kaynağı	Sobanın aşırı ısınması, çalışma ortamındaki asılı kalan tozların ısınıp patlamasına neden olabilir.	3	4	12	Eğer çalışma ortamında yanıcı toz birikimi oluyorsa, soba kullanımı tamamen yasaklanmalıdır. Yanıcı tozların bulunduğu ortamlarda açık alev kaynakları çok tehlikelidir.	2	2	4

Tablo 8. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
26		Toz Birikimi ve Patlama	Tozlu ortamlarda kapaksız priz kullanımı, prizlerin içerisine toz birikmesine neden olabilir. Elektrik prizlerinde biriken tozlar, zamanla bir tutuşma kaynağına dönüşebilir. Bu hem yangın hem de toz patlaması riskini artırır.	4	4	16	Toz, nem veya yanıcı maddelerin olduğu tüm alanlarda kapaklı prizler kullanılmalıdır. Bu prizler, kullanılmadıkları zamanlarda otomatik olarak kapanır ve toz, sıvı veya yabancı maddelerin girişini önler. Aynı zamanda, kapaklı prizler kıvılcım riskini de minimize eder.	1	2	2
27		Çalışma ortamında sıcak yüzeylerin bulunması	Sıcak yüzeyler, tozların veya yanıcı maddelerin üzerinde bulunduğu, bu maddelerin tutuşturulma riskini artırır. Özellikle yanıcı tozlar, yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında kolayca tutuşabilir.	3	5	15	Sıcak yüzeyler, uygun ısı yalıtımı ile kaplanarak ısının yayılmasını azaltılmalıdır. Bu, ortamın genel sıcaklığını düşürmeye yardımcı olur.	1	2	2

3.3. C İşletmesine Ait Bulgular

İşletme, mikro ölçekli olup mobilya ve kapı üretimi yapmaktadır. Günlük üretim faaliyeti süreklilik göstermektedir. Üretim sürecinde bazı makinelerde toz toplama sistemleri bulunmaktadır. İşletmenin aydınlatılmasında enerji tasarrufu sağlayan floresan lamba kullanılmaktadır.

Havalandırma, işletme içindeki kapı ve pencereler aracılığıyla doğal yollarla yapılmaktadır. Ancak bu havalandırma sistemi, işletmenin tüm bölümlerine etkili bir şekilde ulaşamamaktadır. Özellikle kimyasalların depolandığı alanlar ve makinelerin bulunduğu bölgelerde yetersiz hava akımı, toz patlaması açısından ciddi riskler ortaya çıkarmaktadır. Bu alanlarda yeterli hava akışının olmaması, havada askıda kalan tozların birikmesine ve patlama riskini artıran tehlikeli bir ortam oluşmasına neden olabilir. Yetersiz havalandırma, patlama sınırına ulaşabilecek toz konsantrasyonlarının meydana gelmesini kolaylaştırabilir.

İşletme içinde çeşitli kimyasalların yanı sıra, bazı ekipmanların üzerinde benzin şişeleri bulundurulmaktadır. Bu durum, özellikle havada biriken tozlarla birleştiğinde, toz patlaması riskini önemli ölçüde artırmaktadır.

Bu nedenle, yangın ve patlama risklerini azaltmak amacıyla önlemler almak hayati önem taşımaktadır. İşletmeye ait risk değerlendirme sonuçları detaylı olarak Tablo 9’da sunulmuştur.

Tablo 9. C işletmesine ait 5x5 risk değerlendirme matrisi sonucu

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
1		Elektrik kablolarının korumasız ve açıkta bulunması	Yanıcı toz bulunan ortamlarda açıkta kalan kablolar, kısa devre yaparak kıvılcım oluşturabilir. Bu kıvılcımlar, tozun patlayıcı hale gelmesine yol açabilir. Ayrıca, aşırı ısınan kablolar da yangın tehlikesi yaratır. Tozla kaplanan kabloların, elektriksel arızaya daha yatkın hale gelmesi ve bu arızanın yangına veya patlamaya neden olma olasılığı yüksektir.	4	4	16	Elektrik kabloları, dayanıklı ve yalıtkan bir malzeme ile kaplanmalıdır. Toz geçirmez kılıflar kullanılmalı, kabloların dış etkenlere karşı korunması sağlanmalıdır.	2	2	4
2		Yanıcılık	Yağlar genellikle yüksek yanıcılık özelliğine sahiptir ve kıvılcımlarla kolayca alev alabilir. Yağın yanması, özellikle toz patlaması riski taşıyan bir ortamda, zincirleme bir reaksiyon başlatabilir.	3	3	9	Yağ bulunan bölgelerde kıvılcım oluşturabilecek kaynaklar (elektriksel arızalar, statik elektrik, sıcak yüzeyler) minimize edilmelidir. Özellikle elektrikli ekipmanlar ve kablolama sistemleri iyi izole edilmelidir.	2	1	2

Tablo 9. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
3		Yüzey Kirlenmesi	Yağ, yüzeylerde biriktiğinde tozların yapışmasını kolaylaştırarak kalın bir tabaka oluşturur. Bu tabaka, patlayıcı bir ortam yaratabilir.	2	3	6	Yağ bulunan ortamlar düzenli olarak temizlenmeli, yağlı yüzeylerde toz birikmesine izin verilmemelidir.	1	2	2
4		Yanıcı Madde Bulunması	Benzin, düşük bir alev noktası (yaklaşık 30 °C) ve yüksek buhar basıncı ile son derece yanıcıdır. Buharları, havada asılı olan tozlar ile yanıcı karışımlar oluşturabilir.	4	4	16	Benzin, uygun, patlamaya dayanıklı ve sızdırmaz kaplarda saklanmalıdır. Bu kapların üzerinde "yanıcı madde" uyarı işareti bulunmalıdır.	2	3	6

Tablo 9. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
5		Patlama Riski	Benzin buharları, kapalı veya yarı kapalı alanlarda birikerek patlayıcı ortamlar oluşturabilir. Kıvılcım ya da sıcak yüzey gibi ateşleyici kaynaklarla birleştiğinde ani toz patlamalara yol açabilir.	4	4	16	Benzin bulunan alanlarda etkili bir havalandırma sistemi sağlanmalı, buharların dışarı atılması sağlanmalıdır.	2	2	4
6		Yanıcı Karışım Oluşumu	Sıcak metal yüzeylerde biriken tozlar, yüksek sıcaklıkla birleştiğinde yanıcı bir karışım oluşturabilir. Bu karışım, küçük bir kıvılcım veya ısı kaynağı ile aniden tutuşabilir.	3	3	9	Sıcak metal yüzeylerin düzenli olarak temizlenmesi sağlanmalıdır. Toz birikintileri, her çalışma döngüsünden sonra veya belirli aralıklarla temizlenmelidir.	1	2	2

Tablo 9. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
7		Aşırı Isınma	Metal yüzeylerin ısınması, üzerindeki tozların tutuşmasına ve yangın çıkmasına neden olabilir. Toz birikintileri, sıcak metal yüzeylerde bir ısı yalıtım etkisi yaratarak daha fazla ısınmasına yol açabilir.	3	4	12	Metal yüzeylerin sıcaklıkları düzenli olarak izlenmeli ve aşırı ısınma durumları tespit edilmelidir. Aşırı ısınan yüzeyler, soğutma sistemleri ile kontrol altında tutulmalıdır.	2	2	4
8		Patlama	İnce tozlar, belirli bir konsantrasyonda havada asılı kaldığında patlayıcı bir karışım oluşturabilir. Zeminde biriken toz, havadaki kıvılcım veya ısı kaynakları ile birleştiğinde ani bir patlama meydana getirebilir.	4	4	16	Zeminlerde ince toz birikintilerinin birikmesini önlemek için düzenli temizlik yapılmalıdır.	2	3	6

Tablo 9. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
9		Yangın Tehlikesi	Toz birikintileri, sıcak yüzeylerle temas ettiğinde tutuşabilir. Ayrıca, yanıcı malzemelerle birleştiğinde yangın riskini artırır.	3	4	12	İnce tozların bulunduğu alanlarda açık alev ve kıvılcım kaynakları bulundurulmamalıdır. Elektriksel ekipmanların patlamaya dayanıklı olması gerekmektedir.	1	2	2
10		Uygun Olmayan Elektrik Panoları	Yetersiz tasarım, yanlış montaj veya aşırı yüklenme nedeniyle elektrik panolarında aşırı ısınma meydana gelebilir. Bu durum, kıvılcım oluşmasına sebep olabilir.	3	3	9	Elektrik panoları, yerel ve uluslararası elektrik güvenlik standartlarına uygun olarak tasarlanmalı ve kullanılmalıdır.	2	2	4

Tablo 9. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
11		Yanıcı Toz Birikimi	Havalandırma yokluğunda, ortamda bulunan yanıcı tozlar (örneğin, ahşap tozu) birikerek belirli bir konsantrasyona ulaşabilir. Belirli bir seviyeye ulaştığında, bu tozlar havada asılı kalabilir ve patlama riski oluşturabilir.	3	4	12	Kapalı alanlarda mekanik havalandırma sistemleri kurulmalı ve düzenli olarak bakımı yapılmalıdır. Bu, havadaki toz miktarını azaltır.	2	2	4
12		Ateş Kaynakları ile Etkileşim	Yetersiz havalandırmada biriken yanıcı tozlar, kıvılcım, ısı veya açık ateş gibi ateş kaynaklarıyla etkileşime girdiğinde patlama riski artar. Bu durum, üretim alanında büyük bir tehlike yaratır.	2	3	6	Yanıcı tozların bulunduğu alanlarda ateş kaynakları (kıvılcım çıkaran ekipmanlar, açık alevler) kullanılmamalıdır.	2	1	2
13		İkincil Patlama Riski	İlk patlamadan sonra, ortaya çıkan toz bulutları ve enkaza bağlı olarak ikincil patlamalar meydana gelebilir. Bu durum, daha geniş bir alanın etkilenmesine ve daha fazla hasara neden olabilir.	2	3	6	Üretim süreçlerinde tozların birikimini önlemek için toz toplama sistemleri (vakum sistemleri) kullanılmalıdır.	1	2	2

Tablo 9. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
14		Havada Yüksek Toz Konsantrasyonu	Toz toplama sisteminin etkisiz çalışması, ortamda yanıcı tozların birikmesine neden olur. Bu durum, belirli bir konsantrasyona ulaştığında, patlama riskini artırır.	3	4	12	İş yerinin özelliklerine uygun ve verimli toz toplama sistemleri (vakum sistemleri, filtreleme sistemleri) kullanılmalıdır.	2	2	4
15		Ateş Kaynaklarıyla Etkileşim	Biriken tozlar, açık alevler, kıvılcımlar veya ısı kaynaklarıyla etkileşime girdiğinde aniden tutuşabilir ve toz patlamaları meydana gelebilir.	3	3	9	Yanıcı tozların bulunduğu alanlarda ateş kaynakları (kıvılcım çıkaran ekipmanlar, açık alevler) kullanılmamalıdır.	1	3	3
16		Statik Elektrik Birikimi	Yetersiz toz kontrolü, statik elektrik birikimine neden olabilir. Statik elektrik, tozların tutuşmasına yol açabilecek bir kıvılcım oluşturabilir, bu da patlamayı tetikleyebilir.	3	4	12	Toz toplama sistemleri, düzenli olarak kontrol edilmeli ve bakım yapılmalıdır. Tıkanıklıkların giderilmesi ve filtrelerin değiştirilmesi önemlidir.	2	3	6

Tablo 9. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
17		İkincil Patlama Riski	İlk patlama sonrası oluşan toz bulutları, başka bir patlamaya neden olabilir. Bu durum, daha fazla hasar ve yaralanmalara yol açar.	2	3	6	İş yerinde düzenli temizlik yapılmalı ve toz birikintileri derhal temizlenmelidir.	1	2	2
18		Ekipman Arızaları	Yetersiz toz toplama, makinelerde toz birikimine neden olabilir. Bu birikim, ekipman arızalarına, aşırı ısınmasına yol açarak toz patlamasına sebep olabilir.	2	3	6	İş yerinin özelliklerine uygun ve verimli toz toplama sistemleri (vakum sistemleri, filtreleme sistemleri) kullanılmalıdır.	1	2	2
19		Patlama Zamanlaması	Yanıcı tozların, havada belirli bir yoğunluğa ulaşması durumunda patlama meydana gelebilir. Bu durum, iş yerinde ani ve yıkıcı olaylara neden olabilir.	3	4	12	İş yerinde düzenli temizlik yapılmalı ve toz birikintileri derhal temizlenmelidir.	2	2	4

Tablo 9. (Devamı)

Sıra No	Resim	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi	Alınacak Önlemler	Olasılık	Şiddet	Risk Seviyesi
20		Yanıcı Toz Birikimi	Tutkallama işlemleri sırasında, ahşap veya diğer malzemelerden kaynaklanan tozlar birikerek, havada belirli bir konsantrasyona ulaşabilir. Bu durum, patlama riski oluşturur.	2	3	6	Tutkallama makinelerinin yanına uygun toz toplama sistemleri (vakum sistemleri) yerleştirilmeli ve düzenli olarak bakımı yapılmalıdır.	1	2	2
21		Patlama Riski	Kalın toz parçaları, havada asılı kalma potansiyeline sahip olduğunda, belirli bir konsantrasyona ulaşabilir. Bu, patlama riski oluşturur. Özellikle, tozların yanıcı olduğu durumlarda bu risk daha da artar.	3	4	12	Toz toplama sistemlerinin aktif olarak kullanılmasını sağlayarak kalın tozların birikmesi önlenir.	2	2	4

4. TARTIŞMA

L Tipi Matris (5x5) yöntemi kullanılarak yapılan risk değerlendirmesi sonucunda 3 ayrı mikro ölçekli işletmede 64 adet risk belirlenmiştir. Bu risklerden 6 tanesi düşük riskli olarak belirlenmiştir. 28 tanesi orta riskli iken; 30 tanesi ise risk seviyesi 15'in üzerinde olan ciddi riskli olarak belirlenmiştir.

Simpson vd. (2024) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, ahşap işçiliği yapılan alanlarda havalandırma sistemleri incelenmiştir. Araştırma, genel havalandırma koşullarını değerlendirmiştir. Çalışma alanlarından ikisinde, duvar veya çatı fanları şeklinde zorunlu mekanik havalandırma bulunurken, bir alanda doğal havalandırma için çatı havalandırması kullanılmıştır (Simpson vd., 2024). Bu araştırmada, incelenen üç işletmeden yalnızca birinde havalandırma pencereleri bulunmakta, diğer iki işletmede ise havalandırma yalnızca kapılar aracılığıyla sağlanmaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, incelenen üç işletmeden ikisinde hiçbir şekilde doğal veya mekanik havalandırma sistemi bulunmamaktadır; havalandırma yalnızca kapıların açık tutulmasıyla sağlanmaktadır. Diğer bir işletmede ise havalandırma için pencere mevcut olmakla birlikte, bu pencere yeterli düzeyde hava akışı sağlayamamaktadır. Havalandırma sistemlerinin eksikliği, yalnızca tozun ortamda birikmesine neden olmakla kalmaz, aynı zamanda toz patlaması riski açısından ciddi bir tehlike oluşturur. Özellikle yanıcı tozların (örneğin, ahşap tozu, MDF tozu veya tarımsal ürün tozları) birikimi, uygun havalandırma ve kontrol önlemleri olmaksızın patlayıcı bir atmosfer oluşmasına zemin hazırlayabilir.

Oral ve Gülsün (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, örnek bir mobilya atölyesindeki çalışma koşulları; makine-insan etkileşimi ve çevresel faktörler bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, çalışma ortamında tutuşma ihtimali yüksek ürünlerin ana malzeme olarak kullanılması nedeniyle yangın tehlikesinin var olduğu belirlenmiştir (Oral ve Gülsün, 2019). Benzer şekilde yapılan bu tez çalışmasında, MDF gibi malzemelerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan toz, ciddi yanma veya patlama tehlikesine yol açabilmektedir. Ayrıca, kimyasal maddelerin saklandığı dolabın kilitli olmaması, yetkisiz kişilerin bu maddelere erişim riskini artırmakta ve kimyasalların özelliklerine göre uygun şekilde depolanmaması, fiziksel ve kimyasal etkenlerle etkileşime girerek patlama riskini ortaya çıkarmaktadır sonucu bulunmuştur. Bu tez çalışmasında ise, çalışma ortamlarında boyalar, benzinler ve tinerler gibi birçok kimyasal maddenin bulunduğu ve bu maddeler toz patlamasına sebebiyet

vereceği sonucu ortaya çıkarmıştır. Bu kimyasal maddeler, çalışma ortamında toz patlama kriterlerinin oluşmasına neden olabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, iş yerlerinde kimyasal maddelerin uygunsuz bir şekilde bırakıldığı ve kullanıldığı, güvenli depolama alanları yerine doğrudan çalışma ortamında bulundurulduğu tespit edilmiştir. Bu durum, güvenli bir çalışma ortamının sağlanmasında ciddi bir zafiyet yaratmaktadır. Dahası, bu tür maddelerin korunmasına yönelik herhangi bir önleyici veya koruyucu tedbirin alınmamış olması, toz patlaması gibi ciddi riskleri beraberinde getirmektedir. Özellikle, iş yerinde toz oluşumunu artıran faaliyetlerin varlığı, bu maddelerin patlayıcı bir ortam oluşturma potansiyelini daha da artırmaktadır. Ayrıca, iş yerindeki havalandırma sistemlerinin yetersiz olması, doğal havalandırmanın da etkisiz kalmasıyla birlikte, havadaki toz yoğunluğunu artırarak patlama riskini yükseltmektedir. Bu bulgu, Yılmaz'ın (2015) mobilya sektöründeki firmaların iş sağlığı ve güvenliği koşullarını incelediği araştırmasıyla paralellik göstermektedir. Yılmaz'ın çalışmasında da patlayıcı madde kullanımından kaynaklanan tehlikelerin önemli bir risk faktörü olduğu belirtilmiş, yetersiz havalandırma sistemlerinin tehlikeli buharların ve gazların birikmesine yol açarak iş yerlerinde ciddi riskler oluşturduğu sonucuna varılmıştır (Yılmaz, 2015).

Öte yandan, Aydoğdu'nun (2023) araştırmasında işletme genelinde yapılan değerlendirme sonucunda, aydınlatma, toz, gürültü, ortamın termal konforu ve titreşim gibi tehlikeler dikkate alınarak L tipi matris yöntemi kullanılmıştır. Araştırma sırasında, makinelerin işlenen malzemelerle çevrili olduğu, kullanım sonrası temizliğinin yapılması gerektiği vurgulanmıştır. İşyerinde elektrik bağlantı kablolarının dağınık halde bırakıldığı ve prizlerin kapaksız olduğu tespit edilmiştir (Aydoğdu, 2023). Bu tez çalışmasında yapılan gözlemler sonucunda, benzer tehlikelerin bulunduğu gözlenmiştir. Özellikle, makinelerin yan kısımlarında parlayıcı ve patlayıcı maddelerin bulunduğu, elektrik aksamındaki bazı uçların korunaksız bir şekilde açık bırakıldığı ve prizlerin kapaksız olduğu belirlenmiştir. Aydoğdu (2023) çalışmasında, 40 önemli risk, 13 katlanılamaz risk ve 44 orta düzeyde risk tespit etmiştir.

Güneysu (2016) çalışmasında, işletmede tespit edilen tehlike ve riskler arasında, kazan dairesinin önünde bulunan parlayıcı maddelerin yangın riski yaratabileceği vurgulanmıştır. Araştırma, işletmedeki mevcut düzenlemelerin bu tür risklerin azaltılmasına yeterince katkı sağlamadığını göstermiştir (Güneysu, 2016). Bu tez çalışmasında ise, işletmenin iç kısmında, özellikle makinelerin bulunduğu alana yakın konumlandırılmış boya, vernik gibi yanıcı ve patlayıcı özellik taşıyan maddelerin varlığı tespit edilmiştir. Bu durum, yalnızca yangın riski değil, aynı zamanda toz patlaması riski

açısından da önemli bir tehlike oluşturmaktadır. Özellikle yanıcı toz ve patlayıcı madde kombinasyonunun, işletmede ciddi güvenlik tehditleri yarattığı söylenebilir (Güneysu, 2016).

Ahşap ve mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede gerçekleştirilen bu çalışmada yapılan gözlemler sırasında, iş yerlerinde güvenli olmayan ısıtıcıların kullanıldığı tespit edilmiş, özellikle soba gibi açık alevli ısıtıcıların varlığı önemli bir tehlike unsuru olarak değerlendirilmiştir. Soba kullanımının, yanıcı tozlarla birlikte ele alındığında 1. derece önemli risk oluşturduğu saptanmış; bu durum, yangın ve patlama riskini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu tez çalışmasında incelenen üç işletmeden birinde, ısınma amacıyla kullanılan sobanın işletme alanının ortasında, yanıcı tozların birikebileceği bir bölgede konumlandığı gözlemlenmiştir. İşletme ortamına yayılan toz, soba gibi açık alev kaynağı ile birleştiğinde potansiyel bir toz patlaması riskini doğurmakta, çalışanların güvenliği açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Ayrıca, Kaya vd. (2020) çalışmasında da benzer bulgular elde edilmiştir; bu araştırmada, işletmenin genelinde yapılan risk analizi sonucunda 26 yüksek risk, 20 orta düzeyde risk ve 3 düşük seviyede risk olmak üzere toplamda 49 risk faktörü tanımlanmıştır. Bu durum, sektördeki iş sağlığı ve güvenliği risklerinin çeşitliliğini ve ciddiyetini bir kez daha ortaya koymaktadır (Kaya vd., 2020).

Aksoy ve Keskin'in (2019) yürüttüğü çalışmada, incelenen ortamın iklimlendirme, havalandırma, gürültü, titreşim ve toz gibi fiziksel faktörler açısından yetersiz olduğu saptanmıştır. Çalışmada, ortamda bulunan tozun yeterli ölçümlere tabi tutulmaması ve maruziyet kaynaklarının varlığı nedeniyle tehlike olasılıklarının en yüksek seviyede olduğu belirtilmiştir. Ayrıca makinelerde toz emici sistemlerin bulunmaması veya işlevsel olmaması, çalışma ortamında ciddi riskler doğurmaktadır (Aksoy ve Keskin, 2019). Bu tez çalışması kapsamında incelenen üç küçük ölçekli işletmede, alanın sınırlı olması, makinelerde toz toplama sistemlerinin bulunmaması veya yetersiz çalışması gibi problemler tespit edilmiştir. Toz toplama sistemlerinin düzenli bakım ve kontrol eksikliğinin de bu işletmelerde potansiyel bir toz patlaması riskini artırdığı gözlenmiştir. Aksoy ve Keskin'in (2019) risk analizi sonuçlarına göre, 3 tolere edilemez risk, 19 önemli risk, 13 orta düzey risk ve 12 düşük risk olmak üzere toplamda 47 risk faktörü belirlenmiştir. Bu bulgular, sektördeki fiziksel tehlikelerin çeşitliliğini ve ciddiyetini ortaya koymaktadır (Aksoy ve Keskin, 2019).

Sönmez vd., (2009), Ankara'da mobilya sektöründe faaliyet gösteren küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde ortam faktörlerini inceleyerek, küçük işletmelerde havalandırma düzeyinin 2,04 olarak bulmuştur. Bu bulgu, işletmelerdeki havalandırma

sistemlerinin yetersiz olduğunu ve çalışma koşullarının güvenliğini olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir (Sönmez vd., 2009). Bu tez çalışmasında da toz patlaması riskinin değerlendirilmesi için işletmelerin havalandırma koşulları dikkate alınmıştır. İncelenen üç işletmeden ikisinde, mekanik havalandırma sisteminin eksik olduğu ve havalandırmanın yalnızca kapı açılması yoluyla sağlandığı tespit edilmiştir. Bu durum, ortamda biriken tozun dışarı atılamamasına yol açmakta ve sonuç olarak, toz birikiminin artarak toz patlaması riskini artırabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, toz birikimi sadece patlama riskini değil, aynı zamanda solunum sağlığına da olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Dolayısıyla, bu işletmelerde etkili bir havalandırma sistemi kurulması hem çalışanların sağlığını korumak hem de potansiyel yangın ve patlama risklerini azaltmak için kritik öneme sahiptir (Sönmez vd., 2009).

Atılğan vd. (2015) tarafından yapılan çalışma, küçük ve orta ölçekli mobilya işletmelerinde iş güvenliği eğitimlerinin sağlanması gerekliliğini ortaya koymakta ve bu eğitimlere çalışanların katılımının zorunlu olması gerektiğini vurgulamaktadır. Ahşap ve mobilya atölyelerinde sunulması gereken eğitimlerin kapsamlı bir şekilde ele alınması gerektiği ifade edilmiştir. Bu çerçevede öncelikle genel iş sağlığı ve güvenliği kuralları hakkında bilgi verilmesi önerilmektedir. İş kazaları, meslek hastalıklarının nedenleri ve iş yerindeki risklerin değerlendirilmesi gibi konuların da eğitimlerde önemli bir yer tutması gerektiği belirtilmiştir. Bu kapsamda, kaza, yaralanma ve hastalıklardan korunma tekniklerinin uygulamaya aktarılması, iş ekipmanlarının güvenli kullanımı ve çalışanların yasal hak ve sorumlulukları konusunda detaylı bilgilendirme sağlanması önemlidir. Ayrıca, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili yasal mevzuata yönelik eğitim verilmelidir. Eğitimlerin diğer temel bileşenlerinden biri, kişisel koruyucu donanımların güvenli kullanımına yönelik bilgilendirme. Bunun yanı sıra, operatör eğitimi ile iş yerinde güvenli çalışma ortamlarının ve sistemlerinin oluşturulması, taşıma ve kaldırma işlemlerinde uyulması gereken güvenlik önlemlerinin açıklanması gerekmektedir. Ekranlı ekipmanlarla çalışma, uyarı işaretlerinin doğru yorumlanması, kimyasal, fiziksel ve biyolojik maddelerden kaynaklanan risklerin tanıtılması ve iş yerinin düzenine ilişkin bilgiler de eğitimlerin kapsamına dahil edilmelidir. Yangın önleme, temel konfor koşulları, ergonomi, elektrik tehlikeleri ve bu tehlikelerden korunma yöntemleri iş güvenliği eğitimlerinde önem arz eden diğer konulardır. İlk yardım ve kurtarma tekniklerine yönelik eğitim de iş güvenliği kapsamında ele alınması gereken temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bu konuların mobilya sektörü için iş sağlığı ve güvenliğini sağlama açısından eğitimlerde mutlaka işlenmesi gerektiği önerilmektedir. Ancak, yapılan çalışmada mobilya sektöründeki tehlikelere yönelik eğitimler arasında toz

patlaması riski ele alınmamıştır (Atılğan vd., 2015). Bu tez çalışması kapsamında ise mobilya imalatı yapılan iş yerlerinde toz patlamasına neden olabilecek çeşitli tehlike ve riskler belirlenmiştir. Bu bağlamda, çalışanlara yönelik verilen iş güvenliği eğitimlerine toz patlamasına dair özel bir bölüm eklenmesi ve bu konuda kapsamlı bilgilendirme yapılması gerektiği önerilmektedir.

Tor (2015), kapı üretim sektöründe iş sağlığı ve güvenliği alanında yapılacak çalışmalara temel oluşturmayı, işletmelerde risk analizi yaparak çalışan sağlığı, iş verimliliği ve ekonomik sürdürülebilirliğe katkı sunmayı amaçlamıştır. Bu doğrultuda, kapı imalat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği açısından karşılaşılabilecek tehlike ve riskleri analiz ederek, bu riskleri kabul edilebilir seviyelerde tutabilmek adına alınması gereken önlemleri araştırmıştır. Çalışmasında, üretim tesislerindeki olası tehlike ve riskleri "L Tipi Matris Risk Analizi" metoduna göre değerlendirmiştir. Risk analizinde tehlikelerden biri olarak cila hattında boya tinerinin depolanması ve bu ortamda çalışmayı tespit etmiş ve bu durumu "kabul edilemez risk" olarak sınıflandırmıştır (Tor, 2015). Bu tez çalışmasında ise, Tor'un (2015) çalışmasına benzer şekilde, çalışma ortamında tiner gibi yanıcı ve patlayıcı maddelerin varlığı önemli bir tehlike kaynağı olarak ele alınmıştır. Tiner gibi yüksek yanıcılık özelliklerine sahip kimyasallar, çalışma ortamında patlama ve yangın riski oluşturmakta olup iş sağlığı ve güvenliği açısından kritik önem arz etmektedir. Bu kapsamda, söz konusu tehlike "ciddi risk" kategorisinde sınıflandırılmış ve riskin azaltılması için alınabilecek önleyici tedbirler ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde mobilya sektörünün genel görünümünün, ağırlıklı olarak atölye tipi küçük ölçekli işletmelerin ön planda olduğu bir yapı sergilediği dikkate alındığında, son yıllarda yürürlüğe giren yasal düzenlemelere rağmen, bu işletmelerde iş güvenliği ve risk analizi ile ilgili çalışmalar yeterince önemsenmemekte ve sıkça göz ardı edilmektedir. Küçük ölçekli işletmelerin kısıtlı kaynakları ve bilgi eksiklikleri, bu durumun başlıca sebepleridir. Bu durum hem çalışanların sağlığı ve güvenliğini hem de işyeri güvenliğini olumsuz etkilemektedir.

Bu çalışma, mobilya imalatı yapan mikro ölçekli işletmelerde toz patlama riskini değerlendirmek için yapılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde, konunun kavramsal çerçevesi yazında dikkate alınarak anlatılmıştır. Çalışmanın yapıldığı işletmelerin içinde yer aldığı işletmelerin sektör yapısı kısaca anlatılmış ve aynı başlık altında kullanılan risk değerlendirme yöntemi tanıtılmıştır. Bulgular kısmında işletmelerde yapılan çalışmalar ve bulgular anlatılmış ve elde edilen bulgular ile yazında yer alan çalışma sonuçları tartışılmıştır. Son kısımda ise ulaşılan sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

Çalışma sonucunda toplam 64 risk unsuru tespit edilmiştir. Bu risklerin 30'u "yüksek risk," 28'i "orta risk" ve 6'sı "düşük risk" olarak değerlendirilmiştir. Tespit edilen bu riskler tüm işletmeler açısından değerlendirildiğinde, çalışma ortamında tozların birikmesi, patlayıcı özelliği bulunan LPG tüpünün ortamda bulundurulması, toz toplama torbalarının tozla dolu olması veya toz toplama torbalarının hiç bulunmaması, makine sıcak yüzeylerinde toz birikmesi, elektrik kablolarının açıkta ya da deforme halde bulunması, çalışma ortamında tiner ve benzin gibi yanıcı maddelerin yer alması, kıvılcım etkisi oluşturabilecek soba gibi ekipmanların bulunması ve prizlerin kapaksız olması gibi durumlar toz patlamalarına sebebiyet verebilecek yüksek risk unsurları olarak belirlenmiştir. Bu bulguların ortadan kaldırılması ya da risk seviyelerinin düşürülmesi, mobilya imalatı yapan işletmelerde toz patlaması risklerinin önlenmesi açısından önemlidir. Çalışma ortamının yetersiz havalandırılması, yerde biriken tozların çeşitli etkenler nedeniyle havaya karışabilmesi, MDF tozunun ortamda bulunması ve elektrikli el aletlerinin kullanımı gibi faktörlerin, özellikle bu aletlerde statik elektrik birikmesi durumunda, orta düzey risk faktörleri olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen işletmeler, toz patlamasına neden olan beş ana faktör (kapalı ortam, tutuşma kaynağı, oksijen, yanıcı toz ve toz bulutu) açısından değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Kapalı Ortam: İlk faktör olarak, işletmelerin hepsi kapalı bir ortamda faaliyet göstermektedir. Bu durum, ortamda oluşan tozun hava akışı ile dışarı atılmasını engelleyerek patlama riskini artırmaktadır. İncelenen işletmelerde yeterli bir havalandırma sistemi bulunmadığından, doğal hava akışı yalnızca kapılar aracılığıyla sağlanmaktadır. Ancak kapılar her zaman açık kalmadığı için havalandırmanın sürekli sağlanamaması, iş atmosferinde toz miktarının artmasına ve tozun tutuşarak patlamasına neden olabilmektedir. Bu, kapalı ortam faktörünün işletmelerde toz patlaması riskini yükselttiğini göstermektedir.

2. Tutuşma Kaynağı: İkinci olarak, işletmelerde olası bir tutuşma kaynağının varlığı dikkate alınmıştır. Üç işletmede de çeşitli tutuşma kaynakları bulunmaktadır. Bu kaynaklar arasında açıkta bırakılmış elektrik prizleri, elektrik panoları, küçük ev aletleri, mutfak tüpleri ve şişelerde depolanan benzin gibi maddeler sayılabilir. Bu unsurlar, işletmelerde yanıcı tozların tutuşmasına ve potansiyel bir patlamaya yol açabilecek kıvılcımlar veya aşırı ısınma riskine neden olabilmektedir. İşletmelerde bu tür unsurların bulunması, ortamda sürekli bir tutuşma kaynağı tehdidini oluşturmakta ve yangın veya patlama riskini ciddi oranda artırmaktadır.

3. Oksijen: Oksijen, yanmanın ve dolayısıyla patlamanın temel bileşenlerinden biridir. Çalışma yapılan işletmelerin her birinde doğal olarak oksijen bulunmakta, bu da olası bir toz patlaması için gerekli olan üçüncü faktörün var olduğu anlamına gelmektedir. Oksijenin yeterli miktarda mevcut olması, eğer diğer faktörler de hazır ise toz patlaması riskini kaçınılmaz hale getirmektedir.

4. Yanıcı Toz: Yanıcı toz, işletmelerin faaliyet gösterdiği ortamlarda yaygın olarak bulunmaktadır. Ancak, incelenen üç işletmeden ikisinde toz toplama sistemi bulunmamaktadır. Bu durum, üretim sırasında oluşan tozların işletme içerisinde yayılmasına neden olmaktadır. Oluşan toz, işyeri ortamından uzaklaştırılmadığında, işyeri atmosferinde, işletme tabanında, işletmede kullanılan makine ve donanımların üzerinde birikerek patlamaya neden olabilir. Toz toplama sistemlerinin bulunmaması, yanıcı tozların ortamda kontrolsüz bir şekilde dağılmasına ve uygun koşullarda toz birikimlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Toz toplama sisteminin eksikliği, toz patlaması riskini artıran önemli bir faktördür.

5. Toz Bulutu: Son olarak, işletmelerde toz bulutunun oluşum süresi incelenmiştir. İncelenen üç işletmeden ikisinde sürekli iş yapılmadığı için toz oluşum sıklığı düşük kalmakta, havada asılı halde bulunan tozun süresi kısa olmaktadır. Bu işletmelerde ara sıra oluşan toz bulutları, hızlı bir şekilde çökmekte ya da dağılmaktadır. Ancak, sürekli aktif olarak çalışan üçüncü işletmede, işlem sırasında sürekli toz üretimi olduğu için

havada asılı kalan toz miktarı oldukça yüksektir. Toz bulutunun sürekliliği ve yoğunluğu, bu işletmede diğerlerine göre daha fazla risk oluşturmaktadır. Havada asılı kalan tozun uzun süre ortamda bulunması, kıvılcım veya benzeri bir tutuşma kaynağı ile birleştiğinde patlama riskini doğurabilmektedir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, araştırma yapılan işletmelerde kapalı ortam, tutuşma kaynağı, oksijen, yanıcı toz ve toz bulutu olmak üzere beş ana faktörün mevcut olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak toz patlamaları için bu faktörlerin olması kadar; bu faktörlerin aynı anda bir arada bulunması da gereklidir. Mobilya imalatı sırasında toz oluşumu önlenemese de oluşan tozun ortamdaki uzaklaştırılması ile ya da bu da yapılamıyorsa tutuşmaya neden olabilecek faktörler işyeri ortamından kaldırılarak toz patlamasına giden halka kırılabilir. Daha genel bir ifade ile aynı anda beş faktörün işyeri ortamından kaldırılması mümkün olmasa da iyi bir yönetimle bu faktörlerden en az biri ortamdaki kaldırılarak toz patlama riski ortadan kaldırılabilir.

Mobilya imalatı yapılan mikro ölçekli işletmelerde toz patlaması riskini azaltmak ve iş güvenliğini artırmak için aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir:

- Çalışanlara toz patlaması riski ve önleyici tedbirleri hakkında bilgi ve eğitim verilmelidir.

- İşletmelerde toz oluşumunu ve birikimini azaltmaya yönelik önlemler alınmalıdır. Bu önlemler, işyeri atmosferinin havalandırılması, toz tutucuların kullanılması ve düzenli işyeri temizliğinin yapılması şekillerinde olabilir.

- İşletmelerde toz patlaması riskine karşı düzenli denetimler yapılmalıdır. Bu denetimler sırasında, risk değerlendirmesi güncellenmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır.

- Çalışanlar risk faktörleri hakkında bilgilendirilebilir. Bu sayede patlamanın olması için gerekli 5 faktörün aynı anda bir arada olması önlenir.

- İşyeri temizliği için vakumlu araçlar kullanılmalıdır. Basıncı hava veya fırça gibi yöntemlerden kaçınılmalıdır. Fırça kullanmak, kaba atıkları ortadan kaldırmada kullanılabilir ancak bu işlem sırasında yere çökelmiş tozun havaya karışmasına da neden olur. Basıncı hava kullanılması, toz ve parçacıkların havaya karışmasına neden olur ve bu durum, işyeri atmosferinde tozun yoğunluğunun artmasına, diğer şartlarında oluşması halinde toz patlamasına neden olur.

- İşletmede bulunan elektrik prizleri, toz patlaması riskini azaltmak amacıyla kapaklı olmalıdır. Elektrik bağlantı kabloları ve açık uçlar, tozun tutuşmasını/tozla temasını önlemek için yalıtılmalıdır. Özellikle tozlu ortamlarda, kısa ve düzenli kablolar kullanmak hem kablo hasarını önler hem de tozun kablo bağlantı noktalarında birikmesini

engelleyerek güvenliği artırır. Bu önlemler, tozun ateşleyici ile temasını keserek toz kaynaklı patlamaların önüne geçmek için önemlidir.

-Çalışma ortamındaki aydınlatma ve işyerinin ısıtılmasında kullanılan araçlarında doğru seçilmesi ve kullanılması önemlidir. Isıtmada kullanılan soba, elektrikli ısıtıcı, tüp gibi kaynaklar toz patlamasında bir faktör olan tutuşturucu olarak rol oynayabilirler. Bu araçların sıcak yüzeyleri ile toz bulutunun temas etmesi engellenmelidir.



KAYNAKÇA

- Abbasi, T. ve Abbasi, S. A. (2007). Dust explosions—Cases, causes, consequences, and control. *Journal Of Hazardous Materials*, 140(1-2), 7-44.
- Abbott, J. A. (1990). *Prevention of Fires and Explosions in Dryers: A User Guide* (No. 432). IChemE.
- Afyonlu, A. S. (1981). *Ağaçışleri Takım ve Makine Bilgisi*. MEB.
- Akbar-Khanzadeh, F. ve Brillhart, R. L. (2002). Respirable crystalline silica dust exposure during concrete finishing (grinding) using hand-held grinders in the construction industry. *Annals of Occupational Hygiene*, 46(3), 341-346.
- Akpınar, T. ve Çakmakaya, B. Y. (2014). İş sağlığı ve güvenliği açısından işverenlerin risk değerlendirme yükümlülüğü. *Çalışma ve Toplum*, 1(40), 273-304.
- Aksoy, E. ve Keskin, H. (2019). Mobilya endüstrisinde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili risk değerlendirmesi: Begonya mobilya imalat işletmesi örneği. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 46-60.
- Aksu, B., Koç, K. H., ve Karademir, D. (2011). An evaluation on growth potential of the small and medium scale enterprises (SME) in Turkish furniture industry. *African Journal of Agricultural Research*, 6(13), 2956-2965.
- Amyotte, P. R., Basu, A. ve Khan, F. I. (2005). Dust explosion hazard of pulverized fuel carry-over. *Journal of Hazardous Materials*, 122(1-2), 23-30.
- Amyotte, P. (2013). *An introduction to dust explosions: understanding the myths and realities of dust explosions for a safer workplace*, Butterworth-Heinemann.
- Asana, M. M. (2015) *Endüstriyel Tesislerde Toz Patlamaları, modellenmesi ve Risk Azaltılması*, Doktora tezi.
- Atılğan, A., Ersen, N., Peker, H. ve Kahraman, N. (2015). Türkiye mobilya sanayinde iş kazası ve meslek hastalıklarının önlenmesine ilişkin tavsiyeler. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 14(2), 664-683.
- Ay, S. (2014). *İş sağlığı ve güvenliği açısından kot üretimi yapan bir işletmede risk değerlendirme uygulaması*. Yüksek Lisans tezi.
- Aydoğdu, R. (2023). *Ahşap ve mobilya sektöründe Fine-Kinney, HRNS, X tipi ve L tipi matris yöntemleri kullanılarak ve ortam ölçümleriyle risklerin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans tezi.
- Bartknecht, W. (1981). *Explosions-Course, Prevention, Protection*, Springer-Verlag, Berlin.

- Bartknecht, W. (1988). Explosion Protection Systems For Combustible Dusts And Hybrid Mixtures. 2. *Staub Reinhaltung Der Luft*, 48(11), 417-425.
- Bozkurt, A. Y. ve Bozkurt, T. (1979). Ağaç işleyen endüstrilerde sağlık sorunları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 2(29), 60-67.
- Carton, M., Goldberg, M. ve Luce, D. (2002). Occupational exposure to wood dust. Health effects and exposure limit values. *Revue d'épidémiologie et de santé publique*, 50(2), 159-178.
- Cashdollar, K. L. (2000). Overview of dust explosibility characteristics. *Journal of loss prevention in the process industries*, 13(3-5), 183-199.
- Ceylan, H. ve Başhelvacı, V. S. (2011). Risk değerlendirme tablosu yöntemi ile risk analizi: Bir uygulama. *International Journal of Engineering Research and Development*, 3(2), 25-33.
- Chen, X., Zhang, H., Chen, X., Liu, X., Niu, Y., Zhang, Y. ve Yuan, B. (2017). Effect of dust explosion suppression by sodium bicarbonate with different granulometric distribution. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 49, 905-911.
- Chung, K. K., Cuthbert, R. J., Revell, G. S., Wassel, S. G. ve Summers, N. (2000). A study on dust emission, particle size distribution and formaldehyde concentration during machining of medium density fibreboard. *Annals of Occupational Hygiene*, 44(6), 455-466.
- Cui, Y., Yin, J., Cai, Y., Wang, H., Zhu, N., ve Ding, T. (2022). Spatial distribution characteristics of the dust emitted at different cutting speeds during MDF milling by image analysis. *Journal of Wood Science*, 68(1), 17.
- Crowl, D. A. (2010). *Understanding Explosions*. John Wiley ve Sons.
- Crowl, D. A. ve Louvar, J. F. (2001). *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*. Pearson Education.
- Çakar, İ., Kürkçü, E. A., Coşkunes, F. ve Ahioğlu, S. S. (2009). Mobilya sektöründe kullanılan tehlikeli kimyasal maddelerin risk derecelerinin belirlenmesi. VII. Uluslararası Ambalaj Kongre ve Sergisi Bildirileri, 9-11 Mayıs 2013, İstanbul.
- Didari, V. (1986). Kömür Tozu Patlamalarına Karşı Önlemler. *The Preventive Measures Against the Coal Dust Explosions*, 1, 25.
- Dobashi, R. (2009). Risk of dust explosions of combustible nanomaterials. *Journal of Physics*, 170, 1.
- Dolny, S., Potok, Z. ve Rogoziński, T. (2013). Effectiveness of filtrating separation of wood dust from the air with variable dust concentration at inlet. *Annals of Warsaw University of Life Sciences SGGW Forestry and Wood Technology*, 81, 56-59.

- Dudarski, G., Kowal, M. ve Czestochowski, C. (2015). Dust explosion hazard in wood processing. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Forestry and Wood Technology*, 90, 61-65.
- Dunjó, J., Fthenakis, V., Vílchez, J. A. ve Arnaldos, J. (2010). Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. *Journal of hazardous materials*, 173(1-3), 19-32.
- Dzurenda, L., Orlowski, K. ve Grzeskiewicz, M. (2010). Effect of thermal modification of oak wood on sawdust granularity. *Drvna industrija*, 61(2), 89-94.
- Ebadat, V. (2010). Dust explosion hazard assessment. *Journal of loss prevention in the process industries*, 23(6), 907-912.
- Eckhoff, R. K. (2000). *The Role of Powder Technology in Understanding Dust Explosions*. In Proceedings of the Third International Symposium on Hazards, Prevention, and Mitigation of Industrial Explosions, Teukuba, Japan.
- Eckhoff, R. K. (2003). *Dust Explosions in The Process Industries*. Identification, assessment and control of dust hazards, Elsevier.
- Eckhoff, R. K. (2009). Understanding dust explosions. The role of powder science and technology. *Journal of loss prevention in the process industries*, 22(1), 105-116.
- Eckhoff, R. K. ve Li, G. (2021). Industrial dust explosions. A brief review. *Applied Sciences*, 11(4), 1669.
- Erdim, H., Türkmen, A., Atalar, C. ve Tansu, A. (2010). *Ahşap Doğrama Atölyelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği El Kitabı*. Taşova Taş Ocakları Vakfı Yayınları.
- Ergun, A. R. (2007). *Yeraltı Maden İşletmelerinde Gaz ve Toz Patlamaları ve Önlemler*. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
- Estrella, X., Guindos, P., Almazán, J. L. ve Malek, S. (2020). Efficient nonlinear modeling of strong wood frame shear walls for mid-rise buildings. *Engineering Structures*, 215, 110670.
- Field, P. (2012). *Dust Explosions*. Handbook of Powder Technology, Elsevier.
- Gökçe, Ş. ve Zorluer, İ. (2022). İnşaat sektöründeki iş kazalarının hata ağacı analizi ile değerlendirilmesi. *Teknik Dergi*, 33(6), 12817-12846.
- Gummer, J. ve Lunn, G. A. (2003). Ignitions of explosive dust clouds by smouldering and flaming agglomerates. *Journal of Loss Prevention in The Process Industries*, 16(1), 27-32.
- Guo, L., Xiao, Q., Zhu, N., Wang, Y., Chen, X. ve Xu, C. (2019). Comparative studies on the explosion severity of different wood dusts from fiberboard production. *Bioresources*, 14(2), 3182-3199.

- Gül, A. (2024). *Odun Esaslı Levha Ürünlerinin Ebatlanmasında Ortaya Çıkan Tozların Ölçümü: Gaziantep İli Örneği. Yüksek Lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi.*
- Güneysu, G. (2016). *Bir kereste işletmesi üretim sürecinde iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme çalışması. Yüksek Lisans tezi, Bartın Üniversitesi.*
- Hertzberg, M., Zlochower, I. A. ve Cashdollar, K. L. (1988). Volatility model for coal dust flame propagation and extinguishment. *In Symposium on Combustion*, 21(1), 325-333.
- Holbrow, P., Hawksworth, S. J. ve Tyldesley, A. (2000). Thermal radiation from vented dust explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 13(6), 467-476.
- IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (1995). *Wood Dust and Formaldehyde*, World Health Organization.
- ISO, I. (1985). *Explosion Protection Systems—Part 1: Determination of Explosion Indices of Combustible Dusts in Air. International Standard*
- İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği. (2012). Resmî Gazete Sayısı:28509, Ankara.*
- Jacobsen, G., Schaumburg, I., Sigsgaard, T. ve Schlunssen, V. (2010). Non-malignant respiratory diseases and occupational exposure to wood dust. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 17(1), 15-28.
- Kauffman, C. W. (1982). Agricultural dust explosions in grain handling facilities. *Fuel-air Explosions*, University of Waterloo Press, 305-347.
- Kauppinen, T., Vincent, R., Liukkonen, T., Grzebyk, M., Kauppinen, A., Welling, I., ... ve Savolainen, K. (2006). Occupational exposure to inhalable wood dust in the member states of the European Union. *The Annals of Occupational Hygiene*, 50(6), 549-561.
- Kaya, E. Ç., İri, N. İ. Ö. ve Pedis, K. (2020). Ahşap ve mobilya imalatı yapan bir işyerinde risklerin belirlenmesi ve örnek risk analiz çalışması. *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 9(1), 25-35.
- Kaygın, B. ve Yıldız, Ö. (2017). Bartın İlinde Mobilya İşletmeleri İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(2), 115-122.
- Khambekar, J. ve Pittenger, B. H. (2013). Understanding and preventing metal-dust hazards. *Powder Metall.*, 49(4), 39-47.
- Khudhur, D. A., Ali, M. W. ve Abdullah, T. A. T. (2021). Mechanisms, severity and ignitability factors, explosibility testing method, explosion severity characteristics,

- and damage control for dust explosion: a concise review. *In Journal of Physics: Conference Series*, 1892(1), 012023.
- Kılıç, A. ve Sanal, H. T. (2015). Çanakkale Boğazı'nda karaya oturma ile sonuçlanan gemi kazaları. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(2), 38-50.
- Kic, P. ve Müller, M. (2018). Dust concentration in air during the MDF boards and polystyrene milling operations on CNC milling machine. *Manufacturing Technology*, 18(6), 923-927.
- Kim, T. (2019). Production planning to reduce production cost and formaldehyde emission in furniture production process using medium-density fiberboard. *Processes*, 7(8), 529.
- Kminiak, R., Siklienka, M., Igaz, R., Křišťák, L., Gergel, T., Němec, M., ... ve Kučerka, M. (2020). Effect of cutting conditions on quality of milled surface of medium-density fibreboards. *BioResources*, 15(1), 746.
- Kosinski, P. ve Hoffmann, A. C. (2005). Dust explosions in connected vessels: Mathematical modelling. *Powder Technology*, 155(2), 108-116.
- Krentowski, J. (2015). Disaster of an industrial hall caused by an explosion of wood dust and fire. *Engineering Failure Analysis*, 56, 403-411.
- Kuracina, R., Szabová, Z. ve Menčík, M. (2017). Study of explosion characteristics of wood dust clouds in dependence of the particle size distribution. *Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, 25(40), 17-23.
- Kurban, H. (2015). *Mobilya üretimi yapılan işletmelerde gürültü, titreşim ve odun tozunun ergonomik etkilerinin işçi sağlığı açısından incelenmesi (Bartın örneği). Yüksek Lisans tezi, Bartın Üniversitesi.*
- Layık, E. E. (2016). *Gıda sektöründe toz patlamalarının araştırılması ve patlamadan korunma dokümanının hazırlanması bir uygulama örneği. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.*
- Lebecki, K., Cybulski, K., Śliz, J., Dyduch, Z. ve Wolański, P. (1995). Large scale grain dust explosions-research in Poland. *Shock Waves*, 5, 109-114.
- Lees, F. (2012). *Lees' Loss Prevention in the Process Industries*. (4. Baskı), Hazard identification, assessment and control.
- Li, G., Yuan, C. M., Fu, Y., Zhong, Y. P. ve Chen, B. Z. (2009). Inerting of magnesium dust cloud with Ar, N₂ and CO₂. *Journal of Hazardous Materials*, 170(1), 180-183.
- Martinka, J., Mózer, V., Hroncová, E. ve Ladomerský, J. (2015). Influence of spruce wood form on ignition activation energy. *Wood Res*, 60(5), 815-822.

- Medina, C. H., Sattar, H., Phylaktou, H. N., Andrews, G. E. ve Gibbs, B. M. (2015). Explosion reactivity characterisation of pulverised torrefied spruce wood. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 36, 287-295.
- Medved, S. ve Resnik, J. (2007). Impact of beech particle size on compaction ratio of the surface layer. *Wood Res*, 52, 101-108.
- Min, Q., Cheng, S., Xi, J., Ma, J., Xin, T., Xia, B. ve Zou, Z. (2016). Expression patterns of three genes under short and long term cold exposure in *Thitarodes pui* (Lepidoptera: Hepialidae), a host of *Ophiocordyceps sinensis*. *CryoLetters*, 37(6), 432-439.
- Mitchell, D. (2002). Preventing industrial dust explosions. *Occupational Health ve Safety*, 71(11), 52-52.
- Modanlioğlu, C. (2013). *Granüler üretim yapan bir işletmede toz probleminin incelenmesi ve örnek bir çalışma. Yüksek Lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi.*
- Mračková, E. ve Tureková, I. (2016). The dimensional characteristics of the particles of wood dust of selected deciduous trees considering to explosion. *Key Engineering Materials*, 688, 182-189.
- Neikov, O. D., Yefimov, N. A. ve Naboychenko, S. (2009). *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders. Technologies and Applications.*
- Nifuku, M., Gatineau, J., Barre, C., Sochet, I. ve Katoh, H. (2002). Explosibility assessment of dusts produced in the recycling process of electrical appliances. *In Journal de Physique*, 12(7), 133-140.
- Ogle, R. A. (2016). *Dust Explosion Dynamics*, Butterworth-Heinemann.
- Oral, T., ve Gülsün, B. (2019). Mobilya Atölyelerinde Fine-Kinney Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi. *İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi*, 1(3), 134-152.
- Osman, E. ve Pala, K. (2009). Occupational exposure to wood dust and health effects on the respiratory system in a minor industrial estate in Bursa, *Occup Med Environ Health*, 22(1), 43-50.
- Özdemir, S., Ersöz, H., ve Sarıoğlu, H. (2007). Küçük girişimciliğin artan önemi ve KOBİ'lerin Türkiye ekonomisindeki yeri. *Journal of Social Policy Conferences*, 53, 173-230.
- Özkiliç, Ö. (2005). *İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri*, TİSK Yayınları, Ankara.
- Pędzik, M., Rogoziński, T., Majka, J., Stuper-Szablewska, K., Antov, P., Kristak, L. ... ve Kučerka, M. (2021). Fine dust creation during hardwood machine sanding. *Applied Sciences*, 11(14), 6602.

- Peker, H. ve Atılğan, A. (2015). Doğal Bir Enerji Kaynağı Odun: Yanma Özelliği ve Koruma Yöntemleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2), 1-12.
- Pickup, R. D. (2001). Dust explosion case study:“Bad things can still happen to good companies”. *Process Safety Progress*, 20(3), 169-172.
- Prakash, A., Fielding, E. J., Gens, R., Van Genderen, J. L. ve Evans, D. L. (2001) Data fusion for investigating land subsidence and coal fire hazards in a coal mining area. *International Journal of Remote Sensing*, 22(6), 921-932.
- Proust, C. (2006). A few fundamental aspects about ignition and flame propagation in dust clouds. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19(2-3), 104-120.
- İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ. (2018). *Resmî Gazete Sayısı:30318*, Ankara
- Rogers, R. L., Hawksworth, S., Beyer, M., Proust, C., Lakic, D., Gummer, J. ve Raveau, D. (2006). Ignition of dust clouds and dust deposits by friction sparks and hotspots. *Communication to Hazards*, 151.
- Schmidt, C., Westermann, H. H., Thorenz, B. ve Steinhilper, R. (2018). Sustainability of cutting frozen wood-An analysis of buzz saw blades cutting performance depending on wood temperature. *Procedia Manufacturing*, 25, 263-270.
- Serin, H., Durgun, M. ve Şahin, Y. (2014). Furniture sector of Turkey. *European Journal of Research on Education*, 2, 149-153.
- Simpson, A. T., Beattie, H., Lekka, C. ve Keen, C. (2024). Health and Safety Executive research on wood dust exposure controls in British manufacturing. *Annals of Work Exposures and Health*, 68(2), 180-191.
- Skjerven, H. (2024). Deadly combustible dusts: What causes them to explode and what you can do about it. 23 Eylül 2024 tarihinde <https://www.safeopedia.com/deadly-combustible-dusts-what-causes-them-to-explode-and-what-you-can-do-about-it/2/7530> adresinden erişildi.
- Shrey, F. (2020). *Studying the Effect of Particle Morphology and Density on Dust Cloud Dynamics in Minimum Ignition Energy (MIE) Device by Digital Inline Holography (DIH) Technique. Doktora Tezi, Texas A&M University.*
- Soleimani, Y., Daraei, M., Sadeghi, P., Khazali, A., Rostami, H., Mahmoudi, S., ... ve Bahari, N. (2024). Wood dust and risk of leukemia: Systematic review and meta-analysis. *Plos One*, 19(8), e0307444.
- Sönmez, A., Arslan, A. R., Asal, Ö. ve Akdere, B. (2009). Ankara’da mobilya sektöründe faaliyet gösteren küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde fiziksel çevre

- koşullarından ortam faktörlerinin değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 12(2), 127-135.
- Tamanini, F. (1998). The role of turbulence in dust explosions. *Journal of loss prevention in the process industries*, 11(1), 1-10.
- Tankut, A. N., Kurban, H. ve Melemez, K. (2014). Orman Endüstri İşletmelerinde Odun Tozunun Ergonomik Etkilerinin İncelenmesi, II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 22-24 Ekim 2014, Isparta, 785-792.
- Taveau, J. (2012). Secondary dust explosions: How to prevent them or mitigate their effects. *Process Safety Progress*, 31(1), 36-50.
- Teixeira, R. L., Silva, J. R. M. D., Fiedler, N. C., Lima, J. T., Trugilho, P. F. ve Neri, A. C. (2017). Evaluation of airborne MDF dust concentration in furniture factories. *Floresta Ambiente*, 24, e00086514.
- Top, Y., Adanur, H., Öz, M. ve Yaşar, M. (2014). Gümüşhane ili orman ürünleri sanayi işletmelerinin yapısal özelliklerinin incelenmesi. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 14(1), 24-36.
- Tor, D. (2015). *İş Sağlığı ve güvenliğinde risk analizi: kapı imalat sektöründe bir uygulama. Yüksek Lisans tezi, Bartın Üniversitesi.*
- Tozla Mücadele Yönetmeliği. (2013). *Resmî Gazete Sayısı :28812, Ankara.*
- Tureková, I. ve Marková, I. (2020). Ignition of deposited wood dust layer by selected sources. *Applied Sciences*, 10(17), 5779.
- URL-1 <https://www.proscon.com.tr/toz-patlamlari/> (Erişim Tarihi: 17.10.2024).
- Ulusoy, H., Atılğan, A. ve Peker, H. (2018). Mobilya Endüstrisinde Kullanılan Makinelerde Çalışma Güvenliği. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11(1), 70-81.
- United Nations. Statistical Division. (2008). International Standard Industrial Classification of All Economic Activities. *United Nations Publications*, 4
- Vandlíčková, M., Marková, I., Osvaldová, L. M., Gašpercová, S. ve Svetlík, J. (2020). Evaluation of African padauk (*Pterocarpus soyauxii*) explosion dust. *BioResources*, 15(1), 401.
- Vijayaraghavan, G. (2004). *Impact assessment, modelling, and control of dust explosions in chemical process industries. MTech Thesis, Coimbatore Institute of Technology.*
- Yan, X. Q. ve Yu, J. L. (2012). Dust explosion incidents in China. *Process Safety Progress*, 31(2), 187-189.
- Yanturalı, B. (2015). *İş sağlığı ve güvenliğinde risk değerlendirmesi ve bir uygulama çalışması. Yüksek Lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi.*

- Yılmaz, A. (2000). *Hata türü ve etki analizi. Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi*
- Yılmaz, K. (2015). *Ağaç İşleri Endüstrisinde İş Sağlığı ve Güvenliği ile İlgili Mevcut Durumun Belirlenmesi: Mobilya Sektörü Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.*
- You, H., Yu, M., Zheng, L. ve An, A. (2011). Study on suppression of the coal dust/methane/air mixture explosion in experimental tube by water mist. *Procedia Engineering*, 26, 803-810.
- Yuan, Z., Khakzad, N., Khan, F. ve Amyotte, P. (2015). Dust explosions: A threat to the process industries. *Process Safety and Environmental Protection*, 98, 57-71.
- Zhou, X., Li, X., Cui, Z., Wu, L., Zhou, H. Ve Lu, X. (2023). Combustible wood dust explosions and impacts on environments and health-A review. *Environmental research*, 216, 114658.
- Williams, B. C., Mcilveen-Wright, D. ve Rezvani, S. (2003). Gasification of Waste Medium Density Fibreboard as a Route to Power Generation. *Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing*, 11(1-2), 55-66.
- Wingerden, K. (2019). Mechanical Sparks as an Ignition Source of Gas and Dust Explosions. *CET Journal-Chemical Engineering Transactions*, 77, 133-138.

ÖZGEÇMİŞ

Lokman ODABAŞ, 2019 yılında Gümüşhane Üniversitesi'nden Acil Yardım ve Afet Yönetimi ile İş Sağlığı ve Güvenliği lisans programlarını tamamlayarak mezun olmuştur. Halen Trabzon Üniversitesi'nde öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır ve İngilizce bilmektedir.

Yayınlar:

Odabaş, L., ve Cengiz, S. (2021). Eğitim kurumları idarecilerinin kriz anında afet ve acil durumlara yönelik yeterliliklerinin değerlendirilmesi: Gümüşhane ili örneği.

Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 10(3), 521-531.

Turan, M., Odabaş, L., Çınar, Ö., Akbaş, M., ve Kılıç, H. (2021). Afet Yönetim Sürecinde

Rol Alacak Paydaşların Risk Algıları. The Journal of International Scientific Researches, 6(2), 152-167.

Odabaş, L., Kiriş, R., ve Genç, D. (2024). Determination of Biofoam Awareness of Students in Civil Defense Firefighting and Emergency and Disaster Management Programs. Hastane Öncesi Dergisi, 9(2), 121-138.