T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ YÖNETİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

GÜNEŞ ENERJİSİ ALANINDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ UYGULAMALARININ ETKİNLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜROL UNCU

DENİZLİ, TEMMUZ - 2022

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ YÖNETİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

GÜNEŞ ENERJİSİ ALANINDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ UYGULAMALARININ ETKİNLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜROL UNCU

DENİZLİ, TEMMUZ - 2022

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Gürol UNCU

ÖZET

GÜNEŞ ENERJİSİ ALANINDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ UYGULAMALARININ ETKİNLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜROL UNCU

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ YÖNETİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. CEM GÖK)

DENİZLİ, TEMMUZ - 2022

Her sektörde öneminin ve yerinin ayrıntılı bir şekilde geliştirilmesi gereken iş sağlığı ve güvenliği, enerji sektöründe de bu ihtiyacı barındırmaktadır. Gelişen ve değişen endüstri koşullarına ilk uyum sağlayan olmak durumunda olan iş güvenliği prosesleri, kültürün oluşması ile sağlam temeller atabilmektedir.

Elektrik enerjisi elde etme çeşitlerinden olan güneş enerjisi sistemlerinde iş güvenliğinin etkin olabilmesi, işin ayrılmaz bir parçası haline gelebilmesi, iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesi için spesifik bir yasal düzenleme günümüzde bulunmamaktadır. İşyerleri için belli standartlar istenmekte olup bu belirsiz durum işverenleri ve iş görenleri zor duruma sokabilmektedir.

Dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması amacıyla başvurulan yollardan biri olan ve giderek önemi artan güneş enerjisi sistemleri, kullanım aşamasında tüketicileri ve iş güvenliği profesyonellerini kabul edilebilir ve ekarte olabilecek sorunlarla karşılaştırmaktadır. Üretim aşamasında ise kullanılan metot ve kimyasalların insana ve çevreye verdiği zararlar, panellerin enerji ihtiyacını masum bir şekilde karşılaması sonucu kanıksanmaktadır. Yine aynı sorun ömürlerini tamamlamış ya da verimsel olarak bekleneni karşılamayan paneller için de görülmektedir.

Üretim aşamasında ve çeşitli sebeplerden ötürü ıskartaya ayrılma ya da söküm sonrası, İş Sağlığı ve Güvenliği bakımından kaygı verici durumlar saptanmıştır. Yeterli sayıda geri dönüşüm tesisinin bulunmaması sonucu panellerin istiflenmesi ve depolanması gerekli özeni görememektedir. Bu özensizlik ve yasal zorunluluğun olmaması hem iş güvenliği profesyonellerini hem de doğa dostu insanları endişelendirmektedir.

Bu çalışmada, güneş panellerinin proje kısmından, yıllar sonra sökülmeleri de dahil olmak üzere mevcut İş Sağlığı ve Güvenliği önlemleri incelenmiş ve olması gereken insan ve doğa merkezli çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ, GÜNEŞ ENERJİSİ, RİSK DEĞERLENDİRMESİ, VERİM, PROAKTİF.

ABSTRACT

EFFICIENCY OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY APPLICATIONS IN SOLAR ENERGY

MSC THESIS

GÜROL UNCU

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF ENERGY MANAGEMENT AND TECHNOLOGIES

(SUPERVISOR: PROF. DR. CEM GÖK)

DENİZLİ, JULY 2022

Occupational health and safety, the importance and position of which should be developed in detail in each sector, includes this need in the energy sector. Occupational safety processes, which must first adapt to the devolving and changing conditions of the industry, can lay a solid foundation for the formation of culture. In solar energy systems, which is one of the types of electricity generation. There are no specific legal regulations that are effective in occupational safety and are an integral part of work and prevent work accidents and occupational diseases, and there are special conditions and standards, and the need and search for a job can put workers in difficult situations. Solar energy systems are one of the ways used to supply electricity in the world and in our country, and its importance is increasing, and consumers and occupational safety experts compare the problems that are acceptable and rejectable In the production phase, the damage caused by the methods and chemicals used to people and the environment is taken for granted, because the panels safely supply their energy needs. Again, the same problem is seen for panels that have expired or do not meet performance expectations. At the production stage and after scrapping or dismantling for various reasons, worrying conditions in terms of occupational safety and health have been identified. As a result of not having enough facilities for recycling, stacking and storage of panels can not receive the necessary care. This carelessness and lack of legal commitment worries both occupational safety professionals and nature lovers. In this study, occupational health recommendations such as dismantling solar panels after years of the project are presented and safety measures are examined and the human-centered and nature-oriented solution is examined.

KEYWORDS: OCCUPATİONAL HEALTH AND SAFETY, SOLAR ENERGY, RİSK ASSESSMENT, EFFİCİENCY, PROACTİVE.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **v**
TABLO LİSTESİ ..... **vi**
SEMBOL LİSTESİ ..... **viii**
ÖNSÖZ ..... **ix**
1. GİRİŞ **1**
2. ENERJİ KAVRAMI **3**
2.1 Enerji 3
2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları 5
2.3 Dünya'da Yenilenebilir Enerji 8
2.4 Türkiye'de Yenilenebilir Enerji 10
2.5 Güneş Enerjisi 16
2.5.1 Güneş Enerjisi Sistemleri 20
2.5.2 Güneş Panelleri 23
2.5.3 Güneş Enerjisi Sisteminin İş Güvenliği Maliyeti 26
2.5.4 Güneş Panellerinin Kurulumu 28
2.5.5 Güneş Panellerinde Kullanılan Temel Türler 31
2.6 Türkiye'de Güneş Enerjisi 33
3. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ **34**
3.1 İş Sağlığı ve Güvenliği Kavramı 34
3.1.1 İş Sağlığı 35
3.1.2 İş Güvenliği 36
3.1.3 İş Sağlığı ve Güvenliğinin Amaçları 36
3.1.4 Tarihsel Gelişim Süreci Açısından İş Sağlığı ve Güvenliği 38
3.1.5 Dünya'da Gelişim Süreci 39
3.1.6 Türkiye'de Gelişim Süreci 42
3.1.7 İş Sağlığı ve Güvenliğinin Önemi 45
3.1.8 İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Unsurları 47
3.1.9 İş Sağlığı ve Güvenliği Perspektifinde Uluslararası ve Ulusal Kuruluşlar ve Yasal Düzenlemeler 51

3.2 İş Kazası ve Meslek Hastalığı Kavramı 56
3.2.1 İş Kazası Sonrası Uygulanan Cezalar 57
3.3 İş Güvenliği Uzmanı Kavramı ve Görevlendirilmesi 60
3.4 Tehlike ve Tehlikelerden Kaynaklanan Risk Kavramı 62
3.4.1 L Tipi (5x5) Matris Metodu 64
3.4.2 Fine-Kinney Risk değerlendirme Metodu 67
3.5 Güneş Enerjisi Sistemlerinde İş Güvenliğine Yönelik Düzenlemeler 69
3.6 Güneş Enerjisi Sistemlerindeki Bazı Hataların İş Güvenliği Önlemlerini Etkilemesi 75
3.7 Güneş Enerjisi Projelerinde Çevresel Etki Değerlendirmesi 76
3.7.1 Proje Yeri Alternatifleri 76
3.7.2 Alternatif teknolojiler 77
3.7.3 Seçilen alternatiflerin tanımı 77
3.7.4 Arazi Hazırlama ve İnşaat Aşaması 79
3.7.5 İzleme 80
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 85
4.1 Üretim 85
4.1.1 Güneş Enerjisi Panellerinin Olumsuz Çevresel Etkileri 95
4.2 Üretimin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi 99
4.3 Söküm 101
4.4 Geri Dönüşüm Süreci 102
4.5 Geri Dönüşüm Yaklaşımları 103
4.5.1 Sosyal ve Çevresel Avantajlar 105
4.6 Söküm ve Geri Kazanımda İş Güvenliği 106
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 112
6. KAYNAKLAR 116
7. ÖZGEÇMİŞ 128

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası 13
Şekil 2.2: Güneş Enerjisini Yoğunlaştırma Sistemleri 22
Şekil 2.3: Fotovoltaik Tesis. 23
Şekil 2.4: Panel dizaynı. 24
Şekil 2.5: Panel uygulama örneği. 25
Şekil 2.6: Fotovoltaik Sistem Elemanları 26
Şekil 2.7: Yollara Uygulanan Güneş Panelleri Örnekleri. 28
Şekil 2.8: Yürüyüş ve Bisiklet Yoluna Güneş Paneli Kaplanması. 29
Şekil 2.9: Su Üstü Panel Kurulumu. 30
Şekil 2.10: Eğimli Otopark ve Ev Çatısına Panel Uygulama Örnekleri. 31
Şekil 2.11: Tarımda Güneş Enerjisi Kullanımı Örneği. 32
Şekil 3.1: Türkiye'de yaşanan iş kazaları sonrası cezai durumlar. 58
Şekil 3.2: Hatalı montaj sonucu yanan paneller. 76
Şekil 3.3: Yenilikçi teknolojilere iyi bir örnek; Parabolik Çanak. 83
Şekil 3.4: İspanya-Andasol Güneş Enerji Santrali. 83
Şekil 3.5: Çanak–Stirling sistemi. 84
Şekil 3.6: Odeillo, Fransa, 10 kW Çanak/Stirling EuroDish 84
Şekil 4.1: Örnek Güneş Enerjisi Santrali. 95
Şekil 4.2: Güneş Panelinin İçeriği. 99
Şekil 4.3: Güneş Panellerinin Atıklarına Bir Örnek. 104
Şekil 4.4: Küresel olarak tahmini PV modülü atığı (ton) 2016–2050 105
Şekil 4.5: Farklı teknolojilerde üretilmiş güneş panellerinin 2014-2030 yılları arasındaki Pazar payı dağılımları. 108

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Küresel çapta Yenilenebilir Kaynakların 2009-2018 Yılları Arası Değişim Tablosu. 10

Tablo 2.2: Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kurulu Güç Tablosu (2009-2018).....11

Tablo 2.3: Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgesel Verileri 14

Tablo 2.4: Enerji Türlerinin Dışa Bağımlılığı ve Kalan Ömürleri.....16

Tablo 2.5: Mevcut kullanılan ve ileriki zamanlarda kullanılması muhtemel olan hücre içerikleri.....25

Tablo 3.1: 2015-2020 Yıllarında gerçekleşen iş kazalarında ölüm sayıları.....57

Tablo 3.2: 2015-2019 yılları arasında Türkiye'de resmi olarak tespit edilen meslek hastalıkları verileri.....59

Tablo 3.3: Tehlike ve risk kavramlarının örneklendirilmesi.....62

Tablo 3.4: Bir riskin hayata geçme olasılığı. 65

Tablo 3.5: Bir riskin gerçekleşmesi durumunda zarar verme şiddeti.....65

Tablo 3.6: Sonuçların değerlendirilip müdahale sırasının ve ciddiyetinin belirlenmesi maksatlı oluşturulmuş matris (L tipi 5x5). 66

Tablo 3.7: Sonuç ve uygulanacak eylemin durum belirleyicisi. 66

Tablo 3.8: Fine-Kinney metodu riskin gerçeğe dönüşme skalası. 67

Tablo 3.9: Fine-Kinney metodu tekrarlanma sıklığı skalası. 68

Tablo 3.10: Fine-Kinney metodu zarar verebilme skalası. 68

Tablo 3.11: Fine-Kinney metoduna ait risk değeri, sınıfı ve genel çerçevede yapılması gerekenler. 69

Tablo 3.12: Güneş Enerjisi Santrallerine Yönelik Risk Yönetim İzlencesi.....71

Tablo 3.13: Güneş Enerjisi Santrallerine Yönelik Kontrol İzlencesi.....73

Tablo 3.14: Alternatif Yer Seçim Matrisi. 78

Tablo 3.15: İnşaaat Aşaması İzlencesi. 80

Tablo 3.16: İşletme Aşaması İzlencesi.....82

Tablo 4.1: PV sistemlerin üretim sürecindeki beklenti ve eksiklikler. 86

Tablo 4.2: PV sistemlerin işletme sürecindeki beklenti ve eksiklikler. 87

Tablo 4.3: PV sistemlerin kullanım ömrünün sona ermesi sürecindeki beklenti ve eksiklikler. 88

Tablo 4.4: 2. ve 3. nesil PV sistemlerin beklenti ve eksiklikleri.....89

Tablo 4.5: Şebekeden bağımsız PV sistemlerin beklenti ve eksiklikleri. 89

Tablo 4.6: PV sanayinde olan toksik maddeler ve etkileri.....90

Tablo 4.6 Devamı. PV sanayinde olan toksik maddeler ve etkileri. 91
Tablo 4.7: Toksik bileşiklerin Sağlık ve Çevreye Etkileri.....92
Tablo 4.8: PV sistemlerdeki temek fiziksel riskler ve kök nedenleri. 100

SEMBOL LİSTESİ

AB : Avrupa Birliği

ÇASGEM : Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi

DMI : Devlet Meteoroloji İşleri

ENAR : Enerji Sektörü Araştırma-Geliştirme Projeleri Destekleme Programı

ETKB : Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

GEPA : Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası

İSG : İş Sağlığı ve Güvenliği

İSGK : İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (6331 Sayılı)

IEA : Uluslararası Enerji Ajansı

WHO : World Health Organisation (Dünya Sağlık Örgütü)

ILO : International Labour Organization (Uluslararası Çalışma Örgütü)

IRENA : Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı

ISO : Uluslararası Standartlaştırma Örgütü

TEDAŞ : Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi

TESAB : Türkiye Elektrik Sanayi Birliği

SGK : Sosyal Güvenlik Kurumu

ÇSGB : Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı

RG : Resmî Gazete

PV : Fotovoltaik

m : Metre

m^2 : Metrekare

GW : Gigawatt

Kwh : Kilowattsaat

MW : Megawatt

ÖNSÖZ

Tez çalışmam ve yüksek lisans öğrenimim boyunca desteğini hiç eksik etmeyen ve her konuda yardımcı olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cem GÖK'e, hayat boyu her koşulda destekleri ile beni yalnız bırakmayan aileme ve bölüm çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

1. GİRİŞ

Yaşam döngüsü içerisinde, insanların temel ihtiyaçlarını karşılamak ve yaşam alanlarını daha güzel ve kaliteli bir düzeye getirmek için temel ihtiyaç olan enerji, hayatın her evresinde popülaritesini korumaktadır. Gelişmişlik ve ihtiyaç düzeyi ile enerjiye olan gereksinim miktarı değişmektedir. Bu miktar, aynı zamanda dünyada hızla artan insan sayısı ile de doğru orantılı olmaktadır.

Artan insan sayısı, gelişen teknoloji ve yaygın yaşam alanları sonucu mevcut enerjilerin yetemeyeceği öngörüsü çeşitli enerji elde etme yollarının keşfini beraberinde getirmiştir. Enerji üretimi ile sanayi ve teknoloji gelişmekte, iş hayatı farklı işleyişe ulaşmaktadır. İş hayatının gelişimi ise iş görenlerin karşılaştığı sorunları çeşitlendirmektedir.

Geçtiğimiz yüzyılda her alanda büyük ilerlemeler kaydeden küresel sanayi, enerjiyi kullanmaya odaklanmış ve bunun sonucunda enerji elde etme esnasında, enerjinin kullanımı ve sonrasında hem iş sağlığı ve güvenliği anlamında hem de çevreye verilen zarar olarak istenmeyen durumlar ortaya çıkmıştır.

Olumsuz durumların ortadan kaldırılması ve zararın önüne geçilmesi amacıyla yeni enerji elde etme arayışları, araştırmacıları temiz enerji elde etme ve fosil yakıtların bağlayıcılığından kurtulma odağıyla yola çıkmaları sebebiyle yenilenebilir enerjiye sürüklemiş ve aralarında güneşin de bulunduğu birçok enerji elde etme çeşidi hayatımıza entegre olmuştur.

Güneş enerjisi sistemlerini kullanarak elektrik elde ederken, fotovoltaik panellerden yararlanılabilmektedir. Panel üretimi için kullanılan yöntemler ve elektrik elde etme yolları gelişen teknoloji ile farklılık göstermektedir. Şu an hayatta olan her sistem, verimi ve panel ömrünü arttırmak amaçlı ARGE çalışmalarına konu olmaktadır. Ülkeler bazında incelendiğinde insan ve çevre sağlığı açısından yeterli atılımların yapılmadığı görülmektedir.

Panellerin üretimi ve ömürlerinin sona ermesinden sonraki süreç, üretimlerinde kullanılan bazı zararlı kimyasallar yüzünden çevre için istenmeyen durumları oluşturabilmektedir. Ayrıca bahsi geçen süreçlere ilaveten kurulum, işletme ve bakım kısımlarında ise iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin eksiksiz alınması, çalışanlar için ertelenemez bir gereksinim olmaktadır.

Bu çalışmada güneş enerjisinden elektrik elde etme yollarının iş sağlığı ve güvenliği açısından yeterliliği incelenmiş ve eksiklikler için öneriler sunulmuştur.

2. ENERJİ KAVRAMI

2.1 Enerji

Enerji, insanoğlunun var olduğu süreçten beri çeşitli sebeplerle ihtiyaç duyduğu ve tükettiği bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. İçinde bulunduğumuz zamanda enerji hem insanların yaşaması ve gelişmesi için hem de bunların devamlılığını sağlamak için sürekli ihtiyaç halini korumuştur. Toplumların gelişmişliği harcanan enerji miktarı ile doğru orantılı olmuştur. Tüm insanlık, gelişimi gün geçtikçe daha da arzuladığından hayati ihtiyaçların yanında enerji ihtiyacı da katlanarak artmaktadır. Bu da insanın var olması için gerekli doğal kaynakların tüketimini arttırarak tehlikeli bir düzeye getirmektedir. Gelişime alışan insanoğlu geldiği noktadan geri gitmek istememekte ve doğanın bize hediyesi olan yakıtların azalmasına istemeyerek de olsa sebep olmaktadır. Ortaya çıkan çevresel ve iklimsel sorunlar ise insanoğlunun alternatifler üretmesine vesile olmuştur (Akova, 2010).

Enerji, fiziksel anlamda oluşturulmuş bir düzeneğin ‘’iş yapabilme yeteneği’’ olarak tanımlanmaktadır. Yapılan işin, sistemin çeşitliliğine göre, hangi enerjiye dönüşüp eşit olacağı ile ilgili çalışmalar ışığında türlü elektrikli aletler hayatımızda yerini almıştır. Başlangıçta insanların hayatta kalabilmeleri için gerekli olan enerji artık ısınmayı ve barınmayı kapsamaktan uzaklaşarak vazgeçilmez bir temel ihtiyaç haline gelmiştir (Adıyaman, 2012).

İnsanlar bir arada yaşamaya başladıktan sonra değişim ve gelişim kaçınılmaz olmuştur. Toplumlar artık barınmaktan ve ısınmaktan farklı arayışlara girmişler ve başta kendi çabaları ile yaptıklarını hayvanları kullanarak ya da basit makineler üreterek hedeflerine ulaşmayı amaçlamışlardır. Çalışma ve yaşama alanlarının genişlemesi ile bunlar da yeterli gelmemiştir. Artık başka enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadırlar. Bununla beraber teknolojinin gelişiminde önemli yere sahip olan kömürle tanışıp ihtiyaç duydukları enerjiye ulaşmışlardır (Adıyaman, 2012).

Ülkelerin enerjiye olan ihtiyaç miktarı kendi ülkesini etkilemekle kalmayıp tüm dünyayı dolaylı olarak etkilemektedir. Enerjinin harcama ve oluşturma verileri ülkelerin her anlamda ilerleyiş serüvenine ışık tutmakta ve ileriye yönelik net bilgiler verebilmektedir (Sarıbaş, 2015).

Gelişen teknoloji ile bu bilgiler analiz edilmekte ve hızla gelişen dünyada geçmişe oranla enerjiye olan gereksinim artmaktadır. Enerjisiz üretim olmamaktadır ve üretilen her yenilik enerjiye ihtiyaç duymaktadır (Cihan, 2019).

Bir ulusun coğrafi konumu hedef belirlemede ve hedeflerine ulaşmasında çok önemli bir etken olmaktadır (Spykman, 2013). Bir devletin sınırları içerisinde çeşitli enerji kaynaklarına sahip olması, devletlerin enerjiye talepkar olmasına neden olmaktadır. Bu talep ile devletler enerji politikasına yön verebilmektedir. Enerjinin çeşitliliği, miktarı, ulaşılabilirliği ve sürdürülebilir olması bir devlet için artık güç unsuru haline gelmiştir. Enerjisini doğru kullanan ve pazardaki payını iyi analiz edebilen devletler ekonomik anlamda rahat ve statüsünü koruyabilen bir devlet olmaktadırlar (Brzezinski, 1998).

Enerji, elde edilme, kullanma ve dönüştürülebilme durumlarına göre ayrı ayrı sınıflandırılabilmektedir. Enerji, oluşumunun sürekli devam ettiği(yenilenebilir) ve tekrar oluşamama(yenilenemez) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu ayrım kullanımlarına bağlı yapılmaktadır. Güneş, biyokütle, jeotermal, hidrolik, rüzgâr ve dalga enerjileri süreklilik arz edenler olmaktadır ve tekrar kullanılabilmektedir. Fosil yakıtlar adı verilen, rezervleri sınırlı olanlar ise doğalgaz, kömür ve petrolden oluşmaktadır. Nükleer enerjinin yeri ise kaynaklara göre farklılık göstermekte olup bazı kaynaklara göre süreklilik arz eden bazılarına göre ise sınırlı rezervleri olan gruba dahil edildiği görülmektedir (Bekar, 2020).

Doğanın oluşumunu sürekli devam ettirdiği yenilenebilir enerjiler günümüzde fosil yakıtlarla beraber yeryüzünde mevcut olup iki tür enerji de kullanılmaktadır. Çevresel anlamda yenilenebilir enerjinin fosil yakıtlara göre daha masum olduğu görülmektedir. Çevreye verdiği etki kıyaslandığı zaman fosil yakıtlar daha zararlı olmalarına rağmen yenilenebilir enerjiye oranla insanlar tarafından kullanılmaları daha ekonomik olmaktadır. Ekonomik olması nedeniyle halen yenilenemez enerji kaynakları daha fazla kullanılmaktadır. Bunun sonucunda çevreye olumsuz etkisi

olan gaz salınımları ve zararlı atıklar hızla doğaya negatif etki etmektedir (Bekar, 2020).

Bir ülkenin çeşitli enerji türlerine sahip olması ekonomik olarak avantajlı olmasını sağlamaktadır. Başka ülkelere karşı bağımlılığı azalıp jeopolitik açıdan olumlu durumları uzun vadede görebilmektedir. Sahip olduğu enerji kaynakları ile ülkemiz coğrafi konumu, stratejik yapısı ve ekonomik potansiyeli ile diğer ülkeler için her zaman dikkat çekici olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarını doğru ve yerinde hamleler ile hayata geçirmemiz ekonomimiz için sağlam temeller oluşturabilmektedir (Bekar, 2020).

Küresel rekabetin gün geçtikçe kızıştığı buna bağlı olarak ekonomik daralmanın yaşandığı dünyada enerji üretimi için yapılan yatırımların daha ekonomik olması hedeflenmiştir. Bu arayışların kalkınma amaçlı olduğu düşünüldüğünden sürdürülebilir olması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji sürdürülebilirlik açısından en cazip enerji olarak yerini almıştır. Her ülke yenilenebilir enerjiyi aynı sınıfta kullanamamaktadır. Bu değişkenlik ülkelerin coğrafi konumlarından ötürü iklimlerine bağlı olmaktadır (Akyol, Ağırkaya, 2021).

2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Doğa tarafından sürekli tekrarlanarak üretilen ve tükenmeyen enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları olmaktadır. İnsanlık tarihinin ilk zamanlarından beri çeşitli amaçlar için kullanılmakta olan yenilenemez enerji kaynakları belirli rezerve sahip olması ve doğaya verdiği zararlar neticesinde yenilenebilir enerjinin hayatımıza girmesine etken olmuştur. Enerji hangi sınıf olursa olsun insanların gereksinimlerini ve arzularını cevaplamak adına her geçen gün artarak ihtiyaç olmaktadır. Bu ihtiyaç neticesinde doğanın insanoğluna verdiği cevaplar daha çevreci kaynakları kullanmamız gerektiğini göstermektedir (Gülay, 2008).

Enerji, kaynağa göre literatürde üç sınıfta incelenmektedir. Süreklilik gösterip yenilenebilen, fosil kaynaklı olup yenilenemeyen ve nükleer enerji olarak kaynağa göre üçe ayrılmaktadır. Doğanın sürekli yeniledikleri, güneş, rüzgâr, hidrolik,

jeotermal, biyokütle ve dalga enerjileri olarak bilinmektedir. Fosil enerji kaynakları sınıfında petrol, kömür ve doğalgaz yer almaktadır (Sarıbaş, 2015).

Enerjinin bir başka sınıflandırılması ise doğada hazır bulunan ve türetilen olarak iki şekilde görülmektedir. Doğada hazır olanlar birincil enerji kaynağı olarak adlandırılmaktadır. Türetilmiş olan enerji ise ikincil enerji olarak yerini almaktadır. Bu kaynaklar birbirlerine dönüştürülebilmektedir (Adıyaman, 2012).

Doğanın insana hazır olarak sunduğu birincil enerji kaynaklarının başında şu an halen en çok kullanılan olarak bilinen petrol, kömür ve doğalgaz gelmektedir. Bitkilerin ve hayvanların oluşturduğu artıklar, rüzgâr, güneş, hidrolik enerji ve radyoaktif maddeler de birincil enerji kaynakları olarak doğada hazır bulunmaktadırlar. Türetilmiş olan ikincil enerji kaynaklarını ise, hava gazı, elektrik ve buhar enerjisi oluşturmaktadır (Sarıbaş, 2015).

Habitatın korunabilmesi ve doğal düzenin bozulmaması için yenilenebilir enerjinin kullanılabilirliği ve önemi sürekli artmaktadır. Kullanım ve üretim oranlarına göre kömür ön sırada yer almaktadır. Bunu üretim olarak yenilenebilir enerji takip etmektedir (Bacanlı, 2018).

Devletlerin sahip olduğu enerjiler ve bileşenleri farklılık göstermekte ve enerji ihtiyacı küresel anlamda karşılanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları olan biyokütle ve hidrolik kaynaklar az gelişmiş ülkelerde diğer ülkelere oranla daha fazla olmak koşuluyla gıda üretiminin içinde de yer almaktadır. Aynı zamanda ısınma amaçlı da az gelişmiş ülkeler bu enerjilerden yararlanmaktadır. Bu kaynakların zamana bağlı etkileşimleri düşünülmeyip bilinçsiz ve fazla tüketimi habitata tehdit olabilme potansiyelini taşımaktadır. Biyokütle ve hidrolik enerji kaynakları şu an için güneş, rüzgâr ve jeotermal enerjilere oranla daha fazla enerji arzı göstermektedir. Güneş, rüzgâr ve jeotermal enerjiler artan ivme ile çoğalsa bile göreceli olarak halen beklenen konuma ulaşamamıştır (Iea, 2007, Cihan, 2019).

Ulaşılabilme, üretilebilme ve maliyet bakımından yenilenebilir enerjinin mevcut enerjilere alternatif arayışında istenilen ve aranılanı bulmakta çözüm olacağı düşülmektedir. Arge ve sürdürülebilme maliyetlerinin daha cazip hale getirilmesi

durumunda dünyada yenilenebilir enerji kullanımı yaygınlaşabilecek ve mevcut kaynakların yerini alabilecektir (Cihan, 2019).

Kullandıkça azalım göstermeyen ve evrimlerini devamlı sürdürüp mevcudiyetini aynı şekilde koruyan enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları olmaktadır. Güneş ve rüzgâr gibi bu kaynakların kendi kendine yenilenmesinin yanında yeşil enerji olarak anılan temiz, çevreci ve doğaya karşı daha duyarlı olmaları insanlık için önemli bir etken olmaktadır. Kullanımları sonucunda doğada azalım gösteren, yanmaları ile tükenen kaynaklar arasında en sık karşımıza çıkan ise fosil yakıtlar olarak görülmektedir (Yeksem, 2009).

Doğa dostu enerji kaynakları olan yenilenebilir enerjiler; tükenmeyen, evrimini kendi tamamlayan, doğal ve temiz olarak da anılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bir başka adı ise 'Yeşil ve Sürdürülebilir Enerji Kaynakları' olarak geçmektedir. Yeşil enerjilerden faydalanma durumlarına göre farklı tanımlamalar ve sınıflandırmalar literatürde yerini almıştır. Yapısı gereği yenilenebilir enerji kaynaklarının tek sınıfta ele alınması yeterli olmamakta ve farklı ele alınıp sınıflandırmaları yapılabilmektedir (Tesab, 2019).

Enerji ihtiyaçları, ülkelerin enerji kaynaklı dış ülkelere olan bağını zayıflatmak açısından ancak yenilenebilir enerjiyi kullanmaları ile çözümlenecektir. Gelişmişlik düzeyine göre bir ülkenin ihtiyaç duyduğu enerji farklılık göstermekte olup bu ihtiyaç her ne kadar küresel anlamda gideriliyor olsa da ülkeler milli enerjilerini üretmenin çabası içinde araştırmalarını hızla geliştirmektedirler. Fosil yakıtlara olan ilgi halen sayısal oranda fazla görünmekte olup yenilenebilir enerjinin başı çekmesi için her ülke kullanabileceği temiz enerjinin arayışını sürdürmektedir. Küresel anlamda elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin yüzdesi azımsanmayacak yere gelmiştir. Yenilenebilir enerji tüm elektrik üretiminin %23,7'sini oluşturmaktadır. Bu çalışmanın konusu olan güneş enerjisi sistemleri %1'lik pay ile gelişime ve dağılıma halen ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. %16,6 ile hidroelektrik ilk sırada yer almaktadır. Bunu sırası ile %3,7 ile rüzgâr enerjisi, %2'lik payı ile biyoenerji ve en az pay olan %0,4 ile jeotermal ve diğerleri sağlamaktadır (Gök, 2019).

2.3 Dünya'da Yenilenebilir Enerji

İnsanların daha rahat yaşayıp, refah seviyelerinin üst seviyede kalabilmesi enerji üretimi ve kullanımı ile mümkün hale gelmiştir. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji temel ihtiyaç olmakta ve her geçen gün insanların enerjiye olan bağı güçlenmektedir. Bu anlamda enerji üretiminde bazı reformlara gidilmesi ve temiz enerji olan yenilenebilir enerjinin, enerji üretimindeki payının arttırılması önem kazanmıştır.

Ülkelerin nüfusunun artması ve teknolojinin hızla gelişip hayata entegre olması ile enerji üretiminin yetersizliği ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda ülkeler kendi enerjisini üretme anlamında yenilenebilir enerjiye hızlı bir eğilim göstermişlerdir. Doğa dostu bu enerji artık dünyada elektrik üretiminde büyük bir payı oluşturur hale gelmiş ve yayılmıştır. Zamana ayak uydurmak zorunda olunduğu insanlar tarafından benimsenmiş ve bazı ülkeler fosil yakıtlarla ürettiği enerjinin daha fazlasını artık bu temiz enerjiler ile üretir hale gelmeyi hedeflemiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi bu oranın %16'sını oluşturmaktadır. Bir diğer temiz enerji olan güneş enerjisi ise şu an yaklaşık %4'lük bir oranı yakalamış durumdadır (Gül, 2018).

Fosil yakıtlardan daha çok temiz enerjiye yönelim gösteren ülkelerin enerji üretim maliyetleri bakımından uzun vadede olumlu sonuçlanması kaçınılmazdır. Son 10 yıllık süreçte oransal anlamda %16'lık paya sahip olan rüzgâr enerjisine 2014 yılı itibariyle 26,4 Avro finansal taahhüt verilmiştir. 1 yıl içerisinde enerji sektörüne yapılan yatırım yüzde 6,3 artış gösterip 2015 yılında küresel anlamda büyük bir atılım gerçekleşmiştir (Gül, 2018).

Kendi kendine oluşan bu temiz enerji günümüzde artık çok farklı alanlarda kullanıma erişmiş olup büyük bir potansiyeli bünyesinde barındırmaktadır. Bu devasa enerji 14 milyar yıl önce "Büyük Patlama'' ile oluşuma başlamıştır (Tesab, 2019, Cihan, 2019).

Enerji piyasanın yönelimi ve gelişimi çeşitli durumların etkisi altında kalmaktadır. Ülkelerin sahip olduğu fosil enerji kaynaklarının rezervleri hakkında diğer ülkelere verdiği bilgilerle şekillenmiş kurgusal planlar ile her ülke kendini

yükselen piyasa şartlarından ve çevreye verdiği olumsuz etkilerin doğayı daha fazla kirletmemesi için fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçişi hızlandırmaktadır. Devletlerin izleyeceği politikaların daha çok enerji kurguları üzerine olmasından ötürü yenilenebilir enerjinin 2011 yılı itibari ile dünyada temiz enerji üretimi artışı dünyanın kullandığı enerjinin yüzde 10'unu karşılayacak duruma denk gelmektedir (Kara, 2013).

Ülkemiz fosil enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimini istikrarlı bir şekilde sürdürmekte olup, güneş enerjisi santralleri bakımından dünyada 15. sırada yeri almaktadır. Bu kurulu güce ilaveten rüzgâr enerjisi ise tüm dünyanın 12.'si olarak yerini almaktadır. İlk sırayı ise hem güneş enerjisi alanında hem de rüzgâr enerjisi alanında Çin almaktadır (Cihan, 2019).

Ülkemiz rüzgâr enerjisi bakımından tercih edilen bir ülke olup, kurulu rüzgâr enerjisi santrallerinin bölgesel dağılımına bakıldığında ilk iki sırayı Ege ve Marmara Bölgesinin aldığı Türkiye Rüzgâr Enerji Birliği verilerinde ifade edilmektedir. 2016 yılı raporlarında 113 adet santralin varlığı belgelendirilmiştir. Bu oran günümüz itibariyle yaklaşık 2,5 katına ulaşmıştır.

Enerji üretiminin yanında sanayisi ile de Dünya'da önemli yer almış iki ülke olan Çin ve Almanya yenilenebilir enerji alanında da başı çeken iki ülke olmaktadır. Ülkemiz için enerji teşvikleri yönetimsel anlamda düzenlenmiş olmakla beraber coğrafi konumumuzun getirdiği pozitif etki ile temiz enerji üretebilme potansiyelimizi daha güçlü bir şekilde kullanmamız gerektiği unutulmaması gereken bir gerçek olmaktadır. Yenilenebilir enerji üretimimiz geçmişe göre artış gösterse bile bahsi geçen gelişmiş ülkelerin ürettiği enerji seviyesine ulaşmamız için yeterli olmamaktadır. Temiz enerji üretimini çok daha ileri boyutlara taşıyarak rüzgârdan ürettiği enerjinin üçte ikisini ihraç eden Almanya gibi bu yatırımları ileri seviyelere taşımamız enerji politikasına yön vermemiz açısından önemli bir gelişime adım atmak olacaktır (Cihan, 2019).

Önümüzdeki yaklaşık 20-25 yıl içinde küresel enerji arzı günümüzdekinin üçte biri oranında artması beklenmektedir. Bu beklenti enerji arz güvenliği kavramını daha fazla oranda ortaya çıkarmakta ve sürdürülebilir enerji üretiminin ülkelerin vazgeçilmez bir ihtiyacı olacağı öngörülmektedir. 2014 yılı başlarında küresel çapta

üretilen yenilenebilir enerji tüm elektrik üretiminin %22'sini oluşturmakta iken bu oranın ilerleyen yıllarda artışa geçmesi ülkelerin refahı açısından vazgeçilmez olmaktadır (Iea, 2015, Kanat, 2019).

Kömürle enerji üretimi fosil yakıtlar içinde büyük paya sahip olmakla beraber bazı ülkeler bu yolla üretilen enerjiye sınırlandırma getirmektedir. Çevreci bir yaklaşım olan bu sınırlandırma ile yenilenebilir enerjinin önü açılmış olup önümüzdeki 10 yıl içinde kömürle enerji üretimini geçmesi öngörülmektedir (Iea, 2015). İklimlerin ve küresel ısınmanın etkilerini azaltmak maksatlı tüm ülkelerin kendilerine göre bir yönlendirici adım atması ile dünyamıza verdiğimiz olumsuz etki azalım gösterip daha uzun yıllar yaşanabilir bir çevreye kavuşmak hedeflenmektedir (Kanat, 2019).

Yenilenebilir enerjinin paydaşlarından kurulmuş santrallerin kurulu güç dağılımı gün geçtikçe beklenilen seviyeye ulaşması için ivmelenmiş bir hızla süregelmektedir. 2009-2018 yıllarını kapsayan güneş enerjisi kurulu güç artışı %1961 olarak yenilenebilir enerji paydaşları arasında bu artış ile başı çektiği görülmektedir (Tablo 2.1) (Kanat, 2019).

Tablo 2.1: Küresel çapta Yenilenebilir Kaynakların 2009-2018 Yılları Arası Değişim Tablosu (Irena, 2019)

YENİLENEBİLİR ENERJİ KURULU GÜÇ (MW)	2009	2018	ARTIŞ
HİDROLİK ENERJİ	990.887	1.295.317	31%
RÜZGAR ENERJİSİ	150.122	563.659	275%
GÜNEŞ ENERJİSİ	23.581	486.085	1961%
BİYOENERJİ	61.774	117.828	91%
JEOTERMAL ENERJİ	9.769	13.277	36%

2.4 Türkiye'de Yenilenebilir Enerji

Türkiye, konumunun verdiği olumlu durum itibari ile yenilenebilir enerjiden günümüzdeki üretilen enerjiye oranla daha fazla yararlanma eğilimi göstermelidir. Temiz enerji üretimi için kullanılan çeşitli düzeneklere iklimsel anlamda çok yaktın

olan ülkemiz bu avantajını tüm yenilenebilir enerji çeşitlerinde arttırarak enerji arzına paydaş olma imkanını sağlamalıdır.

Türkiye'nin yenilenebilir enerji eylem planları kapsamında hedeflediği noktaya ulaşmasına az kaldığı ETKB tarafından yayımlanan raporda belirtilmiştir. Bu rapora göre uygulanan teşvikler yerinde sayılıp daha da ilerici bir politikanın sergilenmesi gerektiği vurgulanmaktadır (ETKB, 2014).

Ülkemizin yenilenebilir enerji çeşitliliğinde üretim için hedeflediği kurulu güçlere bazı enerji çeşitleri ulaşmış olup diğerleri için de çalışmaların hızla yapıldığı belirtilmiştir 2023 yılı hedeflerine ulaşma yolunda çeşitli alanlarda başarıya ulaşan ülkemiz yenilenebilir enerjilerden güneş ve jeotermal ile listeyi bir adım daha ileriye taşımış bulunmaktadır (ETKB, 2018).

Bu hedeflere ulaşılmasına katkı sağlaması amacıyla çeşitli kanun ve yönetmelikler yürürlüğe girmiştir. 2005 ve 2011 yıllarında yürürlüğe giren düzenlemeler resmî gazetede yayımlanarak yenilenebilir enerjiye eğilimi arttırmıştır. Bu düzenlemeler, 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretim Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun" ve 27699 sayılı "Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisleri Hakkında Yönetmelik" olmuştur (T.C. Resmî Gazete, 2005, 2011).

IRENA tarafından yayımlanan verilerde yenilenebilir enerji kurulu gücünün dönemsel incelemelerinde Türkiye'nin aynı dönemde Dünyaya oranla daha fazla kurulu güç artış oranını yakaladığını göstermektedir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2: Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kurulu Güç Tablosu (2009-2018) (Irena, 2019, Kanat, 2019)

YENİLENEBİLİR ENERJİ KURULU GÜÇ (MW)	2009	2018	ARTIŞ
HİDROLİK ENERJİ	14.553	28.291	94%
RÜZGAR ENERJİSİ	792	7.005	784%
GÜNEŞ ENERJİSİ	5	5.064	101180%
BİYOENERJİ	102	572	461%
JEOTERMAL ENERJİ	77	1.283	1566%

Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de incelenen aynı dönemlerde Dünyadaki güneş enerjisi artış oranı ile ülkemizdeki artış oranı kıyaslandığında ülkemizdeki kurulu güç artışının çok çok fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin öneminin farkında olduğumuzu ve jeopolitik avantajımızı tam anlamıyla yakalama hedefimize bu enerji çeşidi ile de hızla yaklaştığımızı göstermektedir.

Yaklaşık 15 sene önce sıcak su elde etme maksatlı kurulan güneş kollektörleri ülke genelinde 1500 m^2'lik bir genişlik içermekte iken bu durumun Ege ve Akdeniz bölgelerinde yaygınlığı çok daha fazla olmaktaydı. Gelişen teknolojiye ayak uydurulması neticesinde elektrik üretim maksatlı kurulan paneller kendini artık sadece kırsal bölgelerde değil, kırsal, ev ve sanayi bölgeleri olmak üzere her bölgede yararlanıldığını göstermektedir (Kaya, 2020).

Gözlenen kurulu güç artışlarındaki güneş enerjisinden sonraki sıralamayı jeotermal ve rüzgâr enerjileri almaktadır. Bu oranlar ile sanayicimizin ve yatırımcılarımızın beklentilerine karşılık veren, sürdürülebilir enerji politikalarını sergileyeceğimiz bir potansiyelimizin olduğunu kararlılıkla ispat etmiş durumda olmaktayız.

Ülkemizin temiz enerjiye olan eğilimi matematik konumundan ötürü her türlü yenilenebilir enerjinin kurulumunu hızlandırmaktadır. Kurulu santrallerimizin sayısı her geçen gün uygulanan politikalar ile düzenli bir artış gösterse bile hedeflenen elektrik üretim oranlarını halen yakalamış durumda değildir. Teknolojik gelişmeler ve ikame hammaddeler ile kurulum ve işletme maliyetleri azalış göstermekte olup, kurulan santral sayısının artması beklenmektedir. Bu durum yenilenebilir enerji santrallerinin artması ile ciddi bir istihdam yaratılmasını kaçınılmaz kılmaktadır.

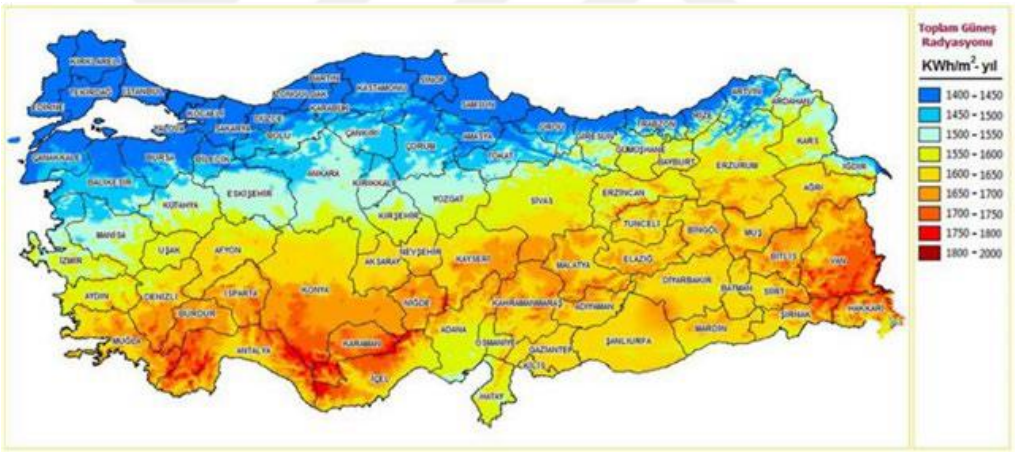
Avrupa ülkeleri arasında temiz enerjiden elektrik üretimi açısından Türkiye her geçen gün artan santral sayısı ile pastadan aldığı payı kararlılıkla arttırmaktadır (Gül, 2018).

Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA)'nın yayımladığı verilerde rüzgâr enerjisinin yatırımcılar tarafından belli bölgelerde daha fazla rağbet gördüğünü

göstermektedir. Ege ve Marmara bölgeleri, tüm ülkenin kurulu rüzgâr enerjisi santrallerinin büyük kısmına ev sahipliği yaptığını raporlamıştır.

Türkiye'de yenilenebilir enerjinin en fazla bilinirliğe sahip elemanı olan güneş enerjisinden daha çok çatılarda konumlandırılmış sistem ile su ısıtma maksatlı kullanıldığı görülmektedir (Avcıoğlu, 2017).

Ülkemizin güneş enerjisi potansiyel atlası, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünün (DMI) çalışmaları sonucu güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanılarak Şekil 2.1'deki gibi hazırlanmış bulunmaktadır. Uluslararası kabul görmüş model olan "ESRI Güneş Radyasyon Modeli'' kullanılarak elde edilen bilgiler ülkemizin potansiyel güneş bilgilerini yansıtmaktadır.



Şekil 2.1: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (Gepa, 2018, Kaya, 2020)

Türkiye'nin toplam güneş radyasyonunu en fazla alan iki bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgeler, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgesi olmaktadır (Tablo 2.3).

Güneşlenme sürelerinin farklılık göstermesi neticesinde bölgesel anlamda ciddi sonuçlar ortaya çıkmasa bile yıllık güneşlenme süreleri bakımından en fazla süre ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi ilk sırada yer almaktadır. En az güneş süresi ise Karadeniz bölgesinde olmaktadır (Avcıoğlu, 2017).

Tablo 2.3: Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgesel Verileri (Gepa, 2018)

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ Kwh/m^2-yıl	GÜNEŞLENME SÜRESİ Saat/yıl
GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ	1460	2993
AKDENİZ BÖLGESİ	1390	2956
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	1365	2664
İÇ ANADOLU BÖLGESİ	1314	2628
EGE BÖLGESİ	1304	2738
MARMARA BÖLGESİ	1168	2409
KARADENİZ BÖLGESİ	1120	1971

2016 ve 2017 yıllarındaki Türkiye'de güneş enerjisinin kurulumdan kaynaklı enerji dönüşüm oranlarının IRENA tarafından yayımlandığı istatistiklerde 2016 yılında 844 Mw olan gücü 2017 yılı itibariyle 3.422 Mw seviyesine ulaşarak küresel anlamda ülkemiz bir önceki seneye göre sıralamasını yükseltmiştir (Avcıoğlu, 2017).

Güneş enerjisine olan bu girişim ve yatırım, ülkemizin bazı fosil kaynakların rezervinin yetersizliğinden ve insanımızın ekonomik kaygılarının her geçen gün çevreye verdiğimiz zarar gibi artmasından kaynaklanmaktadır. Petrol ve doğal gaz rezervlerimiz bazı ülkelere göre düşük olması bu fosil yakıtları dışardan almamıza ve dışa bağımlılığı doğurmaktadır. Yenilenebilir enerjinin kurulu gücünü arttırarak enerji ve buna bağlı ekonomik özgürlüğümüze kararlı ve emin adımlarla yaklaştığımız sayısal veriler sonucu ortaya çıkmaktadır (Bekar, 2020).

Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı'nın yaptığı incelemeler sonucunda fosil yakıtların halen ülkemizde daha yaygın olduğu, bu durumun ise yenilenebilir enerjinin üretim maliyeti, bölgelerin iklim ve arazi şartları, elektrik fiyatlandırması, verimlilik ve enerji elde etmedeki yılların verdiği alışa gelmişliğin yarattığı bir tutukluluğun etkili olduğu sıralanmaktadır.

Ülkemiz harcadığı enerjinin büyük kısmını, çeşitli yollarla enerji üreten dış ülkelerden temin etmektedir. Bu durum ise ülkenin dışsatımı ve dışalımı arasındaki açıklığın artmasına sebep olmaktadır (Bekar, 2020).

Cari açıktaki bu durumu giderebilmek, Türkiye açısından fosil yakıtların kullanımı ile günümüz şartlarında yetersiz kalacağı için yenilenebilir enerjinin kullanımının ve üretkenliğinin artış göstermesi ekonomik anlamda kurtarıcı dallardan biri olması beklenen ve arzulanan bir gelişme olmaktadır.

Hedeflenen enerji üretiminin gerçekleşmesi Türkiye üzerinden geçen enerjinin de pazarlığını kızıştıracak ve ülkemiz, daha çok, enerji isteyen ülke görünümünden zamanla uzaklaşarak enerji arz eden ülke durumuna gelebilecektir. Şu an fosil yakıtlara olan ihtiyacımız azımsanmayacak düzeyde olup halen yüksek yenilenebilir enerji üretme potansiyelimizi hayata geçirememiş olmamız enerji ithalatı yapmamızı mecbur kılmaktadır (Bekar, 2020).

Öz kaynaklarımızın çeşitliliği ve zenginliği, yenilenebilir enerjinin kullanılabilme potansiyelinde de kendini göstermektedir. Matematik konumunun çok değerli olması, Türkiye'yi her zaman cazip bir ülke yapmış, bu değer ülkeyi maddi faaliyetler bakımından ilgi odağına getirmiştir. Fakat ulusal çıkarlarımızı korumak konusunda spesifik adımları atmamız bir nebze yetersiz kalmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak, öz kaynaklarımızın jeopolitik değerini dış ülkelere daha iyi sunmaktan geçmektedir.

Enerji ihtiyacında öz kaynaklarımızın kullanımı tüm ihtiyacın 1/4'lük kısmını oluşturmaktadır. Geriye kalan 3/4'lük kısım ise maalesef yenilenebilir enerji kullanımımızın eksik kalmasından ötürü dışarıdan sağlanabilmektedir (Cihan, 2019).

Türkiye'nin fosil enerji tüketiminde sıralaması petrol, doğal gaz ve kömür olmaktadır. Son 70 yılın enerji tüketim verilerinde tüm enerji tüketim artış oranımız yıllık olarak yüzde 5 olmaktadır. Elektrik tüketim artışımız ise yıllık bazda bu oranın 2 katı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yükselen değerlere rağmen Türkiye'nin de kurucu üyesi olduğu OECD ülkelerinin enerji tüketim değerlerinin altında bir tüketim oranına sahip olması daha çok enerji üreterek daha çok kazanabileceğimizin sinyallerini vermektedir (Uçak, 2010).

Fosil yakıtların üretimi ve satın alınması ekonomik zorlanma yarattığından öz kaynakların kullanımı ve yenilenebilir enerjinin kullanımın artması dış bağımlılığı azaltacağı gibi güçlü bir ülke vizyonunda gelişme yaratarak, çevre dostu olmanın getireceği avantajları yaşatması göz ardı edilmemektedir (Cihan, 2019).

Tablo 2.4: Enerji Türlerinin Dışa Bağımlılığı ve Kalan Ömürleri (Cihan, 2019)

ENERJİ TÜRLERİ	DIŞA BAĞIMLILIK-YERLİLİK	KALAN ÖMÜR(YIL)
PETROL	DIŞ	40-45
KÖMÜR	YERLİ-DIŞ	200-250
DOĞALGAZ	DIŞ	60-65
HİDROLİK	YERLİ	-
GÜNEŞ	YERLİ	-
JEOTERMAL	YERLİ	-
RÜZGAR	YERLİ	-

Türkiye, hedeflediği enerji politikasına uygun adımlar attığı sürece dışa bağımlılığını azımsanmayacak şekilde azaltabilecek olup, Tablo 2.4'te görüldüğü üzere, yenilenebilir enerji potansiyelinin gücünü şu an yeterli seviyede kullanamamaktadır (Çelik, 2012).

Türkiye, son yıllarda enerji stratejinin getirdiği sorumlulukla güneş enerjindeki kurulu gücünü 7.325 Mw değerine taşıyarak 9.620.335.000 kwh elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Bu değerler ile enerji üretiminin tüketime oranı %3,69 seviyesinde seyretmektedir (Enerjiatlası, 2019).

2.5 Güneş Enerjisi

Yeşil enerji kategorisindeki güneş enerjisi, güneşteki füzyon tepkimelerinden kaynağını almaktadır. İki atom çekirdeğinin birleşmesi olan füzyon daha ağır bir atom çekirdeği oluşturmaktadır. Bu nükleer reaksyion sonucu oluşan kütle farkı enerjiye dönüşmektedir. Atmosferin dışında güneşin ışınım şiddeti 1370 Watt/m^2

yaklaşık ve sabit değere sahip olmaktadır. Yeryüzünde ise bu değer 0 ile 1100 W/m^2 arasında değiştiği gözlenmiştir (Ceylan, 2012).

Güneşin çekirdeğindeki füzyon olayı ile oluşan güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan hidrojen gazının helyuma dönüşmesi sırasında açığa çıkan bir enerjidir. Bu devasa güçten yararlanmak için kolektörler, santraller ve fotovoltaik piller hayatımıza girmişlerdir.

Güneş ışınlarının emilimi ile ısı enerjisine dönüşüm sağlayıp akışkana transfer etmek amaçlı dizayn edilmiş düzenekler güneş kollektörü olarak anılmaktadır. Burada bahsi geçen akışkan konstrüksiyon ve yönteme göre çeşitlilik göstermektedir. Köllektörler, güneşten gelen ışınımı başka bir devreye faydalı ısı enerjisi olarak aktarma görevini yapmaktadırlar. Aktarım işlemini, güneş ışınımını absorbe ederek bu enerjiyi ileten absorberler yapmaktadır. Güneş ışınımını alarak absorbe edebilmesi ve kaybın en az sonuçlanabilmesi için yansımanın minumum olacağı bir kaplaması mevcuttur. Işınım sonucu üretilen ısı borular ile ısıyı transfer edecek olan akışkana iletilmektedir. Isıyı aktarma maksatlı hava vasıtası ile ısıyı taşımak için oluşturulan düzenekler hava taşıyıcı kollektörler olup, sıvı kullanılan düzenekler ise sıvı taşıyıcılı kollektörler olarak anılmaktadır (Üçüncü, 2016).

Sistemsel anlamda güneş ışınımı ile doğrudan temas halinde olacak olan düzlemsel yüzeye sahip kollektörler, sistemin amacına uygun maksimum geçirgenliğe sahip özel üretilen bir cama sahiptir. Işınımı absorbe edecek olan absorber ise kollektöre paralel olarak konumlanmaktadır. Yüksek sıcaklığa elverişli yalıtım ise absorberin altında ısı kaybını minumuma indirmek için yerini almaktadır. Kollektörün birim zamanda topladığı enerji miktarı ile birim zamandaki kollektörün yüzeyine gelen güneş enerjisi miktarını oranlamak kollektör verimine ulaşmamızı sağlamaktadır. Devre elemanları, kollektör, absorber ve oluşan ısı enerjisini kollektörden tanka ya da ısı değiştiriciye ileten elemanlardan oluşmaktadır (Üçüncü, 2016).

Cam ve hava kanalları ile paketlenmiş sandviçe benzer şekilde olan tromb duvarı, ısı depolama duvarı olarak pasif görev yapmakta ve adlandırılmaktadır. Gün içinde güneş ışınları bir cam katman arkasındaki koyu renkli duvarlar tarafından toplanır. Kalınlıkları farklılık gösteren bu duvarların arasında yer alan hava

boşlukları tahrik edilerek doğal döngü ile termal kütle ısınır. Bu ısı trombe duvarı ile gece de enerjisini yaymaya devam etmektedir (Üçüncü, 2016).

Durgun görev yapan pasif ısıtma sistemleri, güneş enerjisinden çeşitli yollarla enerji elde edilmek için binalarda tasarlanmaktadır. Güneş konumu ve pencerelerin tasarımı pasif ısıtma sisteminin elemanlarıdır. Tromb duvarı da bu tür sistemlere dahil edilmektedir. Etkin olan aktif ısıtma sistemleri ise güneş enerjisinden yararlanmanın farklı yollarını sunmaktadır. Bina ve su ısıtmanın yanında elektrik enerjisi elde etmek amacıyla kurulan ve kullanılan sistemler olarak hayatımızda yerini almaktadırlar (Üçüncü, 2016).

Güneş içinde bulundurduğu enerjinin büyük bir kısmını yeryüzüne ulaştıramamaktadır. Güneşin enerjisinin atmosferde yansıması ve soğurulması sonucu dünyamıza toplam enerjisinin küçük bir kısmı gelmektedir. Dünyamıza ulaşan bu enerjinin büyük bir kısmı doğal sirkülasyonun sağlanmasında yani suların buharlaşması, rüzgâr oluşumu, bitkisel ve hayvansal kökenli üretim gibi döngüye harcanmaktadır. Kendi kendine yenilenen bu enerji ısıtma, sıcak su elde etme, kurutma ve elektrik üretimi gibi ihtiyaca bağlı alanlarda kullanabilmektedir. Bu kullanımı sağlayabilmek için güneş pillerinden yararlanılmaktadır. Düz veya yoğun toplayıcı güneş pilleri bu görevi yerine getirmektedirler. Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan toplayıcıların yüzeyleri özel mat bir boya ile boyanarak yaklaşık %60 verim elde edilmektedir. Elektrik üretimi için hesaplanan verim ise bu orandan oldukça az olmaktadır. Temiz enerji olması ile gelecek vadeden güneş pillerinin verimi coğrafi konum olarak farklılık göstermekte olup günümüzde halen %20 civarında seyretmektedir.

Güneş enerjisinden yaralanmayı sınırlandıran düşük enerji yoğunluğu gibi bazı durumlar ile atmosfer dışındaki enerjinin gücü ve yeryüzündeki enerjinin gücü arasındaki azımsanmayacak fark (1370 W/m^2-0-1100 W/m^2) önemli bir etken olmakla beraber bunun yanında coğrafi konum itibariyle yeryüzünün 45^0 kuzey ve 45^0 güney enlemleri arasında bulunan yerleri güneş enerjisinden daha ekonomik yararlanma lüksüne sahip olmaktadır. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin küçük bir kısmı bile, insanların kullandığı mevcut enerjiden çok daha fazla olmaktadır (Karadağ, 2018).

Elektrik enerjisi elde etme hedefi ile güneş havuzları, bacaları, ocakları, pilleri, parabolik oluk ve çanak sistemleri kurulmaktadır. İnsanların güneş enerjisinden yararlanmada en sık kullandığı düzenek düzlemsel güneş kollektörü ile elde edilen sıcak su sağlanması olmaktadır. İlk zamanlarda yatırım maliyeti olarak yüksek olmalarına karşın günümüz teknolojisi ile alternatif yollar ve malzemelerin arayışı güneşten daha fazla yararlanmayı artık mümkün hale getirebilmektedir (Akova, 2010).

Doğa dostu güneş enerjisi sadece belli konum ve enlemlerde fayda sağlamamakta olup, güneşin az olduğu coğrafyalarda da kısmen kullanılabilmektedir. Verimsel anlamda istenilen seviyeyi yakalaması tartışılsa bile yine de güneş alternatif enerji kaynağı olarak tercih edilebilen bir enerji olmaktadır. Güneş enerjisinin çok güçlü olmasına karşın insanlar tarafından günümüzde kullanımı çok az bir kısmını oluşturmaktadır. Güneş enerjisi ilk zamanlardaki kullanımları bakımından yüksek orana sahip sıcak su temini ve ısınma amaçlı kullanım dışında güneş panelleri vasıtası ile artık araçlar, makineler ve her türlü cihaza monte edilerek enerji ihtiyaçlarını giderme maksatlı kullanılmaktadır. Ayrıca yapımına uygun olan düz arazilerde konumlandırılmış çok sayıda güneş panelleri ile elektrik üretimine her geçen gün katkı sağlamaktadır. Ülkemiz için kalkınma hedefleri arasında yerini alan güneş panelleri belli politika ve stratejiler için de görev üstlenmiş olup yenilenebilir enerjilerin önemini ve popülaritesini koruma ödevini yerine getiren bir çeşit enerji türü olmaktadır (Bekar, 2020).

Güçlü ve temiz enerji olan güneşin sadece çöl bölgelerine ulaştırdığı enerjisi, içinde bulunduğumuz zaman diliminde insanların harcadığı toplam enerjinin çok üstünde olduğu ileri sürülmektedir.

Türkiye'nin güneş ışınım verilerine göre en az güneş alan ve en fazla güneş alan bölgeleri arasındaki farkın çok az olduğu belirlenmiştir. En verimli güneşlenme sürelerinin çok uzun olduğu ve güneş enerjisinden elektrik üretimi teknik potansiyelinin 380 milyar kWh olduğu gerçeğine dayanarak bu enerjiden maksimum seviyede yararlanmamız gerektiği düşünülmektedir (Aksungur, Kurban ve Filik 2013).

Yenilenebilir enerjiler arasından güneş enerjisi santrallerinin maliyetlerinin diğer temiz enerjilere kıyasla mantıklı bir yatırım olduğu tespit edilmiştir. Biyokütle, jeotermal ve nükleer enerji santrallerinin sabit işletme maliyetleri hemen hemen yaklaşık değerlerde olmakta ve bu maliyetler 100 $/kW-yıl civarı belirlenmişlerdir. Güneş, doğalgaz ve hidroelektrik santrallerinin maliyeti ise diğer enerjilere göre daha düşük olup 15 $/kW-yıl olarak bir ortalama maliyet göstermektedir.

Maliyetler incelendiği zaman görünüyor ki güneş enerjisi doğal, temiz ve çevreci olmasının yanı sıra maliyet anlamında da yatırım için değerlendirmeye alınıp ülkemiz adına faydasını her platformda gösterebilme potansiyeli taşımaktadır (Karadağ, 2018).

Günlük güneşten alabildiğimiz enerji, güneş enerjisinin sahip olduğu enerjinin yaklaşık 10 milyarda biri olmaktadır. Güneşin 24 saatte yaydığı enerjinin çok küçük bir miktarı dünyamıza gelmektedir. Bu oran 10 milyarda bir olarak hesaplanmıştır. Bu değer 15 000 000 katrilyon joule'e karşılık gelmektedir. Kömürle kıyaslandığı zaman, dünyaya bir yılda gelen enerji yaklaşık dünyanın kullandığı enerjinin 15 bin katına denk olan 200 trilyon ton kömürün enerjisine eş değerdir. Ülkemize yıl boyunca gelen güneş enerjisi yaklaşık 80 milyar ton petrole karşılık gelmektedir. Fosil yakıt kaynaklarına oranla dünyaya bir yılda düşen güneş, fosil yakıtların tümünden kazanılan enerjinin 20 katı civarında olmaktadır (Cihan, 2019).

2.5.1 Güneş Enerjisi Sistemleri

Günel enerjisi, fotokimyasal ve fotosentetik tepkimeler için gereken özellikleri barındırmakta olup, yayınık olması nedeniyle yüksek sıcaklık değerlerine ulaşımını yoğunlaştırıldığı sürece mümkün kılmaktadır. Güneş enerjisi sistemleri ile enerjiyi farklı enerjilere dönüştürmek mümkündür. Güneş enerjisi günümüzde uygun sistemler ile mekanik ve elektrik enerjisine çevrilmektedir. Elektrik enerjisine çevirme işleminde fotoelektrik ve termoelektrik etkileri kullanılmaktadır (Akova, 2010).

Güneş enerjisinin bitmek bilmeyen enerjisi, çağımız teknolojileri ile entegre edilerek birçok sektörde ve evlerimizde çeşitli sebepler için kullanılabilmektedir.

Ülkelerin ihtiyaç duyduğu enerjinin çeşitli sistemlerle çevreye duyarlı bir şekilde üretilmesi de bu önemli enerji kaynağını tercih listesinde ön sıralara taşımaktadır (Akova, 2010).

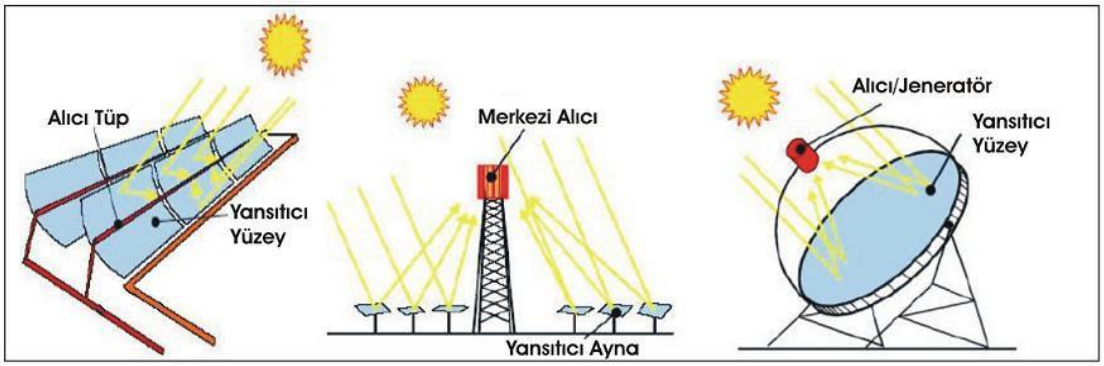
Güneş enerjisinden sadece elektrik elde etmek için yararlanılmamaktadır. Sıcaklık elde temek, direkt elektrik enerjisi üretmek ve dolaylı yoldan elektrik enerjisi elde etmek üzere üç farklı kategoride bu sistemlere başvurulmaktadır. İlk olarak, düşük sıcaklık elde etmek, ardından güneş ışınlarını yoğunlaştırarak ve son olarak da güneş ışınlarından doğrudan elektrik üretebilen sistemleri görmekteyiz. Bu sistemlerin tercihi amaç, maliyet ve kullanılabilirlik olarak değişmekte olup en yaygın olanları güneş kollektörleri olmaktadır (Cihan, 2019).

Endüstrinin tercih ettiği enerjinin daha çok ısı, buhar ve elektrik olduğu görülmektedir. Bu ihtiyaçları gidermek adına güneşten farklı sistemler ile yararlanılmaktadır. Güneş kolektörleri daha düşük sıcaklıkları sağlarken, güneş havuzları da aynı şekilde dönüşüm yapmaktadır. 100°C'nin üstüne çıkan sıcaklıklar ve enerji elde etmek için ise güneş ışınlarını yoğunlaştıran toplayıcılar kullanılmaktadır. Bu şekilde üretilen enerji istenilen hale getirilip üretime dahil edilmektedir (Akova, 2010).

Güneş kolektörleri, düşük sıcaklıklar elde etmek maksatlı kullanılan sistemlerin başında gelmektedir. Bu sistemler en yaygın tercih edilen sistemler olup farklı tiplerde hayata geçirilmiştir. Yenilenebilir enerjinin küresel çapta ilerlemesi ile sistemsel yenilikler her geçen gün arayışını sürdürmektedir. Bu arayışta şu ana kadar güneş enerjisinden elektrik elde etme yöntemi olarak en çok iki sistem tercih edilmektedir. Bu sistemler, güneşten direkt elektrik enerjisi elde eden fotovoltaik sistemler ve güneş enerjisinin yoğunlaştırılması ile oluşturulmuş kızgın buhardan konvansiyonel metotlarla elektrik elde etme yöntemleri olmaktadır (Akova, 2010).

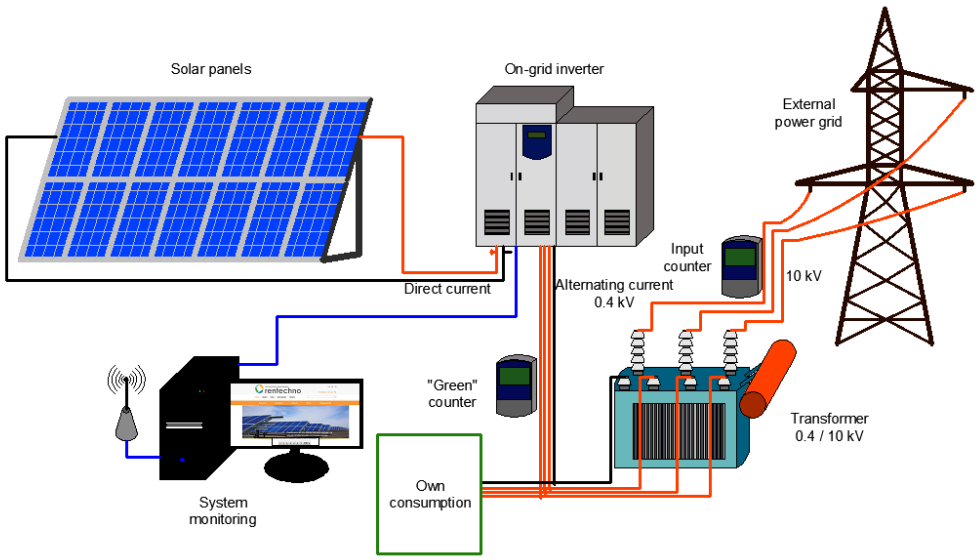
Güneş pillerinin direkt olarak elektrik enerjisi üretmek için kullanılması günümüzde küresel çapta ilerleyişini göstermekte olup, teknolojik olarak daha fazla gelişime ihtiyacının olması ve maliyetlerinin beklenen seviyelerde olmaması gibi sebeplerden ötürü arzu edilen üretim seviyelerine ulaşmasının zaman alacağı öngörülmektedir. Yoğunlaştırılmış sistemlerin üretim, işletme ve bakım maliyetleri düşünüldüğü zaman, fotovoltaik sistemlere göre hem verim hem de kullanımın geri

dönüş maliyetleri bakımından dezavantajlı duruma geldiği görülmektedir. Güneş takip sistemi ile üreteceği enerjiyi maksimum seviyeye ulaştırmayı planlayan fotovoltaik sistemler direkt elektrik enerji üretmektedirler (Şekil 2.2). Güneş enerjisinin yoğunlaştırılarak elektrik enerjisine dönüştürüldüğü sistemler güneş gözeleri ile enerji piyasasında var olmaya çalışmaktadır (Cihan, 2019).



Şekil 2.2: Güneş Enerjisini Yoğunlaştırma Sistemleri (Philibert, 2005)

Yarı iletken malzemelerden yararlanılarak yapılan güneş enerjisi sistemleri sayesinde elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Yarı iletken malzemelerin özelliği, elektronlarının atomlara sıkı bağlanmamış olmasıdır. Yalıtkan malzemelerde ise bu bağ daha sıkıdır. İletkenlerin özelliği ise elektronlarının serbest dolaşımda olmalarıdır. Fotoelektrik olayın temelini oluşturan fotonlar, ışık enerjisi taşıyan kuantum birimi olarak bilinmekte olup, güneşten gelen ışık taneciklerinden oluşmaktadırlar. Yarı iletken tabakasındaki elektronların gevşemeleri ile elektron geçişinin sağlanması sonucunda elektrik üretimi gerçekleşmektedir (Şekil 2.3). Bu şekilde üretilen elektrik, şebeke elektriği olan alternatif akım ile aynı durumdadır. Bu sistem ile ara basamak kullanmadan doğa dostu enerji olan güneş enerjisi ile elektrik üretimi mümkün hale gelmektedir (Gök, 2019).

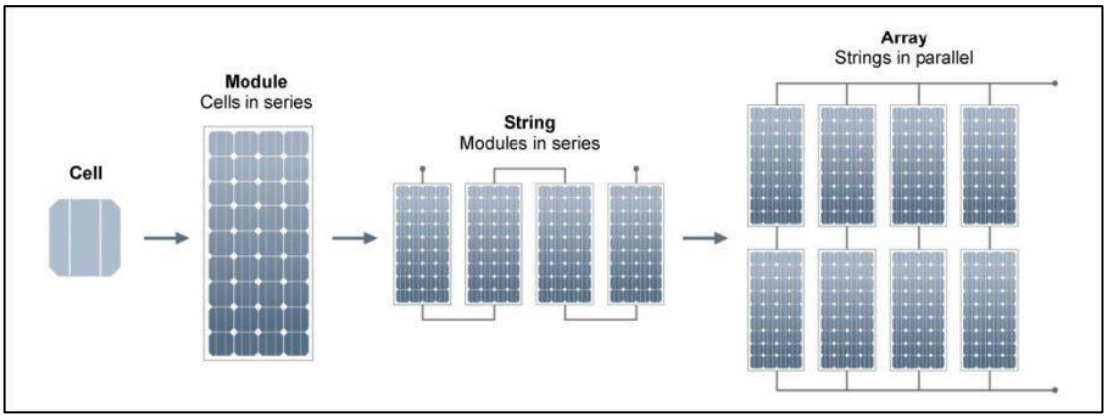


Şekil 2.3: Fotovoltaik Tesis (Philibert, 2005)

Güneş ışınlarının parabolik aynalar ya da yansıtıcı yüzeyler kullanılarak bir bölgede odaklanma düzeneğine, yoğunlaştırma sistemleri denmektedir. Bu işlem sonrasında ısı sığası yüksek sıvılar aracılığıyla, termodinamik etkiler sonucu ısı transferi sağlanmış olmaktadır. Bu ısı ise, türbinler aracılığı ile mekanik enerjiye dönüşümünü sağlayıp elektrik enerjisi elde edilmiş olmaktadır. Yoğunlaştırma düzeneklerinin farklı elemanları içermesi, bu sistemin kurulumunu maliyetini ve özellikle bakım masraflarını içermesine neden olmaktadır.

2.5.2 Güneş Panelleri

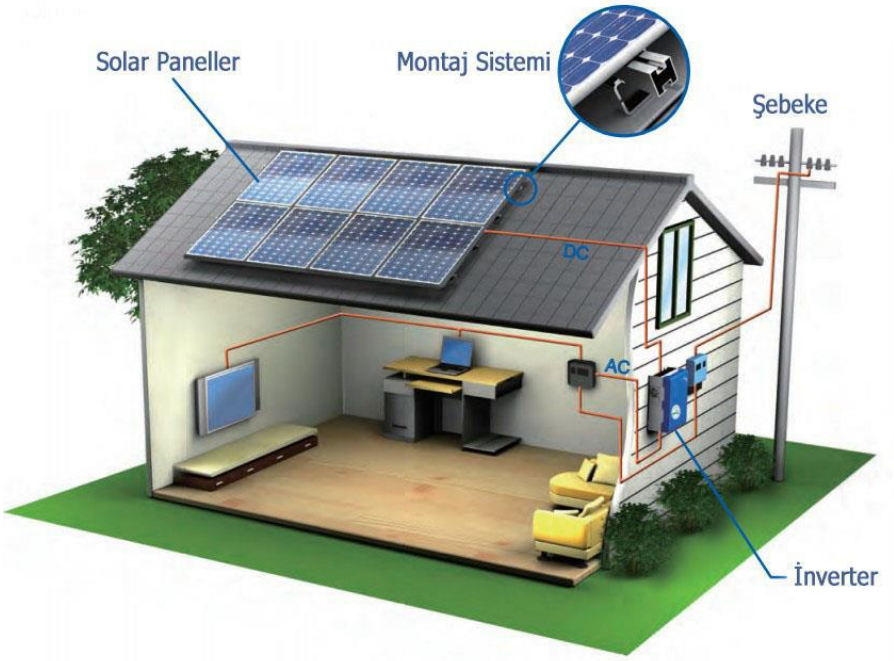
Güneş panelleri kare, dikdörtgen, dairesel ve uzun şeritler olarak birçok solar hücreden oluşturulmaktadırlar. Kalınlıkları mikron seviyesinde olan bu paneller, kullanım alanlarına ve daha fazla fayda sağlaması maksadıyla seri ve paralel olarak birbirlerine bağlanıp, Şekil 2.4'te olduğu gibi paneller dizisi oluşturmaktadırlar (Gök, 2019).



Şekil 2.4: Panel dizaynı (Philibert, 2005)

Güneş pillerinin yapımında kullanılan silisyum elementi ile farklı tipte paneller üretilmektedir. Bunlar polikristal ve monokristal panellerdir. Bu element dünyada çokça bulunmakta olup işlenmesi ve panel üretimi gibi aşamaları maliyetli olmaktadır. Bu sistemler iki katmandan oluşmaktadır. Pozitif ve negatif katmanların görevi fotonlardan koparılan elektronları hareket ettirerek akım oluşturmaktır. Piller dış etkenlerden korunma maksatlı içlerinde N ve P tipi yarı iletkenlerin bulunduğu maddeler ile kaplanmaktadır (Gök, 2019).

Fotovoltaik güneş enerji sistemleri talep edilen enerji durumuna göre seri ve paralel bağlantı yöntemleri kullanılarak çoğaltılmaktadır. Güneş enerjisi santralleri bu dizilimler ile farklı güç değerlerini sunmaktadır. Farklı kw ve bağlantıların çoğaltılması ile Mw değerlerini elde etmek mümkün olmaktadır. Bu durum güneş enerjisinden elektrik elde etmek maksatlı kullanılan fotovoltaik sistemlerin amaç ve hedeflenen güç değerlerine imkanlar dahilinde ulaşmanın zor olmayacağını göstermektedir. Şekil 2.5'teki uygulama örneğinde talep edilen güç değerine ulaşmak için çatı tipi bir sistem kurulmuştur. Güneş hücrelerinin bağlantı şekillerindeki farklar, verimliliklerinde farklılık yaratmaktadır. Bu verim şimdilerde üçte bir oranına sahiptir (Adıyaman, 2012).



Şekil 2.5: Panel uygulama örneği (Elektrikport, 2021)

Güneş pilleri farklı hammaddeler kullanılarak üretilmektedir. Kristal silikon hücreler küresel çapta üretilen pillerin 4/5'ini oluşturmaktadır. En çok tercih edilen hammadde ile kristal silikonu takip eden pil ise kadmiyum tellür yarı iletkeninden üretilen piller olmaktadır. Yarı iletken malzeme seçimine göre üç gruba ayrılmış olan güneş pilleri, geniş yelpazesi ve teknolojik gelişimlerini göstermektedir (Tablo 2.5).

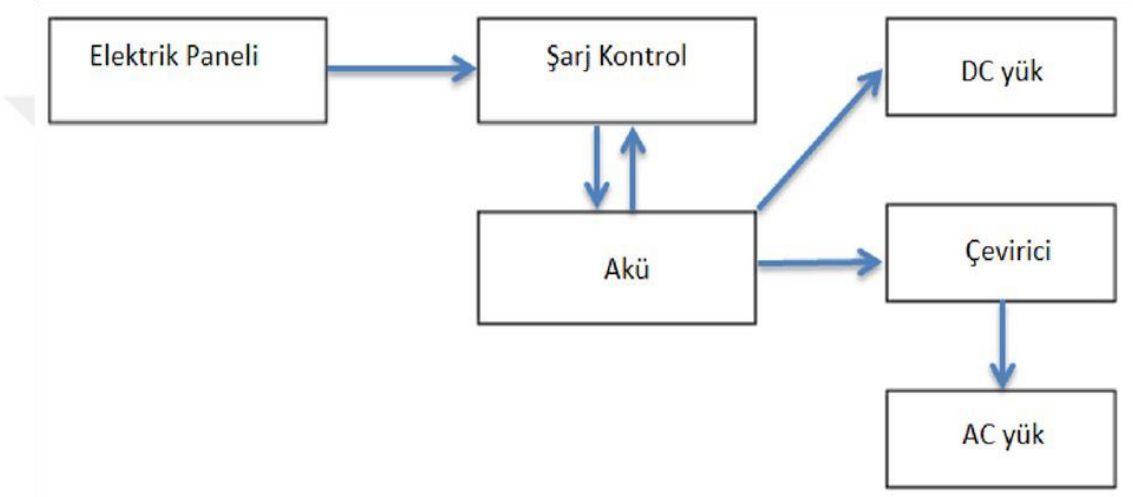
Tablo 2.5: Mevcut kullanılan ve ileriki zamanlarda kullanılması muhtemel olan hücre içerikleri (Paiano, 2015)

Birinci nesil: Kristal silikon (c-Si)	İkinci nesil: ince film	Üçüncü nesil: Yoğunlaştırıcı fotovoltaik (CPV) ve gelişen teknolojiler
a) mono kristal b) polikristal c) Şerit levhalar	a) Amorf Silikon (a-Si) b) Kadmiyum Tellür (CdTe) c) Çok eklemli hücreler (a-Si-μc Si) d) Bakır indiyum galyumdiselenid (CIGS), bakır indiyum diselenid (CIS)	a) GBM b) Boyaya duyarlı güneş pilleri c) Organik güneş pilleri d) Hibrit hücreler e) PERC (pasifleştirilmiş emitör ve arka hücre) ve PERL (pasifleştirilmiş emitör ve arka lokal)

Durgun ve etkin görev üstlenen sistemler, güneş enerjisinden yararlanma konusunda insana ve doğaya yardımcı olarak, daha güzel bir çevre yaratabilmek için görevlerini yerine getirmektedirler. Bu görevde ısıtmadan aydınlatmaya, tarımdan mutfağa kısacası insanın olduğu her yere fayda sağlamaktadır.

Etkin görev yapan sistemler aynı zamanda aktif sistemler olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemler de kendi içinde farklı çalışma prensiplerine sahip olmaktadırlar. Isı enerjisi toplayıcılarda biriktirilerek kurulan düzeneğin sıcak su sağlaması mümkün olmaktadır. Diğer çalışma prensibi ise fotonların kopardığı elektronların akım oluşturması sonucu üretilen elektrik enerjinin sisteme verilmesi ile sonuçlanmaktadır (Yeksem, 2009).

Üretilen elektrik enerjisi doğru akımdan çevirici vasıtasıyla alternatif akıma dönüştürülerek evlerde kullandığımız tür akıma geçmiş olmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Fotovoltaik Sistem Elemanları (Altaş, 1998, Kaya, 2020)

Doğru akım çeviriciler vasıtasıyla alternatif akıma dönüştürülürken, sistemde bulunan trafolar sayesinde üretilen elektrik şebekeye aktarılmaktadır. Akımın kontrol edilmesinin yanında, şebekeye aktarılan ve ihtiyaç duyulan gücün hesaplanması, aynı zamanda sistemin çalışmasının izlenmesi için bilgisayarlı kontrol düzeneği kurulmaktadır (Aycan, 2018).

2.5.3 Güneş Enerjisi Sisteminin İş Güvenliği Maliyeti

Enerji ihtiyacı ve ekonomik atılımlar neticesindeki arayışlar ile ortaya çıkan temiz ve yenilenebilir güneş enerjisi santral boyutlarında kurulum gösterdiği taktirde bazı maliyet hesaplarını beraberinde getirmektedir. Bu maliyetler kurulan santralin boyutuna göre farklılık göstermekte olup, yatırım belli bir zamandan sonra kendini

amorti etmektedir. Bu süre, santralin kurulduğu yerin enlem ve iklim şartlarının yanında güneşlenme süresi, güneş ışığını yansıtma oranı, termodinamik verimlilik gibi değişkenlere bağlı olmaktadır (Kara, 2013).

Maliyet hesabında enerji açısından artık yerini almış durumda olan yenilenebilir enerjiler, Türkiye için enerji kaynakları bakımından çeşitliliği ve zenginliği ile ele alınır durumda olmaktadır. Kurulumlarının gerçekleşmesi olası olan yeni güneş enerjisi yatırımları sayesinde, ülke ekonomisine kayda değer bir gelir olabilecek ticari durumlar ortaya çıkacaktır.

Türkiye'de şu an lisanslı ve lisansız olarak güneş enerjisinden faydalanan toplam 667 kayıtlı santral olup, bu santrallerin çok büyük kısmı lisanssız olarak enerji üretimine katkı sağlamaktadır. Mevcut veriler 631 lisansız santrale karşın 36 lisanslı yatırımın bulunduğunu göstermektedir. Enerji Bakanlığı'nın 2016 verilerinde bu sayılar, 370 lisansız santrale karşın hiç lisanslı santralin bulunmadığını bildirmektedir (Enerjiatlası, 2019).

Güneş enerjisinden sadece elektrik elde etme maksatlı yararlanılmamaktadır. Ülkemizde çoğunlukla vatandaşların öz tüketim amaçlı evlerinin ve işyerlerinin çatısına kurulumları yapılmış kolektörler göze çarpmaktadır. Ticari nitelikli olanlar ise daha çok lisansız kurulumlar olarak yerini almaktadır (Kanat, 2019).

Her işletmede olduğu gibi güneş enerjisi santrallerinde de çeşitli kalemlerde giderler mevcuttur. Bu giderler arasında, yıllık bazda, en büyük payı güvenlik hizmetleri almaktadır. Bu oran ise tüm tesis işletim giderlerinin yaklaşık %50'lik kısmını oluşturmaktadır. %25'lik gider payını ise sistemin iletim giderleri kapsamaktadır. Geri kalan giderleri, bakım onarım, sigorta ve öngörülemeyen giderler olarak sıralayabilmekteyiz (Kanat, 2019).

2.5.4 Güneş Panellerinin Kurulumu



Şekil 2.7: Yollara Uygulanan Güneş Panelleri Örnekleri (Sonne, 2020)



Şekil 2.8: Yürüyüş ve Bisiklet Yoluna Güneş Paneli Kaplanması (Sonne, 2020)

Paneller artık sadece açık arazilere değil birçok yere kurulmaktadır (Şekil 2.9 ve 2.10). Denizlerin ve göllerin üzerine, bina, köprü, otopark yapılarına monte edilmesi artık günümüz şartlarında çokça rastlanılmaktadır. Tasarımları yapılırken, inşa edilecekleri yere göre özel tasarım monte elemanları ile donatılmaktadırlar. Panellerin kurulacağı matematik konumuna göre kurulu olduğu yıllar boyunca farklı maruziyetlerle karşı karşıya kalma durumu mümkündür. Bu yüzden yük taşıyıcılar özel tasarlanmaktadır.



Şekil 2.9: Su Üstü Panel Kurulumu (Nature, 2016)

Güneş panelleri, güneş ışığını en doğru açı ile alırsa daha verimli olmaktadır. Bu yüzden kurulacakları yerlerin topoğraf özelliği ve kurulum sahasının meyilli olması önem taşımaktadır. Ayrıca güneşi takip eden sistemler kurularak da doğru açı her zaman yakalanmış olmaktadır. Meyilli çatı ve teraslarda ise ekstra olarak yük dayanım testleri yapılabilmektedir. Çatılar sadece kendi ağırlıklarını kaldırmaları üzerine inşa edildiklerinden iklim şartları yüzünden hem çatının hem de özellikle panellerin maruz kalacakları ekstra yük altında mukavemetlerinde bir sorun çıkmaması uzun yıllar güneşten faydalanmak için önemli bir ayrıntı olmaktadır.



Şekil 2.10: Eğimli Otopark ve Ev Çatısına Panel Uygulama Örnekleri (Nature, 2016)

2.5.5 Güneş Panellerinde Kullanılan Temel Türler

Tüm dünya elverişli iklim şartlarına uygun olan açık arazilere güneş enerjisi tarlaları kurarak yenilenebilir enerjiye atılım yapmaktadır. Bu tarlalar alçak ve yüksek olarak adlandırılan iki farklı montaj tipine sahiptirler (Kaya, 2020).

Panellerin kurulum yapılacak zemine yakın konuşlandırılması alçak montaj olmaktadır (Şekil 2.11). Yüksek montaj ise paneller ile zemin arasında oldukça yükseklik farkı olan ve aradaki boşluğun başka bir iş amaçlı kullanıldığı sistemlerdir.



Şekil 2.11: Tarımda Güneş Enerjisi Kullanımı Örneği (Nature, 2016)

Panellerin kendi ağırlıkları ortalama 20 kg civarındadır. Yenilenen teknoloji ile bu ağırlık ortalaması gün geçtikçe azalacaktır. Fakat buradaki sorun ağırlıklarının yanında rüzgâr yükünün yarattığı tehlikedir (Lutenegger, 2016). Bu yüzden panel tasarımları yapılırken rüzgâr yükleri de hesaplanarak tasarım yapılmaktadır. Bu sayede rüzgâra direnen gerilme kapasiteleri çerçevesinde üretilen paneller rüzgarın kaldırma kuvvetine mukavemet göstermektedir (Kaya, 2020).

Güneş panelleri birçok sektörden çalışanı tek çatı altında toplayabilmektedir. Bu çok branşlı endüstri, istihdam anlamında geniş bir yelpaze sunmaktadır. Arge çalışmaları yapan bilim insanlarından, imalat ve proses mühendisliğine, inşaat mühendisliği ve emekçilerinden, kaplama ve cam sanayisi çalışanlarına, bakım elemanlarından, geri dönüşüm sektörüne ve iş güvenliği profesyonellerine uzanan birçok endüstri dalını bünyesinde barındırmakta ve istihdam sağlamaktadır (Bakhiyi ve diğ., 2014).

2.6 Türkiye'de Güneş Enerjisi

İklim ve coğrafi konumu dolayısıyla Türkiye'nin güneş alma süresi farklılık göstermektedir. Yıllık bazda güneş alma süresi ortalama 2800 saat civarında olmaktadır. Bu değer güneşten yüksek yararlanılabileceğini göstermektedir. Fakat 2015 yılında Türkiye, Almanya'ya oranla on binde 60 kadarlık bir güneş enerjisi güç artışı ilerleyişi göstermiştir. Halbuki Almanya'nın ortalama güneşlenme süresinin yaklaşık 0,6 katı süreye sahip olan ülkemiz özellikle temmuz ayında maksimum güneşlenme süresine çıkarak imrenilecek değerleri yakalamaktadır. Almanya'dan başka diğer bazı Avrupa ülkelerine kıyasla da Türkiye güneş potansiyeli olarak ileride bir ülkedir. Güneş potansiyeli bakımından kendisine yaklaşık olan Fransa ve İspanya'nın bile üçte bir oranın kaldığı görülmektedir. 380 GW/yıl güneş enerjisi potansiyeli ile Türkiye, dünya ortalamalarının üzerinde bir enerji kaynağına sahiptir. Bu bağlamda tüm yenilenebilir enerji çeşitlerinin gelişime açık olduğu, özellikle güneş enerjisinin beklentileri karşılamakta sorun çıkarmayacağı öngörülmektedir (Aycan, 2018).

Avrupa ülkeleri, kurulmuş olan güneş enerjisi sistemleri bakımından Asya ve K. Amerika'yı geride bırakmıştır. Fakat kurulu PV sistemleri bakımından Çin, Almanya, Japonya, ABD ve İtalya son 10 yılda kurulum hızını pozitif ivme ile arttırmışlardır (Aycan, 2018).

3. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ

3.1 İş Sağlığı ve Güvenliği Kavramı

Çalışma hayatı önceleri üretime ve hayatta kalabilme adına bir şeyler elde etme hedefine kilitlendiği için ve makinesiz çalışma hayatının sonucu olarak çalışan bazlı sıkıntıların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Artan nüfus ve yerleşik hayata geçiş ile bu hedef farklılıklar göstermeye başlamıştır. Bunun sonucunda daha fazla üretime odaklanan işveren ve dolayısıyla daha çok emek sarf eden çalışan, işe bağlı çeşitli sıkıntılar yaşamışlardır. Sektörel incelemeler ve toplanan veriler ışığında çalışanlara ve işverenlere yönelik yasal düzenlemeler kaçınılmaz olmuştur. Her Devlet kendi çalışma prensibine göre ortak bir paydada toplanan, çalışanın daha iyi şartlarda çalışması için yasa ve yönetmelikler çıkarmakta ve yürütülmesi için denetlemeler yapmaktadırlar. Teknolojik gelişmeler sonucunda ortaya çıkan yeni sektörler için de düzenlemeler hızla yapılmakta olup tüm bu düzenlemelerin genel adına İş Sağlığı ve Güvenliği denmektedir.

İş görenlerden beklenen performansın, değişen hayat şartları yüzünden gün geçtikçe artış göstermesi çalışanların üzerindeki baskının artmasına neden olmaktadır. Artan baskı neticesinde hız kazanmak zorunda olan iş gören çeşitli tehlikeleri göze almakta ve zamanla kanıksamaktadır. Bu durum ise, olumsuz şartların gelişmesine yol açmaktadır. Ramak kala olay ya da iş kazası ile sonuçlanan bu durumlar, çalışana, işverene ve tabi ki devlete de yansımaktadır (Eroğlu, 2021).

İş Sağlığı ve Güvenliğinin bazı tanımları ise şu şekildedir:

- "İş Sağlığı ve Güvenliği, iş hayatının önemli bir parçası olan iş yerlerinde iş görenlerin çalışma koşullarının minimum düzeyde tehlikeli olmasını sağlayan ve güvenli, sağlam ve sağlıklı bir ortam temin edilebilmesini sağlayan bir alandır."

- "İş Sağlığı ve Güvenliği, çalışanların çalışılan yerde karşılarına çıkabilecek tehlikeleri ve kazaların tümüyle bertaraf edilmesi veya minimum düzeye

indirilmesi için uyulması gereken sorumluluklardan meydana gelen kuralların tümüdür" (Dudu, 2019).

Tanımlardan anlaşıldığı üzere İş Sağlığı ve Güvenliği, tüm sektörleri ilgilendiren, gelişen teknoloji ve artan nüfus yoğunluğu ile rekabetçi ve acımasız bir duruma gelen iş hayatının olmazsa olmaz bir parçasıdır. Sektör ve tehlike sınıfı ayırt etmeksizin her iş kolunda olan iş güvenliği, çalışanın ve işverenin İş sağlığı ve güvenliğine verdiği önemle doğru orantılı olarak benimsenip, işyerinde belirli bir yerini alsa bile devletin koyduğu kurallara uyulması kaçınılmaz bir gerçek olmaktadır.

Önceleri daha çok İşçi sağlığı ve iş güvenliği olarak anılan bu kavram akademik çalışmalar sonucunda farklı fakülte ve yüksekokullarda öğrencilere eğitim verilecek duruma getirilmek maksatlı genel adı olan ''İş Sağlığı ve Güvenliği'' kavramı olarak anılmaya başlanmıştır. Bu sektöre gönül vermiş insanlar ise artık bu kavramı biraz daha kısaltarak kavramın her basamağını kapsayacak şekilde sadece ''İş Güvenliği'' olarak anmaktadırlar. Halen adı İşçi Sağlığı ve Güvenliği olarak da geçen akademik birimler bulunmakta olup, çalışanın hem sağlığına hem de işin ve kendisinin güvenliğine yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

3.1.1 İş Sağlığı

Psikolojinin her geçen gün öneminin arttığı hayat şartlarında, çalışma hayatında bedenen sağlıklı olmanın yanında psikolojik olarak da sağlıklı olmak gerekmektedir. Çalışma Bakanlığı'nın yaptığı araştırmalar neticesinde kendini işine adapte edemeyen çalışanların daha çok kazaya maruz kaldığı görülmektedir. Çalışma hayatının olağan ve sorunsuz süre gelebilmesi için çalışanın bedenen bütünlüğünün yanında psikolojik sağlığının da çok önemli olduğu ortaya çıkmaktadır (ÇSGB İstatistikleri, 2020).

İş Sağlığı tanım olarak: "tüm mesleklerde çalışanların fiziksel, zihinsel ve sosyal refahlarını korumak, çalışanları çalışma koşullarından uzak risklerden korumak, sağlık içinde yaşamalarını sağlamak ve insan ve insan hizmetlerine uygunluk için işe yerleştirme ve iş düzenlemek" olarak literatürde geçmektedir.

Küresel çapta çalışanın her türlü çalışma şartlarını iyileştirmek için uğraş veren çalışma ve sağlık örgütleri iş görenin sağlıkla işine devam etmesinin her olgudan daha önemli bir yerde olduğunu ifade etmektedirler (Dudu, 2019).

İş sağlığı, çalışanın sağlığı ile ilgilenen bir kavram olup hem iş görenin genel sağlık durumunun iyiliğinin koruması hem de çalışanın yaptığı işinden dolayı ilerleyen zamanda karşılaşması muhtemel meslek hastalığı riskleri varsa o risklerin bertaraf edilmesi için çalışmaların yapıldığı bir dal olmaktadır. İşyerinde, çalışan sağlığı açısından, tehlikeli bir durum var ise bunun önüne geçerek önlemler silsilesi alma durumunu iş sağlığı olarak ele alabilmekteyiz.

3.1.2 İş Güvenliği

İş Güvenliği kavramı artık tüm olguyu ifade eder manada kullanılmaya başlanmış olsa da aslında bu kavram gerçek anlamda sadece çalışma hayatı ile ilgili olan ve sadece işyerini kapsamayıp tüm iş ile ilgili eylemde işin daha güvenilir ve sorunsuz ilerlemesi için yürütülmesi gereken önlemler ve düzenlemeleri kapsamaktadır. Sayısal ve sözel anlamda farklı yaklaşımların sergilenebildiği ve çalışma hayatına geçirildiğinde iş görene güven aşılayarak, işverenin üretim kaygısına merhem olan tüm önlemler silsilesine verilen genel isim olmaktadır.

Amacın daha güzel çalışma hayatı yaratmak olduğu düşünülürse, iş güvenliği kavramı bu manada sektörel bazda spesifik olan önlemlere ve genel önlemler paketine uygun hazırlanmaktadır. Her türlü programın, işyerinin iş ve işleyiş standardına uyum sağlayarak hazırlanması esas olmaktadır. Hazırlanan önlemler ve çalışma programı, işyerinin genel anlamda iş güvenliği politikasına uyumlu olmalıdır. Yasal olarak mecburiyet duyularak hazırlanmış her yaklaşım programı çalışma hayatını daha kötü seviyelere taşımaktadır (Dudu, 2019).

3.1.3 İş Sağlığı ve Güvenliğinin Amaçları

Çalışma hayatı, insanın var olduğu sürece bireysel ya da toplu olarak varlığını hep göstermiş ve göstermeye gelişerek devam etmektedir. Endüstri atılımı ile toplu

çalışma ortamları fazlalaşmış olup, her çalışma ortamının kendine göre tehlike ve riskleri bulunmaktadır. Tehlikelerin tespit edilip potansiyel sorunların bertarafı için risk önleme politikaları geliştirmek, iş sağlığı ve güvenliği için çok önemli bir adım olmaktadır. Kısıtlı alan ve şartlarda daha kolay ve güzel yaşama arzusu insanımızın bazı riskleri kabul ve kanıksamasına yol açmış olup bu riskler, yetersiz iş sağlığı ve güvenliği bilincinin kanıtı olmaktadır (Eroğlu, 2021).

Dünyanın gelişiminde sanayinin ve üretimin çok önemli rolü bulunmaktadır. Bunun bilincinde olan yatırımcılar hızla yeni yatırımlara atılmışlardır. Bu atılımlar sonucunda yeni istihdamlar oluşmuştur. Üretim hızına yetişme çabasında olan işyerleri, çalışanlarından çok hızlı ve kesintisiz çalışma gücü talep etmiş ve neticesinde ağır sonuçları ile karşılaşmışlardır. İnsanlar her ne kadar hayatta kalabilmek için bireysel ya da toplu çalışma hayatını tercih etmiş olsalar da can güvenliklerinin olduğu bir çalışma düzeninden hiç vazgeçmemişlerdir. İşverenlerin daha fazla üretme arzusu, iş görenlerin canlarını koruma isteği ile birleşince ortaya İş Sağlığı ve Güvenliği Kuralları çıkmıştır. Bu kurallar çerçevesinde hem işverenin hem de çalışanların daha güvenli çalıştığı yerler inşa edilerek, kazalardan dolayı kesintiye uğramayan çalışma hayatının kapılarını ardına kadar açmayı hedeflemişlerdir (Ceylan, 2012).

İş Sağlığı ve Güvenliği, merkezinde çalışanı bulundurmaktadır. Her anlamda çalışanın sağlığının korunması ve bu durumun devamlılığının sağlanması esasını benimsemiştir. Ramak kala olay ve kazanın olmaması sonucunda doğal olarak üretimin devamlılığı da sağlanmış olmaktadır (Dudu, 2019).

Çalışma hayatında her zaman çeşitli nedenlerden dolayı tehlikeler bulunmaktadır. Bu tehlikeler, sektörel olduğu gibi, insan kaynaklı ya da işyeri düzeninden kaynaklanabilmektedir. Tehlikelerden kaynaklanan riskler farklı sonuçlar doğurmaya her zaman gebedir. Bu riskler farklı etmenlerden oluşabilmektedir. İşyerinde bulunan ham maddelerden, çalışma düzenine, insanların bilinç durumuna ve eğitimine dayandığı gibi termal konfor şartlarını oluşturmaya çalışırken bile risklerle karşılaşmak mümkün olmaktadır. Teknolojinin gelişimi yenilikleri, yenilikler ise iş güvenliği anlamında farklı önlemlerin alınmasını zorunlu hale getirmektedir. Sorunların çözümü için ise önce o işin, profesyoneller tarafından tüm

ayrıntılarının öğrenilmesi gerekmektedir. Yapılan her çalışma bir tehlike potansiyeli taşımaktadır ve gerekli tedbirler bu bilgiler ışığında alınabilmektedir.

İş Sağlığı ve Güvenliğinin amacına uygun çalışılması, üretim güvenliğini de beraberinde getirmekte olup aynı zamanda çalışanların işyerine olan bağını kuvvetlendirmektedir. Bu sayede çalışanlar daha özverili ve kurallara daha riayet eder bir tavır ile işlerine bağlanmaktadırlar. Bu tutum, çalışanlara ve işverene olumlu bir sonuç olarak geri dönmektedir. Aidiyet duygusunun kuvvetli olduğu işyerlerinde iş kazaları daha az olmaktadır.

3.1.4 Tarihsel Gelişim Süreci Açısından İş Sağlığı ve Güvenliği

Ülkelerin sanayileşme atılımına başlaması farklı zaman dilimlerinde olduğu için evrensel yaklaşım farklı zamanlarda olmuştur. Eskiden her ülke sadece uğraş alanlarının etrafında düzenleme yapma gereği duymuştur. Binlerce yıldır süre gelen taşın çıkarılması, işlenmesi, nakliyesi ve insanların kullanım tercihlerinde hammadde olarak ele alınması işinde bile inanılmaz teknolojik gelişmeler olmasına rağmen halen iş kazalarının ve meslek hastalıklarının olması ise sektörel gelişmelerle yeni sorunların türediğini ve her daim kontrolün gerektiğini göstermektedir.

Endüstrinin gelişmesi gerektiğinin benimsenmesi, gelişme ile istihdamın artması ve çalışma hayatına yeni giren birçok yenilik yeni sorunları beraberinde getirmiş ve bu sorunlara çözüm arayışları kaçınılmaz hale gelmiştir. Sadece iş kazaları değil aynı zamanda çalışanların bedensel sorunlarının da daha çok dile gelmesi yeni bakış açısı getirmiştir. Çalışanların yaptıkları iş ile ilgili bedensel sorunlar yaşaması ihtimali üzerine iş ile sağlık arasında bir bağlantı kurmanın kaçınılmaz olduğunu gören dönemin sağlık gönüllüleri bu bağlantının gerçekliğini yaptıkları çalışmalar ile ispatlamışlardır.

Endüstriyel devrim ile üretim hızla artış göstermiş ve çalışan kesimin insani hakları gün geçtikçe kısıtlanmaya başlamıştır. Çalışmasının karşılığını alamamasının yanında sağlıksız ve güvensiz koşulların işverenler tarafından umursanmaması büyük endüstriyel kazaları da beraberinde getirmiştir. Artan tepkiler üzerine çalışanlara

yönelik iyileştirmeler yapılmıştır. Bu iyileştirmeler çalışma saatlerinden, bazı özlük haklarına kadar uzanmış olsa da en çok sağlıksal iyileştirmeler başı çekmiştir.

Globalleşen dünya, sektörler ve ekonomileri rekabete sürüklemiştir. Bu rekabet sonucunda ilk hedef üretim olduktan belli bir süre sonra sadece üretimin hedeflenmesinin irili ufaklı her türlü kazayı ve sağlık sorunlarını hızla getirdiği anlaşılmıştır. Bunun üzerine hedefi güncelleyen çalışma ve sağlık örgütü, işverenlerin nihai hedeflerinin sürdürülebilir üretim olması gerektiği üzerine direktifler yayınlamıştır.

Kazalardan ve mesleğin yol açtığı rahatsızlıklardan kaçınma ve korunma yolları geliştiren ülkeler bu sayede kesintisiz iş günü ve saatini yakalamanın mümkün olacağını benimsenişlerdir. Fakat çalışanların bilinç durumu buna her zaman müsaade etmemektedir. İş güvenliği önlemlerini bir zorunluluk gibi görmekten ziyade içselleştirmek sorunsuz iş hayatının bir anahtarı görevini üstlenmiştir. Kurumsal olarak doğru güvenlik yaklaşımının benimsenmesi, aynı zamanda, çalışanlar olarak işi zorlayıcı gibi kabul görülen önlemler silsilesinin de masumiyetini ispatlamaya başlamaktadır (Eroğlu, 2021).

Ülkelerin ekonomik düzeyleri ve sağlıklı iş hayatının yürütülmesi için gereken kültürün varlığı gibi sebepler alınacak ve uygulanacak önlemlerin değişikliğe uğramasına neden olmaktadır. Küresel çapta aynı mantık hâkim olsa da insana değer veren ülkeler çok daha uygulanabilir önlemler almaktadırlar. Halen günümüzde insandan daha çok üretime önem veren ülkeler bulunmakta olup bu ülkelerin çalışan kesime verdiği değer ekonomiye verilen değere göre çok geride kalmaktadır.

3.1.5 Dünya'da Gelişim Süreci

Yapılan işe bağlı olarak önlem geliştirme süreci, insanların herhangi bir iş ile ilgilenmeye başladığından beri varlığını sürdürmektedir. Sanayi devrimi öncesi, madenciliğin gelişime geçmesi ile taş ve toprak işlenmeye başlamıştır. Ateş icat edildiğinde, buhar makineleri insan hayatına giriş yapmıştır. Bu gelişmeler

sonucunda iş ve üretim araçları gelişim gösterip yapılan işin sağlık sorunlarına yol açtığı düşüncesi ile iş sağlığı ve güvenliğinin temelleri atılmıştır.

Herodot ve Hipokrates yıllar önce yapılan işe bağlı bazı iyileştirmelerin çalışanlar için daha sağlıklı çalışma ortamı yaratacağını savunmuşlardır. Tüketilen yiyeceklerden, enerji verici olanların tercih edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda Herodot, çalışanların uğraştıkları işte mutlu olmalarının sağlıklı bir çalışma hayatından geçtiğini belirten ifadeleri bulunmaktadır. Eski zamanlarda madenciliğin yaygın olması, bu sektörde çalışanların sağlık sorunlarını öne çıkarmıştır. Metal madenciliğinde önemli yeri olan kurşun ile çalışmalar yapılarak, çalışanları zehirleme ihtimalinin olduğu belirtilmiştir (Güler, 2016).

1713 yılında meslek hastalıkları ve iş kazaları ile ilgili yazdığı eser ile literatüre giren ve endüstri sağlığının babası olarak anılan Bernardino Ramazzini (1633-1714), çalışanların yaptıkları işle ilgili sağlık sorunları yaşamasının muhtemel olduğu üzerinde çalışmalar yapmıştır. Hekimlere, hastalarının ne iş yaptıklarını sormaları tavsiyesinde bulunmuştur. İş kazaları, termal konfor şartları ve ergonomi gibi konulara değinmiş ve iş güvenliği ile ilgili insanların bakış açısını değiştirmeyi başarmıştır (Yılmaz, 2009).

Sanayi devrimi ile makineler, insan gücünün çok daha üstüne çıkmıştır. Bu gelişme artık makineleşmenin önünü açmıştır. Ekonomi alanında birçok yenilik yaşanmıştır. Buhar makineleri üretimde yerini almıştır. Fabrikaların hızla artması istihdamı arttırmıştır. Barınma problemleri kendini göstermiştir. Uzun çalışma temposuna alışık olmayan iş görenler için uyum sorunları yaşanmıştır. Bu sorunlar birçok kazaya ve çalışanların hayatını kaybetmesine yol açmıştır. Kimyasal maddelerin, kişilere vereceği zarar düşünülmeden çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar hastalıkları beraberinde getirmiştir. İş görenlerin uzun süre bu şekilde çalışması, sorunların çözümüne arayışları beraberinde getirmiştir (Güler, 2016).

Yaşanan çeşitli kazalar ve özellikle çalışanların sağlıklarını kaybetmeleri sonucu artış gösteren sağlık hizmeti beklentisi yeni bir düzenin getirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Çığ etkisi gibi gittikçe yayılan ve büyüyen sağlık sorunları iş görenlerin memnuniyetsiz çalışmasına ve bazı beklentilerin artmasına neden olmuştur. Bu gelişmeler, toplu hareket edilmenin haklarını savunmada etkin olacağı

düşüncesini getirmiştir. Bu bağlamda sendikalaşmaya gidilmiştir. Çalışanların seslerini daha gür duyurmaya ihtiyaç duyması da iş güvenliği önlemlerinin artık yeterli olmadığının bir göstergesi olmuştur.

Endüstriyel devrimin çalışanlar için olumsuz etkileri, çalışma koşullarının düzeltilmesini kaçınılmaz hale getirmiştir. Ulusal ve uluslararası çapta önlem almanın çalışma hayatını düzene erdireceği düşüncesiyle Birleşmiş Milletler tarafından ILO kurulmuştur. Zaman içerisinde bağımsız bir kuruluş haline gelen Çalışma Örgütüne Türkiye de üye olmuştur. Halkların sağlığı ile dünyada barış ve güvenin daha iyi bir temele oturabileceği düşüncesi ile Dünya Sağlık Örgütü kurulmuş ve kuruluşundan beri sağlık konusunda ülkelere yardımda bulunmaktadır. Küreselleşen yapı ile iş görenler ve işverenler belli bir beklenti içine girmektedir. Bu beklentilerin ulusal anlamda karşılanması zorlaştığında uluslararası kuruluşlar devreye girmekte ve çalışmalar düzenlemektedir. (Yılmaz, 2009).

Ulusal ya da uluslararası alınmaya çalışılan önlemler öncelikle eğitim seviyesine bağlanmış olsa da tüm sorun eğitimsizlikten kaynaklanmamaktadır. Ekonomik kaygıları yaşayan ülkelerin yatırımcıları iş güvenliğine yapılan yatırımı gereksiz ya da fazla görmektedir. Bunun sonucunda kazalar ve işe bağlı hastalıklar kaçınılmaz olmaktadır. Alınacak önlemlerin ülkeler bazında farklılık göstermesi kaçınılmaz olmaktadır. Fakat bu önlemler her zaman tetikte bekleyip çıkabilecek sorunların üstesinden gelebilmek için tasarlanmaktadır. Devletlerin yaptıkları yasal düzenlemeler ve denetlemeler iş güvenliği politikasını belirlemektedir. Bu politika ile yatırımcılar ve dolayısıyla iş görenler önlemlerin kıymetini kavrayabilmekte ve kaçınılmaz olduğunu görebilmektedir.

Tarihte çok eski zamanlara dayanmakta olan işe bağlı güvenlik önlemlerinin insan odaklı tek merkezde olduğu ve onun çevresinde gelişim gösterdiği bilinmektedir. Bu gelişim, endüstriyel devrim öncesi olduğu gibi sonrasında da devam etmiştir. İngiltere ile başlayıp ardından tüm Avrupa ülkelerine yayılan önlemler, bütün ülkelerin katkı sağlayarak ilerlemesini sürdürmüştür. Başlarda reaktif bir yaklaşımın olduğu görülmektedir. Günümüzde ise bu yaklaşım yerini önleyici yaklaşıma bırakmıştır. Önleyici yaklaşımın yayılması, iş kazalarını azaltmış olsa bile halen gelişime açık olduğu yaşanan kazalar ve hastalıklar neticesinde görülmektedir. Küresel çapta olan her ekonomik buhranın iş güvenliği verilerini

olumsuz etkilediği yadsınamaz bir gerçektir. Ekonomik kaygı her ne kadar önemli olsa da iş güvenliği verilerinin kötüye gitmesi direkt ve dolaylı yoldan zaten işin verimini etkilemektedir. Birbirlerine bu denli bağlı oldukları tarihsel gelişiminin hiçbir zaman sona ermemesinden de anlaşılabilmektedir (Yılmaz, 2009).

3.1.6 Türkiye'de Gelişim Süreci

Türkiye'de çalışma düzenine yönelik atılımlar Osmanlı Devleti'nin girişimleri ile başlamıştır. Bu dönemlerde savaşların etkileri ile dönem dönem atılımları görmek mümkün olmuştur. Ekonomik anlamda ayakta kalmamıza destek olan madencilik birçok katkı sağladığı gibi çalışma alanını da etkilemiştir. Ekonomik süreklilik için daha çok üretime odaklanmış olmasına rağmen iş güvenliği önlemleri için bazı atılımları görmek mümkündür. "Saksonya Maden Kanunları" ile başlayan süreç 1525'ten 1536'ya kadar 11 yıl madencilik için düzenleyici kanun olarak yerini almıştır.

Modernleşme ve yenileşme dönemi olarak bilinen Tanzimat döneminin öncesinde ve sonrasında İş Sağlığı ve Güvenliği tedbirlerini görmek mümkündür. Düzenleme döneminin öncesinde madenlerde sektörel iyileştirmeler ve geliştirme atılımları görülmektedir. Esnafların birleşerek kurdukları Loncalarda da bazı düzenlemeleri görmekteyiz. Yapı olarak manevi duyguların baskın gelmesi, esnafların birbirine maddi ve manevi yardımlaşmasını getirmiş ve beklenmeyen bir durum ile karşılaşıldığında herkesin birbirine destek olacağı bir düzen kurulmuştur. Kurulan yardım sandıklarında kazadan ölüme kadar her türlü olumsuz ve istenmeyen durum bertaraf edilmeye çalışılmıştır. Bu durum ile hem devletin verdiği destek hem de her kademede çalışan insanların birliktelik içinde iş güvenliğine katkı sağladığını belirtebiliriz (Gerek, 2006).

Artan nüfusun etkisi ile yeni düzenlemeler kaçınılmaz olmuş ve Tanzimat dönemi sonrası da iş güvenliğine yapılan atılımlar devam etmiştir. O dönemde daha yaygın olan madenciliğe yönelik önlemler dikkati çekiyor olsa da sadece madenciliğe yönelik düzenlemelerle sınırlı kalınmamıştır. Usta, kalfa ve çırak tanımlarına yönelik kavramlar iş hayatına yerleşmiştir. 1865 yılında "Dilaver Paşa Nizamnamesi" ilk yasal düzenleme olarak tarihe geçmiş ve Ereğli'de uygulanmıştır.

Kömür sektörünün ilerleyişi bel ve özellikle de akciğer hastalıklarını beraberinde getirmiştir. Çalışanların ücretlerine yönelik düzenlemeler ve hastalıkların önüne geçebilecek yeni kurallar "Maadin Nizamnamesi'' içinde yerini almıştır. Gerekli görülen işyerlerinde hekim bulundurulma fikri bu dönemde ileri sürülmüştür. Mecelle ile bazı düzenlemeler hayata geçirilmiştir. Tazminat tahsil etme ve ödeme şekillerinde yeniliğe gidilmiştir (Güler, 2016).

Teavün yani yardımlaşma sandıkları günümüz sigorta anlayışının ilk adımları olmuştur. Çalışanın özlük haklarını ve dolayısıyla memnuniyetin getireceği sağlıklı çalışmanın ilk adımları olan sandıklar, pek çok meslekten kişileri bir araya getirerek birlikteliği oluşturmuştur. İş Sağlığı ve Güvenliği açısından kararlı duruşun bir adımı daha bu şekilde atılmıştır.

Cumhuriyet Dönemi ile yine madenlere yönelik İş Sağlığı ve Güvenliği önlemlerini alınmaya devam etmiştir. Çıkarılan madenler ülkenin gelişiminde ve ekonomik büyümesinde büyük rol sahibi olacağı için ayrı öneme sahip olmuştur. Tüm ülke büyük bir değişim ve oluşum içinde olduğundan, her sektör kendi içinde gelişmiş hatta yeni sektörlerin ortaya çıkması ile çalışanların daha insani yaşam istekleri her geçen gün artmıştır. Kural koymanın ve denetlemenin mutlak surette iyi işlemesi gerektiği yaşanan olumsuzluklar ile kendini göstermiş ve birçok iyileştirme çalışması hayata geçirilmiştir.

1926'da yürürlüğe giren Borçlar Kanunu ile işe bağlı uyuşmazlıklar, kazalar ve ölümlerin yanında meslek hastalıklarından doğan hak edişin, işveren ve çalışana düşen payını düzenleyici bir kanun olduğu görülmektedir (Akpınar, 2013).

1930'da Umumi Hıfzıssıhha ile Belediyeler Yasası yürürlüğe girmiştir. Bu yasalar ile memleketin sağlık şartlarının iyileştirilmesi esas alınmıştır (Güler, 2016).

İlk İş Kanunu 1936 yılında yürürlüğe girerek çalışma hayatının her dalına yeni düzenlemeler getirmiştir. İş sözleşmesi çeşitleri, fesih hakkı ve ücretlere ilişkin birçok düzenlemeye konu olmuştur.

1945'te Çalışma Bakanlığı'nın kurulmasından sonra sosyal çalışma düzeninin yeni şeklini almasının temelleri atılmıştır.

Sırası ile 1967 ve 1971 yıllarında yenilenen İş Kanunları yürürlüğe girmiştir.

Çalışma Örgütü'nün direktifleri doğrultusunda "İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Enstitüsü'' kurulmuştur (Güler, 2016).

Ardından yetkilendirilmiş ve donatılmış hastaneler ile meslek hastalıkları tanı ve teşhis kuruluşları hayata geçirilmiştir (Akpınar, 2013).

"İşyeri Sağlık Birimleri ve İşyeri Hekimlerinin Görevleri ile Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik" 2003 yılında işyerlerinin sağlık sorunlarını gidermek ve işyeri hekimlerinin görev dağılımlarını düzenlemek amaçlı uygulanmaya başlanmıştır.

Halen geçerli olan 4. İş Kanunumuz 2003 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu kanun ile her iş koluna ait düzenlemeler bulunmakta olup tüzükler ile ayrıntılanırmıştır.

ILO'nun yaptığı çalışmalar ve direktiflerden ülkemiz adına fayda sağlaması muhtemel olanlar sözleşme niteliğinde kabul edilmiştir (Taşdemir, 2019).

Türkiye'nin çalışma hayatını çeşitlendirmesi büyümeyi, büyüme ise yeni tehlike ve risklerin oluşmasını getirmiştir. Bu tehlikeler geçmişten günümüze dönemin şartlarına göre farklılık göstermiştir. Ülke olarak gerekli atılımlar ile sosyal güvenliğin arttırılması yapılan girişimlerin fayda analizinde ciddi gelişmelere yol açmıştır. Sigortalı çalışanlara yönelik yapılan yasal düzenlemeler ile sigortalı çalışma ve çalıştırma teşvik edilmiştir. Bu sayede her sigortalının olumsuz durumda ne gibi haklardan yararlanabileceği bilinmekte olup sürpriz sonuçların önüne geçilmiştir. Avrupa Birliği (AB) uyum kriterlerinden biri olan İş Sağlığı ve Güvenliği verileri Türkiye'nin üyelik çalışmalarını hızlandırmak adına ön ayak olmuş ve yeni düzenlemeleri beraberinde getirmiştir. Bu bağlamda ilk defa sadece İş Sağlığı ve Güvenliğine özel bir kanun (6331, İSGK) çıkarılmıştır. Bu kanun ile ülkemiz, çalışanına ve çalışma düzeninin süregelen sağlıklı işleyişine hiçbir sektörü atlamadan yeni bir soluk getirmiştir. Gelişmiş ülkelerin de benimsediği proaktif yaklaşımı benimseyen 6331 sayılı kanun ile çalışanlar çok daha kapsamlı ve görev dağılımını açıkça sunan önlem paketleri ile işlerini yürütmeye devam etmektedirler (Taşdemir, 2019).

3.1.7 İş Sağlığı ve Güvenliğinin Önemi

İş Sağlığı ve Güvenliği önlemlerinin, gerekli iyileştirme faaliyetleri uygulanarak alınması, çalışanların kaygı ve endişelerini ortadan kaldırmaktadır. Yeterli önlem alınmaması çalışanda her an bir olumsuz durumun ortaya çıkabileceği hissi yaratmak olup bu his ile çalışan iş gören psikolojik olarak sıkıntıya girmektedir. Bu sıkıntılar sonucu oluşan iş kazalarının varlığı bilinmektedir. Yaşanabilecek bir iş kazasının, çalışanda bıraktığı bedenen ve ruhen izi ortadan kaldırmak uzun zaman almaktadır. Aynı zamanda bu kaygı, ilerde yaşayabileceği kazaların ve maddi kaybın düşüncesi ile giderek artış göstererek iş verimini de olumsuz etkilemektedir.

İşyerinde meydana gelen ramak kala olay ya da iş kazası olumsuz bir durum olarak bilinmektedir. Bir iş kazasının yaşanması, çalışan açısından maddi ve manevi kayıplar getirmektedir. Yaşanan iş kazası aynı zamanda işveren açısından da kayıp yaratmaktadır. Yaşanılan olumsuz durumun büyüklüğüne göre iş akışı sekteye uğramakta ve günlük ortalama çalışma saati azalarak verim azalmaktadır. Böylece ürün, makine ve zaman açısından sorun yaşayan işveren sipariş tedarik kısmında da problemlerle karşı karşıya kalmaktadır. İş güvenliği işletmedeki ürün kalitesi ile ilgilenmemesine rağmen gereken önlemlerin yerinde alınması ve eksiksiz uygulanması dolaylı olarak ürünün kalitesini de etkilemektedir.

İşletmelerin ekonomik anlamda güçlü olma arzuları ve çalışanların az emek sarf ederek daha fazla kazanma hırsı, iş güvenliğinin çıkmaza girdiği noktalardan biri olmaktadır. Bu isteklerin çatışması, iş görenlerin işlerine olan adaptelerini etkilemektedir. İşletmelerin karlarını yükselterek piyasada daha güçlü bir yere gelme istekleri, çalışana verilen değerin düşmesine neden olabilmektedir. Bu durum ise maalesef işi iyi bilen nitelikli elemanların verimlerini etkilemekte dolayısıyla iş kazalarını ortaya çıkarmaktadır. Çırak seviyesinden usta seviyesine kadar her kademede çalışanın işyerinden beklentisi kuşkusuz, daha güvenilir ve risklerle mücadele eden bir anlayışın hâkim olduğu bir işyerinde çalışmak olmaktadır. Bu beklentileri karşılayan işyerleri, iş güvenliğine yaptığı yatırımın çok daha fazlasını zaman içerisinde bütçesine kazandırmaktadır (Karakaya ve Sancı, 2017).

İş görenlerin beden ve ruh bütünlüğünün her türlü olumsuz şartlar altında iyileştirmeler sonucu korunması olan İş Sağlığı ve Güvenliği, tüm dünyada ülkelerin

güvenlik kültürü seviyesine göre farklılık göstermektedir. Fabrikalaşmanın artması sonucu eski dönemlerde yaşanan olumsuzluklar yeni döneme göre değişiklik göstermiş olup, yeni risklere karşı alınan önlemler çok daha geniş kitleleri etkilemektedir. Güvensiz çalışma ortamlarının çalışanda ortaya çıkardığı olumsuz iş verimi, işvereni maddi açıdan sıkıntıya sürüklemektedir. Bunun bir çıkmaz olduğu düşünülse de aslında insan odaklı alınan önlemler sonucunda işverenlerin ve iş görenlerin mutlu bir çalışma hayatına ulaştığı görülmektedir. Önceliğin maddiyattan çok insan hayatına verilmesi iki tarafın da beklentilerine ulaşmasına atılan en büyük adım olmaktadır (Erginbaş, 2010).

İnsanların hayatlarına devam edebilmeleri ve ekonomik özgürlüklerine ulaşabilmeleri için çalışmaları gerekmektedir. Bu gereklilik kuşkusuz kesintisiz ve güvenli bir çalışma ortamında olmalıdır. Bedenen ya da ruhen sorunlarla başa çıkmaya çalışan insanlar iş hayatlarında olumsuz davranışları sergilemektedirler. Aile yaşantısından sosyal yaşantılarına kadar her düzeyi etkileyen çalışma hayatı, yaşanan iş kazası ile tamamen ya da kısmen önceki yaşam standardını aratır hale getirebilmektedir. Söz konusu durumlar ise hem bireyselde hem de ülke ekonomisinde azımsanmayacak bir maddi boşluğun yaşanmasına neden olmaktadır. Gayri safi milli hasılaya etki edebilen iş kazalarının azalması tüm vatandaşların refah içinde yaşamalarına katkı sağlamaktadır (Pamuk, 2019).

İşyerlerinde içeriden ve dışarıdan kaynaklı yaşanabilecek olumsuz durumlar işverene maddi olarak bazı ödeme yapma mecburiyeti getirebilmektedir. Yaşanabilecek her türlü istenmeyen olay, üretimi aksatarak ilave ekonomik sıkıntıları beraberinde getirmektedir. Ayrıca istenmeyen olayların ortaya çıkması bazı tazminat giderleri olarak da işvereni sıkıntıya sürüklemektedir. Çalışanların karşılaştığı iş kazaları ve meslek hastalıkları işverene maddi ve manevi tazminat ödeme mecburiyeti getirdiği gibi üretimin aksaması ile artan maliyet artışını karşılamakta sorunlar oluşmaktadır. Bu sorunların temelinde ise işin daha güvenli akmasını sağlayacak gerekli önlemlerin tam manada alınmaması ya da yeterince uygulamaya geçilmemesi gelmektedir.

Çalışma hayatının her alanında ve kademesinde var olan ve her sektöre özgü saha denetimleri ile iş kazası ve meslek hastalıklarının önüne geçmeyi hedefleyen iş güvenliği kavramı, gereken önlemlerin sözde kalmayıp uygulandığı her iş kolunda

olumlu sonuçlar doğurmaktadır. İş kazalarının ve meslek hastalıklarının önüne geçip yaşanmamasını sağlamak, işyerlerinde güvenli ve güvenilir bir çalışma ortamı yaratmaktadır. Bu olumlu durumla beraber işverenin önlemler için harcadığı miktar, maddi yük olarak görünmekten çıkıp temel bir ihtiyaç olduğu benimsenmektedir. İş güvenliği için alınmayan her önlemin maddi geri dönüşü yaklaşık 4 kat olarak işverene yansımaktadır (Pamuk, 2019).

3.1.8 İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Unsurları

İşyerleri, sürdürülen işin niteliğine göre 3 tehlike sınıfına ayrılmış bulunmaktadır. Tehlikeli, az ve çok tehlikeli olarak adlandırılan üç grup farklı önlemleri beraberinde getirmektedir. Herhangi bir mal üretimi yapmayıp çalışanlarına daha az zarar gelme ihtimali olan yerler az tehlikeli işyeri olarak anılmaktadır. İmalata hizmet veren, tehlikeli sınıfa göre daha ayrıntılı önlem gereken işyerleri ise, tehlikeli sınıfta yer almaktadır. Çok tehlikeli işyerleri ise hem üretim ve imalata katkı sağlayan hem de büyük endüstriyel işyerlerini kapsamaktadır. Tehlike sınıflarına göre işyerlerine hizmet eden iş güvenliği uzmanlarının sınıfları farklılık göstermektedir. A, B ve C sınıfı iş güvenliği uzmanları esas olarak sırasıyla çok tehlikeli işyerinden başlayıp az tehlikeliye doğru eşleşmektedir. Yasal düzenlemeler ile üst sınıf uzmanlar alt sınıflara bakabildiği gibi alt sınıf uzmanlar da kendi gruplarından hariç bir üst sınıfta bulunan tehlike sınıfındaki işyerine bakabilmektedir.

Tüm tehlike sınıflarında sistem, tehlikelerin kaynağında yok edilmesi ve kazaların önlenip, meslek hastalıklarının oluşmaması üzerine kurulmuştur. Sistemin eksizsiz ve aralıksız devam edebilmesi için iş güvenliği profesyonellerinin yapması gereken bazı çalışmalar bulunmaktadır. Genel anlamda saha denetimleri yapılarak oluşturulmuş, risk değerlendirmesi ve risk analizi olarak adlandırılan bu çalışmalar tüm tehlike sınıfları için oluşturulması gereken bir mecburiyettir. Sürdürülebilir güvenlik anlayışı ile bir kültür oluşturulması için mutlaka saha denetimlerinin eksiksiz ve titizlikle yapılması gerekmektedir.

Kurumsal işyerleri, çalışanına verdiği önemi maddiyatın önünde tutmayarak gerekli önlemleri almış olmanın karlılığını yaşamakta iken kurumsallıktan uzak olan

işyerleri ise iş güvenliği önlemlerini fazladan ve gereksiz bir maliyet olarak görmektedir. Bu bakış açısı ile iş görenlerinden özverili çalışma bekleyen işverenler, maalesef iş kazalarından ve meslek hastalıklarından kaçamamaktadırlar. Gelişen dünya ile artık iş hayatı da önüne geçilemez şekilde hız kazanmış olup bu durum iş güvenliği profesyonellerini zora sokmaktadır. Üretimin daha hızlı ve aksamadan olmasını arzulayan işverenler için iş güvenliği tedbirlerini geri planlara atanlar risk unsurlarının daha büyüyerek geri döndüğünü yaşayarak görmenin memnuniyetsizliğini her zaman yaşamaktadırlar.

Fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve kişisel risk unsurları olarak bazı risk etmenleri bulunmaktadır. Risk etmenleri her işyerinde aynı olmamaktadır. İşyerinin yaptığı işe ve kullandığı hammaddelere göre değişiklik göstermektedir. Aynı zamanda işyerinin fiziki yapısı da risk unsurları için önemli bir bileşen olmaktadır. Risk unsurlarının bilinmesi, uygulanacak önlem paketi için önem arz etmektedir.

Fiziksel etmenler, gürültü, aydınlatma, titreşim, termal konfor, basınç, radyasyon ve toz gibi çalışanların sağlığını etkileme durumu olan unsurları içermektedir. İşyeri, sadece işin yürütüldüğü binayı kapsamamaktadır. Bina ve eklentileri olarak ele alınmaktadır. Bu yüzden tüm risk etmenleri gibi fiziksel etmenler de iş ile bağlantılı tüm yerleri kapsamaktadır. Buna, işyerine ait araçlar da girmektedir. Tüm bahsedilen alanlar iş kazaları ve meslek hastalıkları açısından değerlendirilmektedir. Yetersiz görülen alana riskin seviyesine göre müdahale edilerek uygun hale getirilmesi sağlanmaktadır (Altuntaş, 2019).

İnsan vücudunun ölçüleri ile ilgilenen antropometri ve bu bilgiler ışığında, insanın makine ve çevre ile uyumlu çalışma hayatını sürdürmesi açısından iyileştirmelerin yapılması, ergonomik çalışmalar olarak ifade edilmektedir. Ergonomik çalışmalar, iş güvenliği profesyonelleri için yardımcı bilgiler içermektedir. Profesyoneller, bu bilgiler eşliğinde fiziksel risklerle nasıl başa çıkabileceklerini bulabilmektedirler. Risk unsurlarından aydınlatma, termal konfor, radyasyon gibi etmenleri içermesinin yanında en önemli bileşeni meslek hastalıkları yaratma durumu olmaktadır. Uygunsuz yerleştirilmiş işyeri bileşenleri ergonomik sorunları beraberinde getirmekte ve bu sorunlar katlanarak büyüdüğünde bazı

bedenen sıkıntıları yaratarak meslek hastalığı olarak çalışanların karşısına çıkmaktadır.

Gürültüden kaynaklı istenmeyen ses, yetersiz aydınlatma verileri ve uygulamadaki hatalar, hava akım hızı ve nem oranlarının uygun düzenlenememesi işyerlerinde en sık karşılaşılan fiziksel etmenler olmaktadır. Hava akım hızının ve oranlarının uygun ayarlanamaması, çalışanlarda verim düşüklüğü yaratmaktadır. Aynı zamanda yetersiz oksijenden kaynaklı akciğer rahatsızlıkları görülme olasılığı da artmaktadır. Bir diğer sorun ise yetersiz havalandırma ile termal konfor şartlarının sağlanamamasından kaynaklı aşırı terleme ya da üşüme ile gelen dikkat sorunu olmaktadır. Gürültünün, stres ve depresif hareketlere sürüklediği bilinmektedir. Bunun sonucunda ise çalışanlar yeterli dikkati işlerine veremeyerek iş kazaları ile karşılaşmaktadırlar. Yaptığı işin boyutlarına göre ayarlanmamış, uygun olmayan aydınlatma sonucunda iş gören, yaptığı işin ayrıntılarını görememek durumu ile karşılaşmaktadır. Bu durumda da iş kazaları ve görme bozuklukları ortaya çıkmaktadır. Bu gibi durumlarla karşı karşıya kalmamak adına işyerleri uygun fiziksel donatıma sahip olup, işverenler tarafından yeterli önlemler alınarak ya da aldırılarak işin yürütülmesini sağlamaları gerekmektedir (Yılmaz, 2009).

Bir işyerinin projeden aşamasından kuruluma, kurulumdan işletmeye ve bakım sürecine kadar hatta eğer işletmenin belli bir zaman sonra sökümü gerekiyorsa söküme kadar her evresinde tüm risk etmenleri ayrıntılı olarak planlanarak ele alınmak durumundadır. Tüm riskler kabul edilebilir seviyeye getiriline kadar uygun önlemler ile işlenmek suretiyle bertaraf edilmek durumundadır. Çalışma ortamı gözetimi ve olumsuz durumların tespiti sürecinde fiziksel etmenlerin yanında ergonomik ve diğer etmenler göz önüne alınmaktadır. Olumsuz durumların tespiti durumunda, yasal yükümlülükler çerçevesinde önlemler alınarak işyeri sistematik bir düzene getirilmektedir. Uygun önlemler alınarak düzenli hale getirilen işyerleri, düzensiz ve kuralsız ilerleyen işyerlerine göre hem kazasız hem de daha verimli iş görmektedirler (Altuntaş, 2019).

Mikroorganizmalar ve insan parazitleri, bakteriler, mantarlar, protozoonlar ve virüsler, biyolojik risk etmenleri olarak iş sağlığı ve güvenliği açısından tehdit oluşturacak gruplar olarak bilinmektedir. Bazı sektörlerde biyolojik etkenler doğrudan kullanılabildiği gibi bazı işyerlerinde ise çalışma koşulları bu durumu

yaratmaktadır. Enfeksiyon risk düzeyleri biyolojik risklerin etkilerini değiştirmektedir. Bu yüzden grup 1, 2, 3, 4 olarak farklı kümelere ayrılarak zarar verme derece ve etkileri ayrıştırılmaktadır. Zarar verme derecelerine göre ayrıştırılan gruplar, kişilere ve çevreye verdiği zararın yanında kalıcılık durumuna göre de ayrışmaktadır. İşyerlerinde, çalışanlar için koruyucu teçhizatlar bu faktörler gözetilerek kullanılmaktadır. Kişisel koruyucu donanım olarak adlandırılan bu teçhizatların bazıları biyolojik riskler için kullanılmaktadır. Genellikle virüsler veya tozlar için kullanılan maskeler de bahsedilen koruyucu donanımlardandır. Meslek hastalıkları olarak da çalışanların karşısına zamanla etkilerin birikmesi sonucu çıkabilen biyolojik risklerden korunmak iş güvenliği önlemleri açısından her zaman önemli olmaktadır (Altuntaş, 2019).

Çalışanlarda akut ya da kronik hasarlar bırakabilme ihtimali olan biyolojik etmenler, genellikle gözle görülemeyen maddeler olup ancak küçük bir kısmı gözle algılanabilmektedir. Bu yüzden bu risk etmenlerine karşı alınacak önlemlerle direkt meslek hastalıkları ile savaşılmış olunmaktadır. Ayrıca bu mücadeleden galip çıkan işyerleri, elemanlarının sağlıklarını korumuş olup, çalışanlarını ve toplam çalışma saati verimini yitirmemiş olmaktadırlar (Yılmaz, 2009).

Gelişen dünya ile çalışma hayatının her kademesindeki insanların beklentileri farklılık göstermeye başlamıştır. İşverenin daha fazla çalıştırma, verimin artması ve az ücret ödeme düşüncesine karşılık çalışanların daha az iş görerek daha fazla kazanma arzusu dezavantaj durumları beraberinde getirmektedir. Bahsi geçen durum, teknolojinin ilerlemesi ile makineleşmeyi beraberinde getirmiştir. Bu ise, iş görene olan düşkünlüğü azaltmış ve makinelerin çoğalmasına sebep olmuştur. Bu olumsuz durum, çalışanların iş kaybı ile sonuçlanmaktadır. İşini kaybetmeyenler ise bu olumsuz düşünce ile çalışarak stres altında sorunlar yaşamaktadırlar. İşyerinde çalışana uygulanan psikolojik baskı ile stres birleştiği zaman maalesef iş kazaları daha fazla yaşanmaktadır. Bahsedilen durumlar yüzünden sadece fiziksel ve kimyasal etmenler gibi durumları gözetmek yeterli olmamaktadır. Tüm risk yaratan durumlar titizlikle ele alınarak iş kazası ve meslek hastalıkları ile mücadele edilmesi gerekmektedir (Kocabaş, 2011).

Yaptıkları işe bağlı olarak ya da özel hayatları yüzünden stres altında olan çalışanlar, zihinlerini tam olarak yaptıkları işe veremeyip, odaklanamadıkları için bu

kişilerin iş kazası geçirme olasılıkları daha yüksek olmaktadır. İşe bağlı olan stresi yoğun iş temposu, tek düze çalışmak ve ücret yetersizliği gibi durumlara bağlayabilmekteyiz. Özel hayatlarında olan stres kaynakları ise çok değişkenlik gösterebilmektedir. Her ne şekilde olursa olsun kendilerini işine adapte edemeyen çalışanlar, muhakkak sorunlarla karşılaşabilmektedir. Bunun yanında işini sevmeden yapmak durumunda olan kişilerde de mesai saatlerinin başlangıç zamanlarında veya bitiş zamanlarına yakın saatlerde iş kazası geçirme olasılıkları artmaktadır. Ayrıca işini sevmeyerek ya da stres altında yapan kişilerde, zaman içerisinde stresle başa çıkmanın yollarını aramaya bağlı olarak, maalesef uyarıcı madde kullanımının olduğu görülmektedir. Bu durum çalışanlarda dikkat eksikliğine sebep olduğundan aslında stresle başa çıkma değil kazaya bir adım daha yaklaşma olmaktadır ve kaza geçirme durumu daha fazla gerçekleşmektedir (Eroğlu, 2021).

Kişisel sorunların temelinde çalışanların herhangi bir sebepten dolayı memnuniyetsizlik duyması ve bu durumun artarak ilerlemesi vardır. İşverenlerin baskısı ile tek düze çalışma durumunda kalanlar, vardiya değişikliğinin yapılmaması ya da düzeninin olmaması gibi çeşitli etkenlerden ötürü, çalışanlarda kendi kendilerine başa çıkamayacakları ve muhakkak bir profesyonelden destek almaları gereken psikolojik sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu durumun bilincinde olsalar bile ekonomik anlamda rahat olamayan çalışanlar maalesef profesyonel psikolojik destek alma durumunu ya ertelemeyi ya da hiç başvuramamayı seçmektedirler. İş güvenliği önlemleri kapsamında İSG profesyonellerinin çalışanların psikolojik sorunları ile ilgilenmesi bahsi geçen durumların yok olmasını sağlayarak, çalışanların daha mutlu ve verimli iş görmelerini sağlamaktadır.

3.1.9 İş Sağlığı ve Güvenliği Perspektifinde Uluslararası ve Ulusal Kuruluşlar ve Yasal Düzenlemeler

İşyerlerinde alınan iş güvenliği önlemleri son zamanlarda sanayinin büyümesi, çalışanların daha insani şartlarda çalışmak istemesi ve hukuk sisteminin daha hızlı ve güvenilir işlemesi gibi sebeplerden ötürü önemini daha da arttırmış ve alınana önlemler ve çeşitleri hızla gelişim göstermiştir. Hızla gerçekleşen önlemler silsilesinde sağlam temellerin atılması çok önemli olup bu hedefte daha sağlıklı

ilerlemek için ulusal ve uluslararası platformda çeşitli düzenlemelere gidilmiş ve halen gidilmektedir (Karabulut, 2012).

Gereken düzenlemelerin belli bir standartlarda olması, çalışanların yaşayabileceği olumsuz durumlar sonucunda ne ile karşılaşabileceklerini bilmeleri için de önemli olmaktadır. Maddi ve manevi hangi tazminatlara hakkı olduğunu öğrenmesi devletine ve sosyal sigorta kurumuna olan güveninin artmasına ve kendini güvende hissetmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede hem daha güvende çalışıp stres faktörlerini azaltmış olmakta hem de küreselleşen dünyada kendini diğer ülke çalışanları ile karşılaştırdığında ümitsizliğe kapılmamaktadır. Bu sebeplerden ötürü bazı ufak değişiklikler olsa bile yine de merkezinde çalışanın olduğu önlem paketleri ile her zaman daha güvenli çalışma alanları yaratılabilmektedir.

Ortak hedefler doğrultusunda ulusal ve uluslararası iş güvenliği paydaşları farklı kurumlarda işlevini sürdürmektedir. İş Sağlığı ve Güvenliği ile ilgili düzenlemelerden Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB) sorumlu olmaktadır. Ülke genelinde, bakanlıklar, genel müdürlük, eğitim araştırma merkezi gibi kurumsal destekleyiciler varken, küresel paydaşlar ise Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa'daki bazı merkezler olarak sayılabilmektedir. Uluslararası yapılan anlaşmalar ve kabuller ile küresel çapta ilerlemenin önü açılırken, ulusal anlamda yapılan çalışmalarla spesifik düzenlemelere imza atılmaktadır.

ILO, uluslararası platformda, çalışanlar ve işyerleri için temel düzen kurmak adına tavsiye ve sözleşmeler ile iş görenlere sosyal bir adalet oluşturmak maksatlı çalışmalar yapmaktadır. Kuruluş yıllarında, savaşlardan sonra bozulan iş düzenini daha güzel ve adil bir iş hayatına çevirmek adına yola çıkan kurum, kuruluşundan beri temel hak ve özgürlükler adına İş Sağlığı ve Güvenliğine faydalar sağlamaktadır. Gönüllü ülkelere iş düzeni ile ilgili fayda ve yardımda bulunmaktadır. İş kazaları ve meslek hastalıkları ile ilgili ülkeler bazında ve küresel çapta kayıtları tutarak, istatistikler yayınlamakta ve sonuçlara göre spesifik bazı çalışmalarla ülkelere tavsiyelerde bulunmaktadır. Sendikalaşma, toplu sözleşmeler, işte geçen süreler, mobing, eşit çalışma hakları ve tüm temek hakların yasalarla güçlenmesi vb. konularda ülkelerle çalışmalar yapmaktadır (Çelik, 2018).

Türkiye, ILO ile ortak faaliyetler yürütmektedir. Üyesi olduğumuz kuruluş ile imzaladığımız 59 sözleşmeden şu an 55 sözleşme yürürlükte olmaktadır. Tavsiye ve sözleşmeler ile çalışma hayatımızın nizama girmesinde ülkemizin yürürlüğe koyduğu düzenlemeler ile de entegre edilmesi sonucu, iş kazaları ve meslek hastalıkları ile daha sistematik bir platformda mücadele edilmektedir (Erdut, 2002).

Sağlık konusunda çalışmalar yapan WHO, dünya çapında tüm insanlara yönelik iyileştirici düzenlemeler için uğraşmaktadır. Türkiye'nin de üyesi olduğu kuruluş, sağlık sorunlarına yönelik önlemler ve gelişen sağlık sorunlarına çözüm arayışında olmakta, günümüzde de her türlü hastalık ve salgın ile mücadele etmektedir. Ülkelerin sağlık sistemlerinin standartlar dahilinde daha iyiye gitmesi için yardımlarda bulunmaktadır. Maddi yardımları ve düzenlemelerde karşılaşılabilecek sorunları çözme amaçlı çalışmalar yapmaktadır. İnsanların, hastalıklarına karşı mücadele edebilmeleri için en üst düzeyde sağlık sistemi kurulması maksatlı ülkeler ile gerekli çalışmaları yaparak hem iş ile alakalı hem de özel hayatlarında yaşayabilecekleri olumsuz sağlık durumlarının önüne geçmeyi hedeflemektedirler (Sarıgül, 2019).

Ülkemiz, iş sağlığı ve güvenliğinin daha iyi yerlere gelmesi ve çalışanların sağlıklarının korunması maksatlı kurulan üyesi olduğu her kuruluşla istişarelerde bulunmaktadır. Bu istişareler ve çalışma hayatının daha iyiye taşınması maksatlı yürürlüğe konulan yasalar ile her zaman çalışanın temel hak ve görevlerini tam anlamıyla benimsediğini göstermektedir. Çalışanların özlük hakları, iş kazaları ile mücadele ve meslek hastalıklarının tamamen önüne geçilmesi, iş görenlerin iş ile ilgili ihtiyaçlarının giderilmesi, istihdamın planlı yapılabilmesi, düzen içinde çalışmanın gerçekleşebilmesi için iş güvenliği önlemlerinin alınması ve denetlenmesi vb. maksatlı çalışmaların yapıldığı ülkemizde bu çalışmaların sorumluluğunu alan bakanlık ÇSGB'dir. Çalışma hayatında üçlü yapının elemanları olan işgören-işveren ve devlet arasındaki dengeyi ve ilişkiyi kuran yasalarımızın temel mekanizması ÇSGB çalışanlarının emekleri ile şekillenmektedir (Eroğlu, 2021).

Bakanlığın, iş güvenliğine yönelik aldığı her karar işverenleri ve çalışanları ilgilendirmekte olup bağlayıcı özelliktedir. İş hayatının daha sorunsuz ilerleyişi için alınan kararlar uygulanmakta ve müfettişler vasıtası ile denetlenmektedir. Bu sayede bakanlığa bağlı bulunan Genel Müdürlük ve Sosyal Güvenlik Kurumu gibi devlet

kurumları mekanizmanın işleyişi ile ilgili çalışmalarını dönütlerle şekillendirip güncelleyebilmektedirler.

Kısa adı ÇASGEM olarak bilinen "Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi'', bilimsel ve teknolojik gelişmeler ile tüm iş görenlere yönelik eğitim, danışmanlık ve araştırma hizmetlerini sürdüren bir kurum olarak ülkemize iş güvenliği alanında önemli katkılar sağlamaktadır. 2003 yılında şu an ki adını alan kurum, ILO ile ortak çalışmalar sonucu kurulan ilk çalışma enstitüsü olma unvanını taşımaktadır. Güvenli çalışma ortamı sağlamanın yollarını araştıran merkez, iş kazaları ve meslek hastalıklarını en az seviyeye indirmek için hukuksal çalışmalara hız vermekte ve bu konularla ilgili seminerler ve eğitimler düzenlemektedir (Çasgem, 2021).

Şu an ki adı "Rehberlik ve Teftiş Başkanlığı" olan ve iş güvenliği alanında çalışmalar yapan kurumun yine ILO ile olan çalışmalar neticesinde kurulduğu bilinmektedir. İşletmelerin idari, programlı ve program dışı her türlü denetim faaliyetini üstlenen bu kurum önceleri "İş Teftiş Kurulu Başkanlığı'' adı altında çalışmaktaydı (Sarıgül, 2019).

İş Sağlığı ve Güvenliği kurallarının sigortalı çalışanlar için olduğu bilinmektedir. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK), sigortalı çalışanların tüm özlük haklarını koruyan, sosyal politikaları uygulayan, eşitlikçi bir yapı kurulmasını amaçlayan bir kurum olarak faaliyet göstermektedir. Sağlık, çalışma hayatındaki düzen ve emeklilik hakları gibi konular bu kurumun çalışma alanında olmakta ve dolayısıyla iş güvenliği ile direkt ilgili bir kurum özelliği taşımaktadır (Çelik, 2018).

İSG alanında yapılan düzenleme ve yenilikçi her atılım işyerleri tarafından hemen benimsenememektedir. İşverenler için ek maddi yük, çalışanlar içinse hareket kısıtlayıcı ya da yeterli gerekliliğe sahip olmamak gibi bahaneler ile iş güvenliği önlemleri kurumsallıktan uzak işletmelerde gereken değeri görememektedir. Yürürlükte olan yasalar, sözleşmeler ya da uluslararası platformlarda düzenlenmiş çalışmalar ile iş hayatına giren İSG düzenlemeleri devlet tarafından kontroller ile ancak gerektiği özene ulaşabilmektedir. Bu yüzden oluşumun her zaman kural koyucu ve denetleyici bir alt yapıda ilerlemesi mecburiyeti bulunmaktadır. Aksi takdirde yapılan her düzenleme maksatlı çalışma, tavsiye gibi görülmekte ve

uygulama kısmı zayıf olmaktadır. Yasal düzenlemelerin olması ve yasanın öngördüğü şekilde çalışmanın yapılıp yapılmadığı denetleme mekanizması tarafından sürekli gözden geçirildiğinde daha sağlıklı ve gelecek vaat eden bir iş güvenliği mümkün olmaktadır (Sarıgül, 2019).

Ülkemizde anayasal düzenlemeler ile başlayan İSG uygulamaları yerini iş güvenliği için çıkarılmış ve yürürlükte olan 6331 sayılı kanuna bırakmıştır. 1982 anayasasından dayanak alan günümüzdeki bazı uygulamalar, ilerleyen ve gelişen çalışma hayatına entegre edilme maksatlı değiştirilmiştir. 4. İş Kanunumuz olan 4857 sayılı kanun ile iş hayatına yönelik düzenlemeler sayesinde çalışanları daha fazla korumaya devam etmiştir. ‘‘5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu’’ sigortalıların sosyal haklarını geliştirmiş ve çalışana güvenli işyerleri oluşturmayı amaçlamıştır. Türk Ceza Kanunu ve Türk Borçlar Kanunu ile hukuksal çerçeve belirlenmiş ve çalışanın ve işverenin ödev ve hakları aydınlığa kavuşmuştur. Daha sonra günümüz çalışma şartlarına daha iyi uyum sağlamak ve AB Uyum Kriterleri kapsamında ilerleyiş gösterebilmek adına 6331 sayılı kanun yürürlüğe girmiştir. Kurumsallık yolunda kalite gibi güvenceleri vermenin yeterli olmadığını düşünen işletmelerin uygulamaya aldığı yönetim sistemleri için de düzenlemeler yapılarak ‘‘ISO 45001-İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi’’ geliştirilmiştir. Tüm bu düzenlemeler, ülkemiz çalışma hayatının ve çalışanımızın daha güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamında işlerini yürütebilmesi için geliştirilmiş, iş sağlığı ve güvenliği için rehber olmuştur. (Çelik, 2018).

Türkiye’de ilk defa konusu sadece İSG olan bir kanun 2012 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu yönüyle iş güvenliği için çok öneme sahip olan kanun köklü değişiklikler getirmiştir. 50 ve daha fazla çalışanı olan işletmelere yönelik olan bazı düzenlemeler bu kanun ile değiştirilmiş ve her işletmeye kademeli getirtilmiştir. İş güvenliği uzmanı ve işyeri hekiminin çalışma saatlerinde düzenlemeye gidilmiş, tehlike ve risklerle mücadele daha sistematik hale getirilmiştir. Proaktif yaklaşımın hâkim olduğu bir saha gözetimi ile uygulamaların hepsi, önlemlerin önceden alınmaya yönelik olmasına ve yaşananlardan değil bilgiden faydalanılması gerektiğine yönelik olmuştur (Şen, 2015).

Çalışanların, hayati bir tehlike ile karşı karşıya kalmaları durumunda çalışmaktan kaçınma hakları bu kanun ile düzenlenmiştir. İş güvenliği uzmanının

teknik destek sağladığı ve önerilerde bulunduğu, ramak kala olayın isg profesyonelleri için yol gösterici olduğu ve yaşanan her durumun tespit öneri defterine işlenmesi gerektiği yine bahsi geçen kanun ile düzenlenip yenilenmiştir. Sigorta Kurumuna yaşanan iş kazasının kazadan sonraki 3 iş günü içinde bildirilmesi gerektiği ve meslek hastalıklarının belirtilen sürelerde işlenmesi gibi hususlar yine bu kanun ile düzenlenmiştir (İSGK, 2012).

3.2 İş Kazası ve Meslek Hastalığı Kavramı

İş kazası, sebebi ne olursa olsun, herhangi bir kasıt söz konusu olmaksızın, istenmeyen ve beklenmeyen olumsuz durumlar silsilesi olarak tanımlanabilir. Bu silsileyi, doğa koşulları, kişisel durumlar, güvensiz durum ve davranış, kaza ve son olarak, farklılık göstermekle beraber, zarar olarak sıralayabilmekteyiz. WHO "önceden planlanmamış, çoğu zaman yaralanmalara, makina ve teçhizatın zarara uğramasına veya üretimin bir süre durmasına yol açan olay" olarak iş kazasını tanımlarken, ILO ise "belirli bir zarar veya yaralanmaya yol açan, önceden planlanmamış beklenmedik bir olay" olarak tanımlamayı uygun görmüştür.

İş kazası gerçekleştikten sonra zarar verme durumuna göre farklı şekillerde incelenmektedir. Kazanın oluşumundan sonra iş görene zarar gelmesi durumu hukuksal anlamda tartışmasız kaza olarak kabul edilmektedir. Fakat iş kazası olduktan sonra sadece işyerindeki cansız varlıklara zarar geldiyse, kazanın oluş ve hasar durumuna göre farklılık göstermek şartıyla, bu hukuk önünde iş kazası olarak kabul görememektedir. Bir olayın gerçekleşip herhangi bir çalışana, işyerine ya da ekipmana zarar verme durumu oluşmamışsa bu olay ''Ramak Kala Olay'' olarak adlandırılmaktadır. Kazanın varlığı ve zarar verme durumu iş kazasının sonuçlarını etkilemekte olup, çalışana zarar vermesi her türlü hukuksal güvence altında onu korumaktadır. İstenmeyen bir durum olması sebebiyle kazanın oluş biçimi ve kişinin aldığı iş güvenliği eğitimlerinin tam ve eksiksiz olması durumuna bakılarak, çalışanın ve işyerinin kusur durumu incelenmektedir.

İş kazaları zarar çeşitleri ölümle sonuçlanma ve iş göremezlik olarak belirlenmektedir. İş göremezlik ise kalıcı ve geçici olarak farklılık göstermektedir.

Tablo 3.1: 2015-2020 Yıllarında gerçekleşen iş kazalarında ölüm sayıları (SGK, 2020)

YILLAR	ÖLÜM SAYISI			İŞ GÖREMEZLİK SAYISI		
	ERKEK	KADIN	TOPLAM	ERKEK	KADIN	TOPLAM
2015	1219	33	1252	206922	34625	241547
2016	1369	36	1405	241115	44953	286068
2017	1604	29	1633	300770	58883	359653
2018	1495	46	1541	354308	76677	430985
2019	1126	21	1147	337108	85355	422463
2020	1206	34	1240	314897	69365	384362

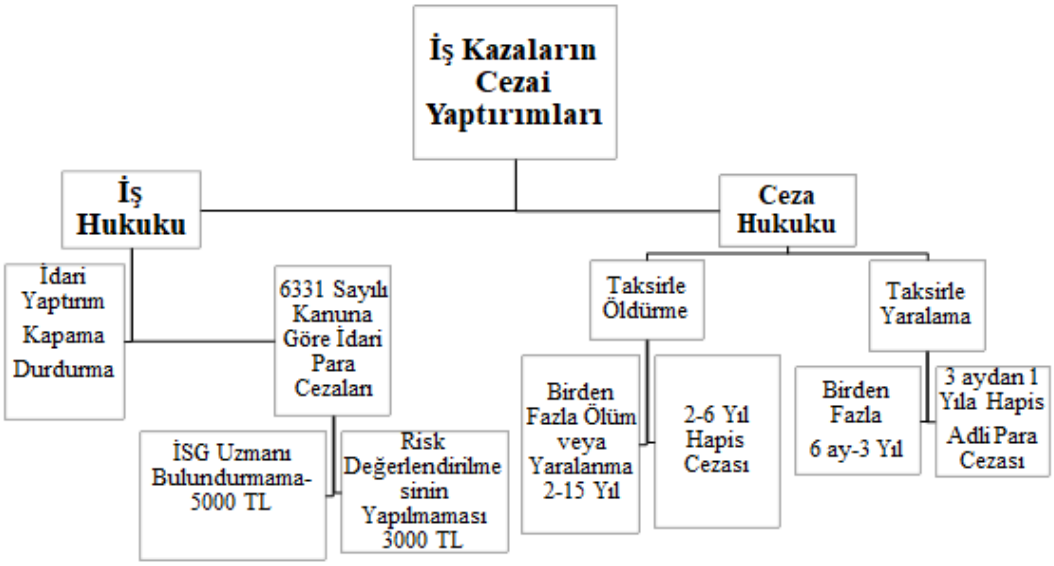
2019 yılında iş kazası sayısı bir önceki yıla göre % 2 azalış göstermiştir. İş kazaları sonucu ölüm ise % 6 oranında azalmıştır. 2020 yılında iş kazası sayısı 2019 yılına göre % 9 oranında azalmıştır. İş kazaları sonucu ölüm ise söz konusu yıllar arasında maalesef %8 oranında artış göstermiştir (Tablo 3.1). 2020 yılında iş kazası sayısında, meslek hastalığı sayısında ve iş kazası sonucu ölüm sayısında artış görülmektedir. 2020 yılı öncesine kadar SGK verilerinde meslek hastalığı sonucu ölüm tespiti bulunmamaktadır. Bu durum 2020 yılı istatistiğinde 5 sigortalının meslek hastalığı sonucu hayatını kaybetmesi ile değişiklik göstermektedir.

3.2.1 İş Kazası Sonrası Uygulanan Cezalar

Yaşanılan iş kazası sonrası yapılması gerekenleri üç aşamada açıklayabilmekteyiz. Ceza, idari ve hukuki aşamaları olan iş kazası oluş biçimi ve zarar verme durumları açısından bu aşamalar içinde değerlendirilmektedir. İş kazası gerçekleştikten sonra hemen olayı gören kişiler tarafından yeni bir kazaya yol açmamak için çevre güvenliği sağlanarak önlem alınmalıdır. İş yerindeki yetkililere ve gerekiyorsa sağlık kuruluşuna derhal haber verilmesi mecburi olmaktadır. İş kazasının çalışana verdiği zarar çok hafif olsa dahi yani iş gören, kazadan sonra çalışmaya devam etse bile yasal zorunluluk olarak kolluk kuvvetlerine haber verilmesi gerekmektedir. Bu uygulama yasal olarak böyle olmasına rağmen denetlenme ve para cezası alma çekintileri gibi durumlardan ötürü yasal

düzenlemeye bu konuda çok uyulmamaktadır. Daha sonra idari kısma geçildiğinde, kazanın sonuçlarına göre yani maddi hasarlı ya da çalışanın sağlığına zarar verici olma durumuna bakılmaksızın SGK'ya bildirim yapılması işyerleri için bir mecburiyettir. İş kazası bildirimi SGK'ya doğrudan başvurarak ya da e-Devlet sitesi üzerinden gerekli şifrelere sahip olunması koşulu ile de yapılabilmektedir. Hukuki aşama ise, kusur oranlarının dağılımına göre ve iş kazasının sonuçlarına göre çalışanın ya da hak sahiplerinin alacağı tazminatların incelendiği ve karara bağlandığı aşama olmaktadır.

Ülkemizde, iş kazalarının ardından uygulanan cezai yaptırımların durumu Şekil 3.1'deki gibi olmaktadır. Burada belirtilen para cezaları güncelleme sonucu değişiklik gösterebilmektedir (Özkan, 2021).



Şekil 3.1: Türkiye'de yaşanan iş kazaları sonrası cezai durumlar (Özkan, 2021)

Meslek hastalığı, ''Sigortalının çalıştığı veya yaptığı işin niteliğinden dolayı tekrarlanan bir sebeple veya işin yürütüm şartları yüzünden uğradığı geçici veya sürekli hastalık, bedensel veya ruhsal engellilik halleridir.'' (SGK). Meslek hastalıklarının kronik seyirli olma durumu geneli kapsamaktadır. Uzun süreli etkilenme söz konusu olmaktadır. Bu yüzden tespit edilen bazı mesleklerde çalışıyor olmanın yanı sıra, mesleksel etkiye göre belirlenen sürelerden daha uzun bir süre o iş

kolunda çalışıyor olmak da önem arz etmektedir. Meslek hastalıkları etken madde ve vücuda verdiği zararın çeşidine göre 5 grupta incelenmektedir. A, B, C, D ve E grubu olarak sınıflandırılan meslek hastalıkları sırasıyla, kimyasal maddelerle olan, mesleki cilt hastalıkları, pnömokonyozlar ve diğerleri, mesleki bulaşıcı hastalıklar ve son olarak fiziksel etkenlerle olan meslek hastalıkları olarak gruplandırılmaktadır (SGK). Meslek hastalıkları da iş kazaları gibi belirlendiği durumda işverenler tarafından durumun öğrenildiği günden başlayarak üç iş günü içinde bildirilmesi gerekmektedir. Ayrıca bu bildirim e-sigorta uygulaması ile de yapılabilmektedir.

Tablo 3.2'de 2015-2019 yılları arasında ülkemizde tespit edilen meslek hastalıkları sayıları sunulmakta olup, veriler azımsanmayacak kadar öneme sahiptir.

Meslek hastalığı sigortası, geçici iş göremezlik ödeneği, sürekli iş göremezlik geliri, ölüm geliri, evlenme ve cenaze ödeneği haklarından yararlanma durumunu sağlamaktadır

Tablo 3.2: 2015-2019 yılları arasında Türkiye'de resmi olarak tespit edilen meslek hastalıkları verileri (SGK, 2020)

MESLEK HASTALIKLARI			
YILLAR	**ERKEK ÇALIŞAN**	**KADIN ÇALIŞAN**	**TOPLAM**
2015	1979021	926566	2905587
2016	1841400	905200	2746600
2017	1886959	953313	2840272
2018	2174271	1227519	3401790
2019	2077946	1305965	3383911

İş kazaları ve meslek hastalıkları gibi olumsuz durumlar sonucunda hukuki ve cezai durumlar söz konusu olmaktadır. Bu durumların getirdiği ek maliyetler çalışanı ve özellikle işvereni etkilemektedir. Çalışanlar iş görme yetilerinin azalması ya da tamamen kaybolması gibi durumlar ile karşılaşabilmektedir. Dolayısıyla istenmeyen oluşumların gelişimi ile çalışanın mağduriyetini gidermek adına ona ödenen çeşitli tazminatlar gün yüzüne çıkmaktadır. Tazminatlar ve diğer ödemeler sonucu direkt ya da dolaylı bazı maliyetler oluşmaktadır. Direkt maliyetleri, tedavi öncesi ve sonrası masraflar, iş göremezlik veya ölüm tazminatları, maddi ve manevi tazminatlar ve

sigorta giderleri olarak sıralanabilmektedir. Dolaylı maliyetler ise, üretimin aksaması ya da durması sonucu oluşan tüm ek masraflar, tedarikçi ve müşteriye olan maddi sorumluluklar, çalışanlarda oluşan verim eksikliği vb. sebepler olarak sayılabilmektedir.

3.3 İş Güvenliği Uzmanı Kavramı ve Görevlendirilmesi

İşyerlerinde tehlike sınıfına göre uzman görevlendirme zorunluluğu yasal bir mecburiyet olup bu zorunluluk 6331 sayılı kanun ile yürürlükte bulunmaktadır (Süzek, 2013). İş güvenliği uzmanının işyerlerine İSG önlemleri almak için teknik destek verme amaçlı çalıştırılması gerektiği, ‘‘İş Güvenliği Uzmanlarının Görev, Yetki, Sorumluluk ve Eğitimleri Hakkında Yönetmelik’’ te belirtilmektedir (RG, Sayı: 28339, 2012)

İş güvenliği uzmanı olmak için üniversitelerin yasada belirtilen bölümlerinden mezun olmak ve daha sonrasında ÖSYM tarafından yapılan ‘‘İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü İş Yeri Hekimliği ve İş Güvenliği Uzmanlığı Sınavı’’ girerek başarılı olunması gerekmektedir. Elliden az çalışanı bulunan ve az tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde, işveren veya işveren vekili tarafından yürütülecek iş sağlığı ve güvenliği hizmetleri için farklı bir uygulama da bulunmaktadır. Buna göre herhangi bir diploma derecesi aranmaksızın ÇSGB’nin anlaşmaları uyarınca hazırlanan sınavdan başarılı olunması koşulu ile kendi işyerleri için bu hizmeti yapabilme durumu söz konusu olmaktadır.

İş güvenliği uzmanı görevlendirmek isteyen işveren, işyerinin tehlike sınıfına ve çalışan sayısına göre uzman görevlendirmek mecburiyetindedir. Tehlike sınıfı tespiti, işyerinin NACE kodu vasıtasıyla asıl işi dikkate alınarak yapılmaktadır (Demircioğlu, 2010). İşverenin kendisi, işyerinde ve gerekli belgelere sahip olan çalışanları ya da OSGB’lerden iş güvenliği uzmanlığı hizmetini yerine getirebilecek yeterli personel, söz konusu görevi yapabilmektedir. İşverenin, iş güvenliği uzmanlık görevini kendi dışında bir kişiyi görevlendirerek yerine getirmesi durumunda tüm sahip olduğu sorumluluk hiçbir değişikliğe uğramadan devam etmektedir (RG, Sayı: 28339, 2012).

İş güvenliği uzmanları, rehberlik, risk değerlendirmesi çalışmaları, saha gözetimi, iş güvenliği eğitimleri, bilgilendirme ve dökümantasyon, ilişkili birim ve kurumlarla iş birliği vb. hizmetleri yerine getirme yükümlülüğünü taşımaktadır. Her ne kadar işverene iş güvenliği hakkında teknik destek veren bir uzman gibi görünse de iş güvenliği uzmanının bahsi geçen konulardan ötürü hukuki sorumlulukları bulunmaktadır. Sahada gördüğü tüm olumsuzlukları tespit öneri defterine yazmak ve yazdığı her maddeyi uygulatmak veya daha güvenilir olan hale getirmek için girişimlerde bulunup, çalışmalarının yazıda kalmaması için tüm gerekeni yapma ve yaptırma baskısı ve mecburiyeti içinde olmaktadırlar. İşyerindeki çalışmalarını, tüm personeli dahil ederek iş birliği içinde yapması iş güvenliği kültürünün oluşması bakımından önem arz etmektedir (RG, Sayı: 28339, 2012).

Bir işyerinde iş güvenliği uzmanı olarak çalışan kişi, görevi gereği işyerinin tüm bölümlerini ve oradaki çalışan tüm personeli çok iyi tanımalı ve analiz etmelidir. İşyerinde oluşabilecek tehlikelerden kaynaklanan riskleri, işyerinin iş güvenliği politikasına uygun bir şekilde kabul edilebilir seviyeye getirmekle yükümlüdür. İşyerinde meydana gelen çalışanları hayati olarak etkileyebilecek her durumu rapor etmek ve işverene bildirmek zorundadır. Hayati tehlikenin devam etmesi ve müdahale edilmesi için işverence bir atılım yapılmaması durumunda işyerini Çalışma Bakanlığı'na şikâyet etmek zorundadır (RG, Sayı: 28339, 2012).

İşyerinin tüm departmanlarına düzen getirmek için girebilen iş güvenliği uzmanı, işyerinin sırlarını da öğrenebilmektedir. Öğrendiği sırları üçüncü kişilerle, iş etiği gereği, paylaşmaması gerekmektedir. Paylaşması durumunda ise cezai işlem uygulanmaktadır. İş güvenliği uzmanları, işlerini gereği kadar yerine getirmez ise ya da işini engellemeler sonucu istediği yere taşıyamazsa bile işverene karşı yine de sorumlu tutulmaktadır. Bu açıdan mesleklerinde sorun yaşayan uzmanların çıkış noktası, Bakanlığa yapabilecekleri işyeri şikâyeti olmaktadır. Diğer taraftan iş güvenliği uzmanının ihmali yüzünden işyerinde meydana gelen olumsuz durumun işverene yarattığı istenmeyen gelişim, iş güvenliği uzmanının adli ve idari ceza alması ile sonuçlanabilmektedir (RG, Sayı: 28339, 2012).

3.4 Tehlike ve Tehlikelerden Kaynaklanan Risk Kavramı

Tehlike ve risk kavramlarının anlamsal farklılığı olmasına rağmen işyerlerinde ve günlük hayatta bu iki kavramın karıştırıldığı görülmektedir. Tehlike ve risk kavramları 2012 tarih ve 28512 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan ‘‘İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yönetmeliği’’ tarafından açıklanmaktadır. Tehlike ‘‘İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyeli’’ olarak tanımlanırken, risk ise ‘‘Tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimali’’ olarak tanımlanmaktadır.

Tehlike ve risk kavramlarının farkının daha iyi anlaşılması için Tablo 3.3’te örneklerle ifade edilmiştir.

Tablo 3.3: Tehlike ve risk kavramlarının örneklendirilmesi

TEHLİKE	RİSK
Araba	Kaza
Yol	Ezilme
İstanbul	Deprem
Buzdolabı	Elektrik çarpması
Köpek	Kuduz
Sigara	Kanser

‘‘İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yönetmeliği’’ tarafından risk değerlendirmesinin tanımı da yapılmaktadır. ‘‘İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalar’’ olarak ifade edilen risk değerlendirmesinin üç ana başlıkta toplandığı ve birçok türünün olduğu bilinmektedir (RG, Sayı: 28339, 2012). Bahsi geçen türler, işyerinin çalıştığı sektöre, çalışma ortamındaki risklerin türlerine, bu risklerin birbiri ile olan etkileşimlerine ve çalışanlara olan uzaklıkları gibi etkenlere göre çeşitlenmekte ve uygulanacak olan risk değerlendirmesi bu faktörlere göre seçilmektedir.

Risk değerlendirme yöntemleri üç ana başlıkta toplanmaktadır. Kantitatif(nicel), kalitatif(nitel) ve karma yöntem olarak ayrılan risk değerlendirmeleri sayıları 150'yi bulan türde farklı uygulama skalasına sahiptir (Aycan, 2018).

Nitel risk değerlendirme yöntemleri sayısal verilerden destek almaktadır. Nitel risk değerlendirmelerinde ise tehlikelerden kaynaklanan risklere öncelik sıralaması yapmak adına tanımlayıcı olması için orta, yüksek, çok yüksek gibi değerler kullanılmaktadır.

Nitel risk değerlendirme metotlarından temel olarak en fazla bilinenleri ve uygulananları, Ön Tehlike Analizi Metodu (PHA), Kontrol listeleri (Çeklist) Kullanılarak Birincil Risk Analizi (PRA), Olursa Ne Olur Analizi (What if…?), İş Güvenlik Analizi (Job Safety Analysis), Tehlike ve İşletilebilme Çalışması Analizi (HAZOP) olarak sayılabilmektedir.

Nicel olan risk değerlendirme metotlarından yaygın olanları ise, Olası Hata Türleri ve Etki Analizi (FMEA), Fine-Kinney risk değerlendirme yöntemi, John-Ridley risk değerlendirme yöntemi, Risk Değerlendirme Karar Matrisi (RADM) olarak sıralanabilmektedir.

Risk değerlendirme karar matrisinin üç çeşidi bulunmaktadır. 3x3 Tipi Matris Metodu, L-Tipi Matris Metodu ve X-Tipi Matris Metodu karar matrisinin çeşitleri olmaktadır.

Karma olarak nitelendirilen yöntemler ise, ETA (Olay Ağacı Analizi Yöntemi), FTA (Hata Ağacı Analizi Yöntemi), Neden-Sonuç Analizi (Sebep-Sonuç Analizi) olarak literatürde yerini almaktadır (Aycan, 2018).

Risk değerlendirmesi yapmak, yasal bir mecburiyet olmasının yanında, işyerindeki tehlike ve riskler için alınacak önlemlerin zaman, şekil, aciliyet ve maddiyat durumlarının belirlenmesi açısından yapılan düzenli ve sistematik çalışma olmasının önemini taşımaktadır. Risklerin belirlenip özenle işlenerek, çalışanlar için güvenilir bir işyeri oluşturması bazı aşamaların standart olarak uygulanması ile mümkün olmaktadır. Önce tehlikelerin hepsi tanımlanmalıdır. Daha sonra tehlikelerin doğuracağı riskler değerlendirilip derecelendirilmelidir.

Derecelendirilmiş riskler için kontrol tedbirlerinin belirlenmesi ve uygulanan metotların sürekli izlenip gözden geçirilerek tekrarının sağlanması gerekmektedir. Uygulamaların yapılması için sektörel farklılıklar ve içerikler önem arz etmektedir. Güneş enerjisi alanında daha çok tercih edilen ve uygulamasının daha uygun olduğu bazı metotlar bulunmaktadır. Nicel risk değerlendirme metotlarından, Fine-Kinney ve Karar Verme Matrisinin elemanı olan L-Tipi Matris bahsi geçen metotlar olmaktadır.

3.4.1 L Tipi (5x5) Matris Metodu

Sebep sonuç analizinin yapılabildiği, uygulayanın fazla tecrübeye sahip olmasını gerektirmeyen bu yüzden yaygın olarak kullanılan, özellikle az ve orta tehlikeli işyerleri için tercih edilen, tehlikenin gerçeğe dönüşme ihtimali ile gerçekleşmesi durumunda sonucunun şiddetsel derecelendirilmesinin yapıldığı sistematik bir metot olarak literatürde yerini almaktadır. Karmaşık ve değişik proseslere sahip işyerleri için yeterli olamamaktadır. Metot, uygulayan kişi ya da kişilerin mesleksel tecrübelerine göre başarılı olma durumunu değiştirebilmektedir (Aycan, 2018).

İşleyiş bakımından değişkenlik göstermeyen işyerlerinde tercih edilmektedir. Belirlenen tehlikelerin doğurabileceği riskler, olasılık derecelerine ayrılmaktadır. Risklerin vereceği zarar durumu da aynı şekilde derecelendirilmekte ve bu iki kavramın çarpılması ile riskin skoru ortaya çıkmaktadır (Tablo 3.4, 3.5, 3.6). Daha sonra Tablo 3.7'de belirlenmiş matriste çıkan sonucun durumuna göre genel olarak yapılması gereken müdahalenin ciddiyeti belirlenmektedir (Aycan, 2018).

Tablo 3.4: Bir riskin hayata geçme olasılığı (Aycan, 2018)

DEĞER	İHTİMAL-OLASILIK	ORTAYA ÇIKMA OLASILIĞI İÇİN DERECELENDİRME BASAMAKLARI
1	Çok Küçük	Hemen hemen hiç (yılda bir kez)
2	Küçük	Çok az (üç ayda bir kez)
3	Orta	Az (ayda bir)
4	Yüksek	Sıklıkla (haftada bir kez)
5	Çok Yüksek	Çok sıklıkla (her gün)

Tablo 3.5: Bir riskin gerçekleşmesi durumunda zarar verme şiddeti (Aycan, 2018)

DEĞER	SONUÇ	DERECELENDİRME
1	Çok Hafif	İş saati kaybı yok, ilk yardım gerektirmeyebilen
2	Hafif	İş günü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi, ilk yardım gerektiren
3	Orta	Hafif yaralanma, tedavi gerekir
4	Ciddi	Ciddi yaralanma uzun süreli tedavi, meslek hastalığı
5	Çok Ciddi	Ölüm, sürekli iş göremezlik

Tablo 3.6: Sonuçların değerlendirilip müdahale sırasının ve ciddiyetinin belirlenmesi maksatlı oluşturulmuş matris (L tipi 5x5) (Aycan, 2018)

		Şiddet				
		Çok hafif (1)	Hafif (2)	Orta (3)	Ciddi (4)	Çok Ciddi (5)
Olasılık	Çok Düşük (1)	1	2	3	4	5
	Düşük (2)	2	4	6	8	10
	Orta (3)	3	6	9	12	15
	Yüksek (4)	4	8	12	16	20
	Çok Yüksek (5)	5	10	15	20	25

Risk matrisindeki çarpım sonucu çıkan sayıların renk ve anlamları farklılık göstermektedir (Tablo 3.6). En yüksek sayı olan 25 ile katlanılamaz riskler ifade edilmektedir. 15, 16 ve 20 ile önemli riskler, 8, 9, 10 ve 12 ise orta düzey riskler için yerini almaktadır. 1-6 arası ifade edilen riskler ise önemsiz ve hali hazırda uygulanan kontrollerin sürdürülebileceğini anlatmaktadır (Tablo 3.7).

Tablo 3.7: Sonuç ve uygulanacak eylemin durum belirleyicisi (Aycan, 2018)

SONUÇ	**EYLEM**
Katlanılamaz Riskler (25)	Belirlenen risk kabul edilebilir bir seviyede düşürülünceye kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Gerçekleştirilen faaliyetlere rağmen riski düşürmek mümkün olmuyorsa, faaliyet engellenmelidir.
Önemli Riskler (15, 16, 20)	Belirlenen risk azalıncaya kadar iş başlatılmamalı, eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Risk işin devam etmesi ile ilgiliyse acil önlem alınmalı ve bu önlemler sonucunda faaliyetin devamına karar verilmelidir.
Orta Düzeydeki Riskler (8, 9, 10, 12)	Belirlenen riskleri düşürmek için faaliyetler başlatılmalıdır. Risk azaltma önlemleri zaman alabilir.
Katlanılabilir Riskler (2, 3, 4, 5, 6)	Belirlenen riskleri oradan kaldırmak için ilave kontrol proseslerine ihtiyaç olmayabilir. Ancak, mevcut kontroller sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürüldüğü denetlenmelidir.
Önemsiz Riskler (1)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için kontrol prosesleri planlamaya ve gerçekleştirilecek faaliyetlerin kayıtlarını saklamaya gerek olmayabilir.

3.4.2 Fine-Kinney Risk değerlendirme Metodu

Kantitatif metot olan Fine-Kınney, matris yöntemine benzemektedir. Belgelendirmeye önem veren ve düzenli kayıt tutan firmalar tarafından tercih edilmektedir. İşyeri verilerinden elde edilen istatistiklerin kullanımına imkân sağlamaktadır. Riski, olasılık, şiddet, frekans değerleri ile ele almaktadır (Tablo 3.8, 3.9, 3.10). Bu değerler çarpılarak Tablo 3.11'de belirtilen risk skoru elde edilmektedir. Daha sonra ise, skorun değeri incelenerek, alınması gereken önlemlerin seviyesini ve sıralamasını belirlenmektedir.

Olasılık, frekans ve şiddet ifadeleri risklerin belirlenmesinde kullanılan terimlerdir. Olasılık; var olan tehlikenin zaman içerisinde riske dönüşerek gerçekleşme ihtimalini tanımlamaktadır. Frekans ise, birim zamanda tekrarlanma sıklığıdır yani riskin gerçekleşip tekrar oluşma derecesini ifade etmektedir. Son olarak şiddet ise, tehlikelerden kaynaklanana riskin, etrafında var olan canlı ya da cansız varlıklara verebileceği zararın derecelendirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Çizelgeler yardımıyla bahsi geçen metodun skalaları daha ayrıntılı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.8: Fine-Kinney metodu riskin gerçeğe dönüşme skalası (Aycan, 2018)

OLASILIK DEĞERİ	TANIMLAMA
0,2	Beklenmez
0,5	Beklenmez ama mümkün
1	Mümkün ama düşük ihtimal
3	Olası
6	Yüksek/oldukça mümkün
10	Kesin beklenir

Tablo 3.9: Fine-Kinney metodu tekrarlanma sıklığı skalası (Aycan, 2018)

FREKANS DEĞERİ	TANIMLAMA
0,5	Çok seyrek (Yılda 1 veya daha seyrek)
1	Seyrek (Yılda birkaç defa)
2	Sık değil (Ayda 1 veya birkaç defa)
3	Ara sıra (Haftada 1 veya birkaç defa)
6	Sıklıkla (Günde 1 veya birkaç defa)
10	Hemen hemen sürekli (1 saatte birkaç defa)

Tablo 3.10: Fine-Kinney metodu zarar verebilme skalası (Aycan, 2018)

ŞİDDET DEĞERİ	TANIMLAMA
1	Ramak kala, iş saati kaybı yok, ilkyardım gerektirmez, çevresel zarar yok
3	Hafif yaralanma, küçük hasar, iş günü kaybı yok, ilkyardım gerektirir, sınırlı çevresel etki
7	Yaralanma, önemli hasar, ayakta tedavi, ilk yardım gerektirir, iş günü kaybı, arazi sınırları dışında çevresel zarar
15	Kalıcı hasar, ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı, iş gücü/ iş günü kaybı, çevresel engel oluşturma
40	Ölümlü kaza/ çevresel zarar
100	Birden fazla ölümlü kaza / çevre felaketi.

Çizelgeler yardımıyla, tespit edilen her tehlikenin doğurduğu ayrı ayrı her risk için gerçeğe dönüşme, tekrarlanma ve zarar verebilme değerleri çarpılmaktadır. Çıkan sonuçlara göre, risk değerleri aralığı belirlenmiş tabloda hangi aralıkta olduğu tespit edilmektedir. Tespit sonrası alınması gereken tedbir ve yapılması gereken düzenlemeler belirlenmektedir.

Tablo 3.11: Fine-Kinney metoduna ait risk değeri, sınıfı ve genel çerçevede yapılması gerekenler (Aycan, 2018)

RİSK DEĞERİ	RİSK SINIFI	YAPILMASI GEREKENLER
R<20	Kabul Edilebilir Risk	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ilave kontrol proseslerine ihtiyaç duyulmayabilir.
20<R<70	Olası Risk	Mevcut kontroller sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürüldüğü denetlenmelidir.
70<R<200	Önemli Risk	Belirlenen riskleri düşürmek için uzun vadede düzeltici/önleyici faaliyetler başlatılmalıdır.
200<R<400	Yüksek Risk	Bu riskler için kısa vadede önlem alınmalı düzeltici önleyici faaliyet başlatılmalıdır.
R>400	Çok Yüksek Risk	Belirlenen risk kabul edilebilir bir seviyeye düşürülünceye kadar iş başlatılmamalı, eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Tolerans gösterilemez risk.

3.5 Güneş Enerjisi Sistemlerinde İş Güvenliğine Yönelik Düzenlemeler

İş sağlığı ve güvenliğinin çalışanlar ve işyerleri için vazgeçilmez olduğunun bilincine ulaşılmış olduğu günümüzde, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de yasal düzenlemelerle daha uygun çalışma ortamları oluşturulmaya çalışılmaktadır. İstenilen düzeye gelinmesi için bir müddet daha zamana ihtiyaç duyulan bu alan, halen arzu edilen kademeye gelememiştir. Çok sayıda meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıkları, yapılan iş, cinsiyet ve yaş ayrımını beraberinde getirmektedir (Ceylan, 2012). Enerjinin öneminin artması ve enerji arzı noktasında insanlara temiz enerji sağlaması dolayısıyla yenilenebilir enerjiye olan ilgi artış göstermektedir. Artışın gerçekleşmesi sonucunda ise bu alanda gerçekleşen iş kazalarının sayısı belirgin oranda kendini göstermektedir (Gül, 2018).

Enerji yoğunluğunun düzenlenmesi maksatlı 2007'de 5627 sayılı "Enerji Verimliliği Kanunu'' yürürlüğe girmiş ve ardından yenilenebilir enerjiye yönelimin artması maksatlı, 2009 yılında ''Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği'' ile "Yeni yapılacak olan ve 1.000 m2'nin üzerinde kullanım alanına sahip binalardaki ısıtma, soğutma, havalandırma, sıhhi sıcak su, elektrik ve aydınlatma enerjisi ihtiyaçlarının tamamen veya kısmen karşılanması amacıyla, yenilenebilir enerji kaynakları önerilmektedir" (Aktacir, 2009).

Söz konusu yasal düzenlemeler ve teşvikler sonucunda yenilenebilir enerjinin bir dalı olan güneş enerjisi de piyasadaki payını arttırmıştır. Panellerin üretiminden, nakliyesine, yüklenici firmanın saha ve enerji geri dönüşümü için yaptığı projeden işletmeye, işletme sürecindeki bakım hizmetinden panellerin söküm ve geri dönüşümüne kadar birçok farklı iş kolunu kapsayan bir iş güvenliği ağı bulunmaktadır. Standart iş güvenliği uygulamalarının yanı sıra, işyeri için spesifik gerçekleşebilecek riskler analiz edilerek değerlendirme sürecine alınmaktadır. İş güvenliği önlemlerinin işe yarar ve sürdürülebilir olması için kontrol mekanizmasının sürekli işlemesi gerekmektedir. Saha denetim raporları gözlemlerden elde edilen veriler ile hazırlanarak, uygun periyotlarla tekrarlanmakta ve belgelendirilmek suretiyle saklanmaktadır.

Tehlikelerin doğurabileceği risklerin %98'i önlenebilmektedir (ILO). Bu başarıyı kazanmakta ki önemli etkenlerden biri de doğru yapılmış risk değerlendirmesidir. Risk değerlendirmesi ile işyerinin tehlike ve risk künyesini ortaya çıkarıp gerekli önlemlerin alınmasına ve daha güvenilir bir işyerinde çalışılmasına imkân sağlanmış olunmaktadır. Risk değerlendirme süreci dört ana başlık altında sürdürülebilmektedir. Planlama, kurulum, işletilmeye alma ve çalışma durumu olarak incelenmesi belirli standartlar çerçevesinde kurulumu ve devamındaki süreci etkin yönetebilmeyi sağlamaktadır (Tablo 3.12).

Tablo 3.12: Güneş Enerjisi Santrallerine Yönelik Risk Yönetim İzlencesi

PLANLAMA	KURULUM	KONTROL	SİSTEMİN ÇALIŞTIRILMASI
-Panel, inverter hesapları -Arazi konumu -Hava koşulları -Projelendirme -Teknik hesaplamalar -Gerekli izinlerin temini -Yıllık eğitim, ölçüm, bakım ve tatbikat	-Malzeme temin edilmesi -Kurulum süreci -Konstrüksiyon yerleştirilmesi -Panel ve inverter yerleşimi -Kablo bağlantılarının yapılması -İzleme ve kontrol	-Sistemin çalışma prosedürleri -Sistemin gerekli testlerinin yapılması -Test sonuçlarının raporlanması	-Yıllık bakım -Kurulum süreci

Risk yönetim sürecinde yapılan işin ayrıntılarına yönelik spesifik hesaplamalar, iş güvenliği profesyonelleri tarafından değil işin ehli teknik kişiler tarafından yapılmaktadır. Yapılan hesaplamalar ve ölçümler uygun santrallerin kurulumu ve işleyişi için önem taşımaktadır. Panellerin ve invertörlerin uyum içinde çalışmaması, verimlilik ve sistemin sağlıklı çalışmamasını sağlamaktadır. Sistemde oluşabilecek herhangi bir olumsuzluğun iş güvenliğini etkilemesinden ötürü sistemsel hesaplamalar dolaylı olarak iş güvenliğini de ilgilendirmektedir. Yapılan her işin, sayılan sebeplerden ötürü iş güvenliği profesyonelleri ile iletişim kurularak yerine getirilmesi, akut ve kronik sorunların üstesinden gelme durumunda etkili olmaktadır.

Panellerin kullanım ömrü ortalama 20-25 yıl olmaktadır. Panellerin kurulduğu yer açık arazi ya da çatılar olabilmektedir. İklim şartlarının, panellerin kullanım süreçleri içerisinde, değişmesi sonucu metrekareye düşen yağmur oranı ve esen rüzgâr miktarı farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılık ise panel kurulumundan önce yapılan arazi, hava koşulları ve zemin hesaplamalarında uyuşmazlıkların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Uyuşmazlıklar sonucu ise panellerin verimi azalmakta veya panellerin konumlandığı yerde durabilmeleri mümkün olmayabilmektedir. Panellerin kurulacağı alanın projelendirilme esnasında hava koşulları, arazi konumu, zemin etüdü gibi hesaplamalarının uygun ve ileriye dönük yapılması iş güvenliği

önlemlerinin etkin kalabilmesi açısından önem arz etmektedir. Yük ve statik değerlerine göre alanın uygunluğu yetkilendirilmiş devlet kurumlarından gelen ekip tarafından kontrol edilmektedir. Çıkan sonuç ile elektrik dağıtım şirketine gerekli başvurular yapılabilmektedir. Burada eğer 10kW'ın altında bir öz tüketim için kullanım amaçlanmakta ise kurulum için iş güvenliği uzmanına ihtiyaç bulunmamaktadır. Yüklenici firmanın iş güvenliği önlemlerini alması ve uygulaması beklenmektedir (RG Sayı: 25819, 2005).

Panel ve eviricilerin çeşitleri, bağlantı elemanları ve kabloları, topraklama ve yıldırımdan korunma unsurlarının birbirleri ile uyumu ve kalitesi tüm iş güvenliği profesyonelleri tarafından bilinememektedir. Bahsi geçen bilgiler üretim ve kurulum yapan firma tarafından iletilmektedir. Burada iş güvenliği profesyonelleri kalite ve uyumdan sorumlu olamamaktadır. Süre gelen işin sağlıklı ilerleyişinden sorumlu tutulmaktadır. Gerekli tüm santral parçaları temin edildikten sonra kurulum ve devreye alma süreçleri uzmanlar tarafından kontrol edilmektedir. İhtiyaç duyulan ve gereken tüm testler, kurulum sonrası yapılarak TEDAŞ mühendisleri tarafından son kontroller yapılmakta ve sorun olmaması durumunda devreye alınmaktadır.

Kurulum evresinde panellerin montaj edilip birbirleri ile bağlantı kurulması elektrik enerjisine dönüşümü başlatmaktadır. Bu evrede çalışanların sahada işlerini yapmaları sırasında elektrik kaynaklı sorunlar orta çıkabilmektedir. Devreye alma esnasında ise topraklama ve kaçak akım testleri yapılmaktadır. Akım koruma testleri yapılırken ortaya çıkabilecek riskler santralin büyüklüğüne göre değişkenlik göstermektedir. İnsan vücudu için 300mA üstü akım ve 1000v civarı bir potansiyel fark ölümcül olmaktadır. Bir kaza gerçekleşmesi durumunda, ölümle sonuçlanması muhtemel bir olay olmaktadır (Aycan, 2018).

Santrallerin bakım ve ölçümleri, gelişen teknolojiye uyum sağlamış durumdadır. Dronlar ve uzaktan izleme sistemi ile kontroller kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Özel donanımlı dronlar ile sorunlu paneller tespit edilerek uygun bakım veya değişim teknik personeller tarafından yapılmaktadır. Bunun yanı sıra panellerin temizlik işleri de mevcuttur. Temizlik esnasında çalışanın akım kaynaklı zarar görmemesi için bağlantılar ve elektrik enerjisi kontrol altına alınmaktadır.

Güneş enerjisi sistemleri tüm dünyada yaygın olarak kullanılmakta ve ülkeler kendi yasaları çerçevesinde belli önlem uygulamaları yapmaktadır. Önlemlerin kolay ve hiçbir ayrıntı geçilmeden yapılması maksadıyla kontrol listeleri oluşturulmuştur. Listeleri kullanarak basit ve anlaşılır bir şekilde tüm kontroller ayrıntılı yapılabilmektedir. Ayrıca listeye kontrol edilen santralin durumuna göre eklemeler yapılabilmektedir. Bahsi geçen kontrol listeleri Avrupa'da ve ABD'de konunun profesyonelleri tarafından tecrübe ile hazırlanmaktadır. ''Amerika'da Underwriter Laboraties (UL), Avrupa'da International Electromechanical Commission (IEC)'' kuruluşları tarafından da bu listeler hazırlanabilmektedir. UL tarafından hazırlanan kontrol listeleri kullanılarak santral ve risk yönetimi ile ilgili istenilen düzey elde edilebilmektedir (Aycan, 2018).

Tablo 3.13: Güneş Enerjisi Santrallerine Yönelik Kontrol İzlencesi

PROJE VE TASARIM	KURULUM	SANTRAL ÇALIŞMASI VE BAKIM
-Fizibilite Analizi -Arazi Kontrolü -Gerekli İzinler -Proje Süreci -Teknoloji Analizi -Detaylı Tasarım -Sözleşme	-Proje Yönetimi -Tedarik -Kurulum Yönetimi -Yönetmelik Uygunluk -Çevresel Uygunluk -Raporlama	-İzleme ve Raporlama -Sorun tespiti -Önleyici Bakım -Arazi Bakımı -Üretim Raporlanması

Kontrol izlencesi, Tablo 3.13'de görüldüğü gibi üç ana başlıkta toplanmaktadır. Proje, kurulum ve bakım üzerine inşa edilen izlence, iş sağlığı ve güvenliği açısından güzel ve ayrıntılı bir bilgi kaynağı olmaktadır. Ön çalışma olarak geçen fizibilite raporu ile daha önce bahsedilen yağış, rüzgâr, kar gibi değişken parametrelerin bilgisi alınmaktadır. Kurulum sürecinde tüm uygunluk ve raporlar iş güvenliği kuralları çerçevesinde alınmakta ve daha sonrası için de iş güvenliği profesyonellerine bilgi kaynağı olmak gibi ekstra avantajları ile önem arz etmektedir. Proje aşamasından başlanarak tüm süreçlerde, iş gören herkesin görevi ayrıntılı olarak kişiye bildirilmekte ve gerekli eğitimler ile oryantasyon ve iş güvenliği eğitim süreci sürdürülmektedir. Eğitimler ile iş kazalarının ve ramak kala olayların gerçekleşme olasılığı azaltılmaktadır. Belgelendirme kısmında tüm olumlu ve

olumsuz ayrıntılar dokümante edilmektedir. Bu sayede ilerde yaşanabilecek istenmeyen durumların önüne geçilmiş olunacaktır. Elektronik izleme sistemleri sayesinde tüm veriler kolayca depolanabilmektedir. Ayrıca arıza durumunda sistem yetkilileri uyarılarak zamanında müdahaleye imkân sağlamaktadır. Asıl probleme yapılan zamanında müdahale ile yaşanabilecek olumsuz durumlar önlenmiş olacak ve iş güvenliği açısından da sorun yaşanmayacaktır.

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC), standartlar ve uygunluk değerlendirme sistemleri ile elektriğin güvenli olarak üretilip iletilmesini ve sürdürülebilir olarak tüketilmesine katkı sağlamaktadır (İec, 2020). Geniş kapsamlı değerlendirme sistemleri ile ülkelerin kullanımında olması, iş güvenliği profesyonelleri açısından da avantaj olarak görülmektedir. Güneş enerjisi alanında, üretim, proje, ayrıntılı testler, kurulum, işletim, bakım, çevresel faktörler, performans yönetimi, ürün testleri ve sertifikasyonları, denetim vb. süreçler tecrübe ile hazırlanmış ve işlenen izlenceler ile iş güvenliği alanında çok etkin ve yetkin işlerin ortaya çıkmasına katkı sağlamaktadır.

Ülkemizde İş Sağlığı ve Güvenliği ile ilgili günümüze gelene kadar birçok yasal düzenleme yayımlanmış ve dönemin çalışma koşullarına bağlı olarak güncellenerek yayımlanmaya devam etmektedir. Fakat henüz şu ana kadar yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili iş güvenliği önlemlerini yansıtan yasal bir düzenleme bulunmamaktadır. Spesifik olarak incelendiğinde güneş enerjisi ve iş güvenliğini birleştiren yasal düzenleme de bulunmamaktadır. Şu an için, Enerji, Yenilenebilir Enerji ve İş Sağlığı ve Güvenliği başlıkları altında yayımlanmış yasal düzenlemelerden uygulama yapılan saha için yol gösterici olabilecek düzenlemeler incelenerek, kazaların ve meslek hastalıklarının önlenmesi yoluna gidilmektedir.

2005 yılında 25819 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan ‘‘5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’’ ile elektrik enerjisinde başka ülkelere bağımlı olma durumumuzu azaltmak amaçlanmaktadır. Kanun aynı zamanda elektrik üretimi sırasında yapılan işlerin İş Sağlığı ve Güvenliği ilkeleri ile uyumlu olmasını ve iş kazalarının yaşanmamasını hedeflemektedir (RG, Sayı: 25819, 2005).

2013 yılında 28783 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan ‘‘Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik’’ ile kullanıma ihtiyaç duyulan elektriğin şirket kurma yükümlülüğünden muaf olarak üretilmesi hedeflenmektedir. Yine bu yönetmelik emsalleri gibi İş Sağlığı ve Güvenliği ile ilgili her önlemin alınması gerektiğini ve şebeke işletmecisi ya da görevli tedarik şirketinin kurulumdan işletmeye kadar sorumlu olduğunu belirtmektedir. Lisansız elektrik elde etmede tüm iş güvenliği önlemlerinin sorumlu şirket tarafından yerine getirilmesi gerektiği, iş kazalarının alınan önlemler dahilinde engellenmesinin kurulum yapılan saha sahibinin değil kurulum yapan şirketin sorumluluğunda olduğu bildirilmektedir (RG, Sayı: 28783, 2013).

2010 yılında 27605 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan ‘‘Enerji Sektörü Araştırma-Geliştirme Projeleri Destekleme Programına (ENAR) Dair Yönetmelik’’ ve ‘‘Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı (YEKA)’’ modelinde de elektrik üretiminde iş kazalarının önlenmesi ile ilgili tebliğler bulunmaktadır. Temiz enerji elde etme maksatlı çıkılan yolda, doğaya zarar vermeyecek bir alanda olması ve hem doğa hem de İş Sağlığı ve Güvenliği açısından uygunsuz bir durum olduğu taktirde elektrik üretim maksatlı bir tesisin kurulamayacağı belirtilmektedir. Uygunsuzluğun giderilerek tekrar başvurulması gerektiği ve ilgili bakanlıkça kontroller sonucu izin verildiği bildirilmektedir (RG, Sayı: 27605, 2010).

3.6 Güneş Enerjisi Sistemlerindeki Bazı Hataların İş Güvenliği Önlemlerini Etkilemesi

Yanlış akü ve panel seçimi, gereğinden fazla kablolama ve ağzı kapatılmamış borular, kabloların ve konektörlerin hava koşullarından etkilenmesi ve eksik ya da gevşek bağlanması, panellerin ehil olmayan kişiler tarafından yanlış montajı, panel ve konumlandırılacağı zemin arasındaki uygunsuz mesafe, kolay yanabilen yalıtımla kaplı yüzeylere yerleştirilmiş aşırı ısınabilen aküler yüzünden yangına sebep olabilen akünün yanlış yerleşimi, küçük ve orta ölçekli panel sistemlerinde ilk çalışmada yüksek akım çeken cihazların kullanımı, öz tüketim için yerleştirilmiş panellerde elektronik cihazların hatalı konumlandırılması, santral sahasındaki bakımsızlık sonucu otların büyümesi ve yangın riski, panolardaki boşluklardan yaban hayvanların girmesi ve kablo kemirmesi, araziye uygun drenaj işleminin

yapılmaması, özensiz ya da yetersiz etiketleme gibi hatalar İş Sağlığı ve Güvenliği açısından sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 3.2). Görüldüğü üzere, bahsi geçen her madde panel kurulumu esnasında çalışan personelin özensiz ya da ehil olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu durumun engellenmesi amaçlı personele yeterli iş güvenliği eğitimleri verilmeli ve hataların sonucunda yaşanan ramak kala olaylar ve kazalar hakkında bilgilendirme yapılmalıdır. Panel kurulumunda müşterinin, iş güvenliği anlamında bir yasal sorumluluğu bulunmamakta olup, yüklenici firma kurulumla ilgili tüm önlemlerini eksiksiz yerine getirmelidir



Şekil 3.2: Hatalı montaj sonucu yanan paneller (Enerjibes, 2017)

3.7 Güneş Enerjisi Projelerinde Çevresel Etki Değerlendirmesi

Yenilenebilir enerji çeşitlerinden güneş enerjisi projelerinde saha seçimi ve teknoloji alternatifleri önem arz etmektedir. İki alternatif ile incelenebilen projeler, uygulamanın gerçekleşeceği yer alternatifi ve teknoloji alternatifi olarak ayrılmaktadır. ‘‘Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi İçin Teknik Yardım Projesi Güneş Enerjisi Santralleri (2017)’’ tarafından sunulan bilgiler ışığında çevresel etki değerlendirmesinin içeriklerine ulaşılmıştır.

3.7.1 Proje Yeri Alternatifleri

İş Sağlığı ve Güvenliği açısından işyerleri incelendiğinde, yapılan işin içeriğine göre bazı farklılıklar ve iş güvenliğini doğrudan ve dolaylı olarak

etkilemeler görülmektedir. Güneş enerjisi sistemlerinde de bu etkilemeler işin doğası olarak oluşabilmektedir. Projelerin yer seçiminde sahada radyasyon değerleri, güneşlenme süreleri gibi enerji potansiyeli dikkate alınmaktadır. Fizibilitede ise taşkın oluşma riski, deprem, jeoteknik durum, ulaşım alternatifleri, arazi eğimi ve trafoya olan uzaklık vb. durumlar dikkatle ele alınmaktadır.

Çevreye verebileceği zarar yönünden, ekolojik durum ve hassasiyeti, arazinin tarım, mera ya da orman olması gibi durumlar izin sürecini oluşturmaktadır. Örneğin, arazinin verimsiz topraklarda olması tercih edilmektedir. Ekolojik dengenin korunumu maksatlı, saha alternatiflerinde dikkate alınan konular, sahanın koruma niteliği, bitki örtüsü, yaban hayatı olarak farklı türlerin bulunması önem arz etmektedir.

3.7.2 Alternatif teknolojiler

Yenilenebilir diğer enerji kaynakları ile kıyaslama yapılmasından sonra güneş enerjisi çevriminde kullanılacak teknolojiler değerlendirilmektedir. Karşılaştırma kriterleri, çevreye etki, doğal enerji üretim kaynağı, enerjiye olan gereksinim ve sera gazı emisyonları olarak sıralanabilmektedir.

Güneş enerjisi teknolojilerinde, Pv sistemler ile konsantre ısıl güç sistemlerinin avantaj ve dezavantaj yaratabilen durumları kıyaslanmaktadır. Karşılaştırma aynı zamanda ince film hücreleri ve silisyum güneş hücreleri gibi farklı sistem durumlarının verim, maliyet ve saha yönünden kıyaslanması şeklinde de olmaktadır.

3.7.3 Seçilen alternatiflerin tanımı

Alternatiflerin değerlendirilmesi, teknik açıdan, ekonomik, sosyal ve çevre etki durumları açısından seçenekleri değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Oluşturulan her kriter için çeşitli parametreler tanımlanmıştır. Puanlama yöntemi ile alternatiflerin kıyaslanma süreci daha sağlıklı yapılmaktadır.

GES projelerinde, saha alternatifi ve santralin çeşidi temel alınmakta, ayrıca tüm maliyet ve fayda analizi de yapılarak projenin hayata geçme potansiyeli değerlendirilmektedir. Burada ekonomik maliyetleri ele almanın yanında çevre ve sosyal etki durumu da analiz edilmektedir.

Bahsi geçen değerlendirmeler genellikle matrisler oluşturularak yapılmaktadır. Tablo 3.14'te örnek bir matris sunulmakta olup bu matrisin içeriği projeye özgü değişikliğe uğrayabilmektedir.

Tablo 3.14: Alternatif Yer Seçim Matrisi (ÇŞB, 2017)

Alternatif Yer Seçim Matrisi		**Alternatif Yer 1**	**Alternatif Yer 2**	**Alternatif Yer 3**	**Alternatif Yer 4**
Tasarım	Gerekli hafriyat miktarları				
	Karayolu ve demiryoluna mesafe (kamaşma etkisi)				
	Topografya ve eğimler				
	Yerleşim yerlerine mesafe				
Kullanıcılar	Arazi edinim sürecinden etkilenen halk				
	Ekosistem hizmetlerini kullananlar (tarla, orman, mera, vb.)				
Çevresel	Çevre düzeni planı içindeki konum				
	Jeoloji ve toprak				
	Yüzey suları kalitesi ve su bütçesi				
	Yeraltı suyu kalitesi ve su bütçesi				
	Ekolojik parametreler				
	Peyzaj ve Görsellik				
	Kültürel Miras				
	Tarım arazileri				
	Hava Kalitesi				
	Gürültü ve Titreşim				
Toplam Şema Masrafı					
Sıralama					
	Açıklama	Küçük	Orta	Büyük	Aşırı
	Olumlu	**1**	**2**	**3**	**4**
	Olumsuz	1	2	3	4

(*Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ÇED Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi İçin Teknik Yardım Projesi*, n.d.)

3.7.4 Arazi Hazırlama ve İnşaat Aşaması

Arazi hazırlama ve inşaat aşamasında, proje kapsamında inşaat ve işletme kısımlarının çevreye etkileri ve alınması muhtemel önlemler ele alınmaktadır. ‘‘Toprak ve jeoloji, gürültü ve titreşim, hava kirliliği ve etki azaltıcı önlemler, insanlara etkisi, yüzey ve yeraltı suyuna etkileri, bitkiler ve hayvanlar, ekosistemler, korunan alanlar ve peyzaj, atıklar, işletme faaliyete kapandıktan sonra olabilecek etkiler ve önlemleri, yansıma ve kamaşma etkisi’’ başlıkları ile çevresel etkiler ayrıntılı analiz edilmektedir.

Çevresel etki analizinin direkt ve dolaylı olarak İş Sağlığı ve Güvenliğini etkilediği bilinmektedir. Bu açıdan, kimi inşaat kimisi de işletme aşaması olmak üzere, hafriyat işleri sırasında yapılan hesap ve işlem hataları, sahanın ağır iş makineleri ile toprak sıkışması yaşaması, araç ve ekipman bakımı sırasında oluşabilecek olumsuz durumlar, gürültü, titreşim, inşaat çalışmalarında karşılaşılan ramak kala olaylar ve kazalar, bakım yapılabilmesi için sahada depolanan kimyasallar, yağlı trafo kullanılan projelerde yağ değişimi nedeniyle açığa çıkan atık yağ ve etkileri gibi birçok etken çevreyi, çalışanları ve iş güvenliği politikasını etkilemektedir.

İşletme faaliyeti sona erdikten sonra etki ve önlem çalışmalarında ise, söküm esnasında oluşacak gürültü ve titreşim etkisi, kaçak toz emisyonu, paneller, yeraltı kablo ve bağlantıları, eviriciler gibi bileşenlerin atıkları oluşmakta ve bu atıklar çevreye ve çalışanlara zarar vererek iş güvenliği kültürü çerçevesinde istenmeyen durumları yaratmaktadır.

PV panellerin ömrü tamamlandıktan ya da herhangi bir sebeple söküldükten sonra elektronik atık olarak değerlendirilmektedir. ‘‘Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği’’ kapsamında değerlendirilme işlemi yapılması gerekmektedir.

İşletmenin faaliyete geçtiği bir yıllık dönemde güneşin gelme açısına göre oluşabilecek yansıma ve kamaşmalar belirlenmektedir. Çalışanlar ve çevredeki yerleşim yerlerinden gelen şikayetler ve kuşlara etki edebilme durumları açısından etkisi değerlendirilip gerekli tedbirler alınmaktadır.

3.7.5 İzleme

Projelerin tüm aşamalarının çevreye olan etkisi ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Aşamalar, arazi hazırlanması, inşaat süreci, işletme süreci ve faaliyete son verme olarak çeşitlenmektedir. İzleme, incelenen proje bazlı farklılık göstermekte ve proje için spesifik hazırlanmaktadır. İzleme sürecinde, çevresel etki raporundaki tespit ve öneriler için belirtilen önlemler yeterli olmazsa yatırımcıdan ek tedbirler alması istenmektedir.

Güneş enerjisi santralleri için hazırlanan izleme matrisi örneği Tablo 3.15 ve 3.16'da sunularak inşaat ve işletme aşamalarında nelerin önemli olduğu belirtilmektedir. Projenin detay özelliklerine göre farklılık gösteren izleme sıklığı ve parametreleri her santral için değişmektedir.

Tablo 3.15: İnşaat Aşaması İzlencesi (ÇŞB, 2017)

Konu	İzleme Yapılacak Yer	İzlenecek Parametre	İzleme Yöntemi	İzleme Sıklığı
İNŞAAT AŞAMASI				
Tarihi, kültürel ve arkeolojik varlıklar	Proje alanında	Buluntular ve rastlantısal buluntu prosedürünün uygulanması	• Gözlem	Kültür varlığına rastlanıldığında
Bitkisel üst toprak	Proje alanında	Bitkisel toprağın sıyırılması ve geçici depolamasının uygun şartlarda yapılmaması	• Gözlem	Günlük
Toprak erozyonu	Proje alanında	Azaltıcı önlemlerin uygulanıp uygulanmadığı kontrol edilecektir.	• Gözlem	Günlük
Gürültü ve titreşim	Etki alanındaki yerleşimlerde	Gürültü ve titreşim ölçümü	• Ölçümler • Binalarda ve yollarda hasar gözlemleri	6 ayda bir ve şikâyet olması durumunda
Yerel ve ekonomik aktivitelerin zarara uğramaması	Etki alanındaki yerleşimlerde	Arazi edinim prosedürü	• Etkilenen halk ile görüşmeler	6 aylık ve şikâyet olması durumunda

Devamı arkada.

Tablo 3.15 Devamı: İnşaat Aşaması İzlencesi (ÇŞB, 2017)

Atıklar	Proje alanında	İlgili yönetmeliklere göre gerekli uygulamalar, kayıtlar, lisanslı taşıma araçları firmaları ve lisanslı bertaraf tesisleriyle sözleşmeler	• Görsel • Kayıtların ve sözleşmelerin kontrolü	İnşaat boyunca günlük
İş Sağlığı ve Güvenliği	Proje alanında	• Risk Analizi • ADM Planları ve Ekipleri • İş araçları /ekipmanlar periyodik kontrolleri • İSG izleme planı • Yıllık Çalışma Planı • İSG Eğitimleri • İSG Kurulu/Toplantılar • İSG Ölçümleri	• İç denetim • Bağımsız denetim	Günlük/ Haftalık/ Aylık
Halkın Güvenliği	Etki alanındaki yerleşimlerde	• İkaz panolarının yerinde olup olmadığı, reflektör lambalarının çalışıp çalışmadığı kontrol edilecektir. • Harici Acil Durum Eylem Planı'nın uygulanması	• Gözlem	Sürekli
Toprak ve yeraltı suyu kirliliği	Proje alanı ve çevresi	Depolama alanlarından sızıntı ve dökülmeler Sızıntı ve dökülme prosedürlerinin uygulanması Kontamine toprağın tehlikeli atık olarak bertarafı	• Laboratuvar ölçümleri (pH, BOİ, KOİ, yağ-gres)	Çevresel kaza sonucu suya karışma olduğunda

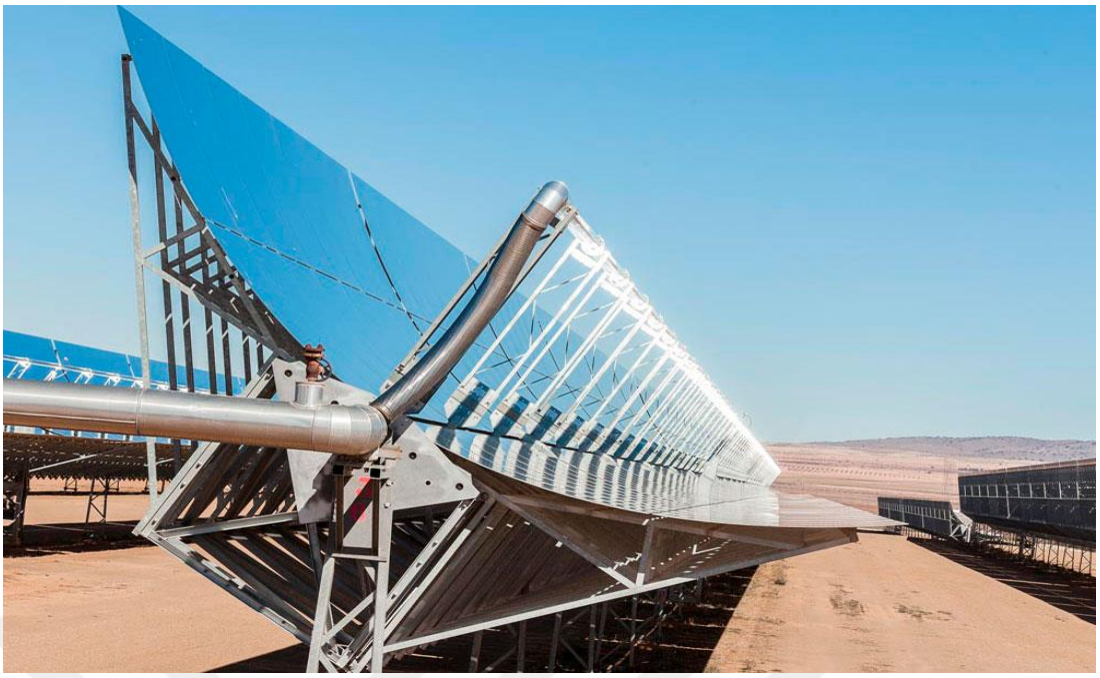
(Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ÇED Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi İçin Teknik Yardım Projesi)

Tablo 3.16: İşletme Aşaması İzlencesi (ÇŞB, 2017)

Konu	İzleme Yapılacak Yer	İzlenecek Parametre	İzleme Yöntemi	İzleme SIklığı
İŞLETME AŞAMASI				
Flora	Tesis ve etki alanında	Bitkisel toprağın yayılacağı alanların belirlenmesi ve peyzaj için alana uygun bitki türlerinin seçilmesi Sıyırılan Bitkisel toprağın uygun bir şekilde ve uygun yerlere yayılması, uygun bitki türlerinin tesis dışındaki alanlara dikilmesi	• Görsel gözlemler	Yılda 1 kez Hassas türler tespit edilmesi durumunda yılda iki kez
Fauna	Tesis ve etki alanında	Tesisler ve çevresindeki alanlara tekrar geri dönen fauna unsurlarının belirlenmesi	• Çevredeki mevcut fauna elemanlarının giriş- çıkışlarının kontrolü	Nisan - Mayıs-Eylül 1 kez, 2 gün saha çalışması
Atıklar	Sondaj alanında	İlgili yönetmeliklere göre gerekli uygulamalar, kayıtlar, lisanslı taşıma araçları firmaları ve lisanslı bertaraf tesisleriyle sözleşmeler	• Gözlemler • Kayıtların incelenmesi	Yıllık
İş Sağlığı ve Güvenliği	Sondaj alanında Pompa ve vana istasyonlarında	• Risk Analizi • ADM Planları ve Ekipleri • İş araçları ve ekipmanlar periyodik kontrolleri • İSG izleme planı • Yıllık Çalışma Planı • İSG Eğitimleri • İSG Kurulu Toplantıları • İSG Ölçümleri	• İç denetim • Bağımsız denetim	Günlük/Haftalık /Aylık/Yıllık

(*Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ÇED Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi Için Teknik Yardım Projesi*)

Güneş enerjisi santrallerinden, uluslararası çapta ve zamanın teknolojileri ile üretilmiş bazı örnek uygulamalar Şekil 3.3-6'da sunulmaktadır. Çevre etkisi bakımından emsal nitelikte örnek olan bu uygulamalar iş güvenliği açısından da tasarım ve işletime uygunluk düşünülüp tasarlanarak, insana ve doğaya verilen değeri göstermektedir.



Şekil 3.3: Yenilikçi teknolojilere iyi bir örnek; Parabolik Çanak (Elektrikport, 2021)



Şekil 3.4: İspanya-Andasol Güneş Enerji Santrali (Greenpeace, 2016)



Şekil 3.5: Çanak–Stirling sistemi (Volker, 2018)



Şekil 3.6: Odeillo, Fransa, 10 kW Çanak/Stirling EuroDish (Sonne SBP, 2020)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Üretim

Güneş pilleri farklı şekillere sahip olarak üretilebilmektedir. Kare, dikdörtgen, piramit veya daire şeklinde olabilen güneş hücrelerinin genel itibariyle 100cm^2'lik bir alana sahip olduğu görülmektedir. Kalınlıkları 0,2 ve 0,4 mm aralığında değişmekle birlikte, hücrelerin imali için kullanılan malzemelere göre verimlilik oranı da farklılık göstermektedir. Verimleri %5 ile %22 arasında değişiklik gösteren güneş pilleri, seri ve paralel bağlanarak panelleri oluşturmaktadır. Oluşturulan paneller ise, seri ve paralel bağlanarak da güneş enerjisi santralini meydana getirmektedirler.

Güneş pillerinin yapımında kullanılan malzemeler ilerleyen teknoloji ile değişikliğe uğramaktadır. Bu malzemeler; kristal silisyum, amorf silisyum, galyum arsenik, kadmiyum tellür, bakır indiyum galyum (di) selenit (CIGS) diseleneid ve optik yoğunlaştırıcı hücreler olmaktadır (Bakhiyi ve diğ., 2014).

Fotovoltaik sistemlerin yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), aşamalardan oluşmaktadır. Bu aşamalar, üretim, işletme ve kullanım ömrünün sona ermesi olarak ele alınmaktadır. Ülkelere göre farklılık göstermekle beraber, fotovoltaik sistemlerin kullanım ömürleri sona erdikten sonra atıl duruma düşmesi, günümüzde e-atık olarak kabul edilmesinin önünü açmıştır. Bu durum, kullanım ömrü sona eren sistemlerin çevreye ciddi bir yansıma olarak dönüş yapmasını garanti etmektedir. Küresel açıdan bakıldığı zaman, elektronik atık yönetimi, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde halen bazı zorlukları göğüslemeye çalışmaktadır.(Bakhiyi ve diğ., 2014). Panel atık yönetimindeki bilgi eksiklikleri, sadece ömrü sona erenlerden oluşmamaktadır. Kırık ve/veya hatalı paneller ile üretim sırasında hata oluşturanlar da atık olarak değerlendirilmektedir. PV sistemlerin, üretim, işletme, kullanım ömrünün sona ermesi, farklı nesil ve şebekeden bağımsız sistemlerdeki beklenti ve noksan konular Tablo 4.1-5'te ayrı ayrı sunulmuştur.

Tablo 4.1: PV sistemlerin üretim sürecindeki beklenti ve eksiklikler (Bakhiyi ve diğ., 2014)

BEKLENEN GELİŞMELER	POTANSİYEL RİSKLERİN KAYNAĞI	BİLGİ BOŞLUKLARI	YORUMLAR
Güneş silikon endüstrisinin tekeli (kristal ve ince film silikon hücreler dahil) en az 2017 yılına kadar küresel pazar payı ~ %80 (EPIA, 2013).	Birincil enerji kaynağından (esas olarak fosil) ve florlu gazlardan (F-gazlar) kaynaklanan sera gazı emisyonları, örneğin nitrojen triflorür (NF_3), kükürt heksaflorür (SF_6) ve saf flor (F_2).	*Çoğunlukla Batı Avrupa ve ABD üretim verilerine dayanan GWP tahmininin hesaplanmasında kullanılan PV sistemlerinin Mevcut Yaşam Döngüsü Envanterleri. *F-gazları, karbon ayak izi değerlendirmesi sırasında zar zor ölçülmüştür.	Çin'de üretilen ve Avrupa'da kurulan mc-Si panellerinden gelen elektrik, Çin'in elektrik arzının karbon yoğun kömür gücüne dayanması nedeniyle daha fazla sera gazı emisyonuna (saf Avrupa panellerinden elde edilen elektriğe göre %70 daha yüksek) neden oluyor (Jungbluth ve diğ, 2012).
Bileşik yıllık büyüme oranı (CAGR): PV üretim kapasitesinde ve Si PV pazarının kontrolünün Çin tarafından sürdürülmesinde beklenen küresel %9-22 artış (EPIA, 2013).	*PV panelleri ve BOS bileşenlerinin imalatı sırasında kullanılan veya üretilen potansiyel olarak toksik kimyasal: hammaddeler (örn; Al, As, Cd, CdTe, Cr(VI), Cu, Ga, In, Pb), ara ürünler ($SiCl_4$, $SiHCl_3$), aşındırıcılar (güçlü) asitler ve bazlar), katkı maddeleri (örn; alev geciktirici PBDE). *Elektrik ve fosil birincil enerjiden ağır metallerin dolaylı emisyonu; PV panel işlemesinden (As, Cd, Hg, Ni, vb.) doğrudan emisyon (Fthenakis ve diğ., 2008 , Jungbluth ve diğ., 2012). *PV işleme hatlarından kaynaklanan atıklar.	*PV hücrelerinden ve BOS işlemlerinden belirli hava emisyonu ve sıvı ve/veya katı atıklar hakkında sınırlı veri (Jungbluth ve diğ., 2012). *PV sistemlerinin Mevcut Yaşam Döngüsü Envanterleri, tüm Avrupa PV projelerini ve Çin veya Tayvan'daki pazar liderlerinden gelen tüm üreticilerin verilerini içermez (Jungbluth ve diğ., 2012).	*Çin'de rapor edilen silikon PV üretim tesisleri çevresinde potansiyel olarak toksik maddelerin atmosferik emisyonu ve toprak kirliliği. *Si PV hücrelerinin fosil enerji yoğun üretimi (4900 MJ/m^2'ye karşı CdTe hücreleri için 992–1523 MJ/m^2) (Fthenakis ve Kim, 2011). * Yakın zamanda kapalı bir ABD PV tesisinden çıkarılan 630 libre Cd içeren tehlikeli atık (Colthorpe, 2013).

‘‘Al: alüminyum; As: arsenik; BOS: sistem dengesi; Cd: kadmiyum; CdTe: kadmiyum tellür ; Cr(VI): altı değerlikli krom; Cu: bakır; Hg: cıva; içinde: indiyum ; Ga: galyum ; GWP100: 100 yıllık bir zaman ölçeğinde küresel ısınma potansiyeli ; mc-Si: çok kristalli silikon; MJ/m^2 : metrekare başına megajul; NF_3 : nitrojen triflorür; Ni: nikel; Pb: kurşun; PBDE : polibromlu difenil eterler ; Si: silikon; $SiCl_4$: silikon tetraklorür ; $SiHCl_3$: triklolosilan’’

Tablo 4.2: PV sistemlerin işletme sürecindeki beklenti ve eksiklikler (Bakhiyi ve diğ., 2014)

BEKLENEN GELİŞMELER	POTANSİYEL RİSKLERİN KAYNAĞI	BİLGİ BOŞLUKLARI	YORUMLAR
Büyük, tamamen binaya entegre PV (yapı malzemeleri ile) ve endüstriyel çatılara büyük ölçekli PV sistem kurulumunun genişletilmesi (EPIA (European Photovoltaic Industry Association), 2012 , RENI (Renewable Insight-Energy Industry), 2013).	Güneş panelleri, tüm nesiller dahil.	*Yangın durumunda potansiyel olarak toksik emisyonlara ilişkin belirsizlik - özellikle CdTe panellerinden gelen Cd (Dhere ve Shiradkar, 2012 , Fraunhofer CSP (Fraunhofer Center Fur Silizium-Photovoltaik), 2012). *Kırık CdTe panellerinden sızan potansiyel zehirli yağmur suyu, eğer hiç belgelenmemişse, yetersiz belgelenmiştir. Yalnızca küçük ölçekli ticari ve konut PV uygulamalarını dikkate alan sınırlı çalışmalar (Sinha ve diğ., 2012). *Özellikle büyük ölçekli PV tesisleri için bazı çevresel göstergeler hala göz ardı edilmektedir (örneğin, su kullanımı, yaban hayatı ve habitatlar üzerindeki etkiler, yüzey suyu akışı) (Turney ve Fthenakis, 2011).	*Kötü hava koşullarına bağlı bozulma riskleri (Jordan ve diğ., 2012) ve panellerde kendiliğinden oluşan "çatlaklar" (Köntges ve diğ., 2011). *Hızlandırılmış yaşlanma laboratuvar testlerinin, PV paneli uzun vadeli kullanım koşullarını doğru bir şekilde yansıtması için iyileştirmeye ihtiyacı vardır (Ball ve diğ., 2012). *PV panellerin kurulumu ve işletimi sırasındaki yangın tehlikeleri (örn; topraklama hatası, elektrik arkı, açık devre) (Dhere ve Shiradkar, 2012). *Çöl alanlarındaki VLS-PV üzerinde devam eden izleme programı (BLM, 2012) ve potansiyel çevresel etkiler üzerine araştırma, örneğin IEA Fotovoltaik Güç Sistemleri Programı Görev 8 (IEA/PVPS, 2013b).

''Cd: kadmiyum; CdTe: kadmiyum tellür ; VLS-PV: çok büyük ölçekli fotovoltaik''

Tablo 4.3: PV sistemlerin kullanım ömrünün sona ermesi sürecindeki beklenti ve eksiklikler (Bakhiyi ve diğ., 2014)

BEKLENEN GELİŞMELER	POTANSİYEL RİSKLERİN KAYNAĞI	BİLGİ BOŞLUKLARI	YORUMLAR
PV panel atıklarındaki artış: 2035'te 3 milyon tondan 2050'de 9,5 milyon tona, bunun ~ 1,5 milyonu CdTe teknolojisi için (Monier ve Hestin, 2011).	BOS, atık dahil PV sistemleri (Tablo 4.2'de tartışılan piller ve dizel jeneratörler). (BOS: Sistem bileşenlerinin temel ve aksesuar dengesi)	*Metallerin (örneğin Ag, Cd, Co, Cr(VI) & Pb) ve PBDE'nin olası sızıntısı ve biyoamplifikasyon ve biyobirikim yoluyla gıda zincirinin olası kontaminasyonu rapor edilmesine rağmen, düzenli depolama ve/veya yakma durumunda PV panel atıklarının toksik potansiyeli açıklığa kavuşturulmamıştır (Kiddee ve diğ., 2013, Monier ve Hestin, 2011). *PV panellerin sökülmesinin, geri dönüşüm sahasına taşınmasının ve işleme için elektrik talebinin çevresel etkilerinin yetersiz belgelenmesi (Jungbluth ve diğ., 2012). *Gelişmekte olan ülkelerdeki PV atık miktarına ilişkin mevcut tahminler yok, ancak genişleme artışı bekleniyor (IEA/PVPS, 2013b; Ispy Publishing, 2013). *BOS hakkında sınırlı veri, dahil. yaşamın sonu (Fthenakis ve diğ., 2011, Jungbluth ve diğ., 2012).	*PV panel atık yönetimi, atık toplama, endüstri liderliğindeki ömür sonu programı ve geri dönüşüm süreçleri açısından gelişmiş ülkelerde hala verimli değil (Bilimoria ve Defrenne, 2013, Klugmann-Radziemska, 2013, Montgomery, 2013). *E-atık geri dönüşümü ve düzenli depolama, kontrol eksikliği nedeniyle gelişmekte olan ülkelerde ciddi bir tehdit olarak kabul ediliyor ve geri dönüşüm sahalarının yakınında rapor edilen düzenli depolama sızıntı suyu ve toprak kirliliği (Daso ve diğ., 2013; Lundgren, 2012; Otsuka ve diğ., 2012, Pramila ve diğ., 2012, Zhang ve diğ., 2012).

‘‘Ag: gümüş; Al: alüminyum; BOS: sistem dengesi; Cd: kadmiyum; CdTe: kadmiyum tellür ; Co: kobalt; Cr(VI): altı değerlikli krom; GW: gigawatt; Pb: kurşun; PBDE : polibromlu difenil eterler ; PV: fotovoltaik’’

Tablo 4.4: 2. ve 3. nesil PV sistemlerin beklenti ve eksiklikleri (Bakhiyi ve diğ., 2014)

BEKLENEN GELİŞMELER	POTANSİYEL RİSKLERİN KAYNAĞI	BİLGİ BOŞLUKLARI	YORUMLAR
*İkinci nesil ince film teknolojisinin (a-Si, CdTe, CIS, CIGS) küresel pazar stabilizasyonu ve 2017 yılına kadar CPV ve HCPV'nin küresel büyümesi (EPIA (European Photovoltaic Industry Association), 2013, Kurtz, 2012). *Rekabetçi performanslar ve üretim maliyetleri nedeniyle nanopartiküller fotovoltaik teknolojisi (yarı iletken nanoyapılar) için özel geliştirme (Kamat, 2013, Razykov ve diğ., 2011).	*İnce film hücreleri üretimi ve montaj donanımı için hammaddeler. *Üretim için gerekli fosil birincil enerji.	*Te, CdTe, Ga, Ge & In'in toksik potansiyeli halen araştırılmaktadır. *Toksik potansiyel hala inceleniyor. *Nanomalzemelerin üst besin zinciri organizmalarına yönelik potansiyel çevresel riski hala açıklığa kavuşturulmamıştır (Parks ve diğ., 2013).	*Kıt literatürde düşük ekotoksisite olarak kabul edilen CdTe bileşikleri (Kaczmar, 2011). *CdTe PV sistemlerinin eğimli çatılar üzerindeki çevresel etkileri, daha geniş yüzey alanı ve belgelenmiş ekotoksisiteye sahip birincil, özellikle fosil, enerji ve ham maddelerin (örn; Al, Cu, plastikler ve çelik) (Jungbluth ve diğ., 2008).

‘‘a-Si: amorf silikon ; Al: alüminyum; Cd: kadmiyum; CdTe: kadmiyum tellür ; BDT: bakır indiyum selenit ; CIGS: bakır indiyum galyum selenit ; CPV: konsantre fotovoltaik; Cu: bakır; HCPV: yüksek konsantrasyonlu fotovoltaikler içinde indiyum; InP: indiyum fosfit; Ga: galyum; Ge: germanyum; GW: gigawatt; LCA: yaşam döngüsü değerlendirmesi; OPV: organik fotovoltaikler; Te: tellür .’’

Tablo 4.5: Şebekeden bağımsız PV sistemlerin beklenti ve eksiklikleri (Bakhiyi ve diğ., 2014)

BEKLENEN GELİŞMELER	POTANSİYEL RİSKLERİN KAYNAĞI	BİLGİ BOŞLUKLARI	YORUMLAR
*Küresel şebekeden bağımsız uygulamaların 2020'de 21 GW kümülatif kurulu PV kapasitesinden 2050'de 463 GW'a çıkarılması (IEA, 2010). *Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde finansal teşvik ve desteklerden yararlanarak bağımsız sistem pazarının artması (IEA/PVPS (Uluslararası Enerji Ajansı/Fotovoltaik Güç Sistemi Programı), 2013, Lena, 2013). *Gelişmekte olan ülkelerde planlanan PV dizel hibrit tesisler (ILO, 2012; Ispy Publishing, 2013, Lena, 2013).	Güneş pili (esas olarak kurşun-asit ve daha az ölçüde Ni-Cd ve Li) ve dizel jeneratör (alternatif enerji kaynağı).	*Özellikle gelişmekte olan ülkelerde çok az sayıda bağımsız ve hibrit PV sistemi LCA. *Pil üretimi için eksik yaşam döngüsü envanterleri ve geri dönüşüm için mevcut LCA yok (Sullivan ve Gaines, 2012).	*Sera gazı, metal tükenmesi ve fosil yakıt tüketimi açısından pil üretiminin iyi belgelenmiş çevresel etkileri (McManus, 2012). *Nadir bir PV dizel hibrit sistem LCA'sına göre 787 g CO_2 eq / kWh'lik GHG muhafazakar tahmini (Yumoto, 2011). *Pil atık toplama ve geri dönüşüm sektörü, gelişmekte olan ülkelerde hem dağınık hem de potansiyel olarak tehlikeli. *Pil geri dönüşüm alanlarının yakınında yaşayan çocuklar arasında da yüksek kan kurşun düzeyi rapor edilmiştir (Gottesfeld ve Pokhrel, 2011, Pramila ve diğ., 2012).

‘‘Cd: kadmiyum; GHG: sera gazları; GW: gigawatt; KW: kilovat; LCA: yaşam döngüsü değerlendirmesi; Li: lityum; Ni-Cd: nikel-kadmiyum; Pb: kurşun; PV: fotovoltaik’’

Güneş enerjisi sistemlerinde, sistemin gereği olarak ya da istenmeyen bir şeklide çeşitli toksik kimyasallar kullanılmaktadır. Çalışanların söz konusu kimyasallara maruz kalma durumları soluma, yutma ve göze temas etmesi ile oluşmaktadır. Soluma, toz, duman veya buharların varlığı ile gerçekleşebilmektedir (Bakhiyi ve diğ., 2014).

‘‘Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC)’’ tarafından hazırlanan ilgili sektörde kullanılan toksik maddelerin insan sağlığına olan etkilerine yönelik çalışmasından alınan bilgiler Tablo 4.6’da sunulmuştur.

Tablo 4.6: PV sanayinde olan toksik maddeler ve etkileri (IARC, 2016)

KİMYASAL MADDE	KANSEROJEN TEHLİKESİ, SINIFLANDIRMASI VE BAŞLICA HEDEF ORGANLAR	KANSEROJEN OLMAYANLAR, BAZI HEDEF ORGAN VE DOKULAR	TEMEL KULLANIMLAR	POTANSİYEL MARUZ KALMA KAYNAKLARI OLARAK PV ENDÜSTRİYEL PROSES ÖRNEKLERİ
Alüminyum	Alüminyum üretimi sırasında mesleki maruziyetler. İnsanlar için kanserojen, Akciğer, mesane	Akciğer (Krewski ve diğ., 2007)	Metalizasyon kontağı Montaj çerçevesi için hammadde	x-Si ve a-Si üretimi ve geri dönüşümü Montaj çerçevesi üretimi ve geri dönüşümü
Arsenik ve galyum arsenit	Kanserojen;Akciğer , Deri , İdrar Kesesi	Deri, kan, sinirler (ATSDR, 2007)	Hammadde	GaAs panelleri ve kurşun asit üretimi ve geri dönüşümü
Arsenik		Kan, böbrek (CDC, 2013)	Katkı maddesi (Dopant)	PV hücre üretimi
Asbest	İnsanlar için kanserojen, Mezotel, akciğer, gırtlak, yumurtalık	Akciğer (WHO, 1998)	Yapı ve inşaat malzemeleri (çatı, cephe, borular)	Kısmen veya tamamen PV-bina entegre sisteminin kurulumundan önce bina bileşenlerinin yırtılması
Kadmiyum	İnsanlar için kanserojen, Akciğer	Akciğer, kemikler, böbrek (ATSDR, 2012)	Hammadde	Çinko, bakır ve kurşun eritme; CdTe, CIS/CIGS panel imalatı ve geri dönüşümü
Karbon tetraklorür	İnsanlar için muhtemelen kanserojen, Böbrek, karaciğer, meme (Deney hayvanlarında kanserler)	Merkezi sinir sistemi, karaciğer, akciğer (EPA, 2010)	Dağlama maddesi	x-Si panel imalatı

Devamı arkada

Tablo 4.6 Devamı. PV sanayinde olan toksik maddeler ve etkileri (IARC, 2016)

Bakır		Akciğer, böbrek, karaciğer (ATSDR, 2004)	Hammadde; PV hücreleri elektrik kontağı için bileşen; İnce film biriktirme maddesi	CdTe ve CIS/CIGS panoları imalatı ve geri dönüşümü
Kristalin silika	İnsanlar için kanserojen, Akciğer	Akciğer (Sellamuthu ve diğ., 2011)	Hammadde	Silika kumu madenciliği, x-Si ve a-Si üretimi ve geri dönüşümü (silis tozuna maruz kalma)
Krom (VI)	İnsanlar için kanserojen, Akciğer	Akciğer, deri (Assem ve Zhu, 2007)	Krom kaplı bileşenler için hammadde (vida, çerçeve, kaplama)	PV panel üretimi ve geri dönüşümü
Hidroflorik asit		Deri, gözler, akciğer (ATSDR, 2003)	Temizleme ve aşındırma maddesi	x-Si panel imalatı
İndiyum fosfit	Muhtemelen insanlar için kanserojen. Akciğer (Deney hayvanlarında kanser)	Deney hayvanlarında yan etkiler (Akciğer; üreme sistemi) (ECHA, 2010)	Hammadde	GaAs çok katmanlı PV hücre üretimi ve geri dönüşümü
Organik çözücüler	Benzen: İnsanlar için kanserojen. Kan Trikloroetilen: İnsanlar için kanserojen. Böbrek	Merkezi sinir sistemi, deri, böbrek, karaciğer, kan, gözler (SPP, 2002)	Temizleme ve özütleme maddesi	PV panelleri ve bileşenleri üretimi ve geri dönüşümü (potansiyel uçucu organik bileşiklere maruz kalma)
Polibromlu difenil eterler	İnsanlar için muhtemelen kanserojen. Karaciğer (Deney hayvanlarında kanser)	Deney hayvanlarında yan etkiler: Merkezi sinir sistemi, endokrin sistem (Buckenmeier ve diğ., 2010)	Entegre devreler için alev geciktirici	PV panel ve inverter imalatı ve geri dönüşümü

‘‘BOS: sistem dengesi; CdTe: kadmiyum tellür; BDT: bakır indiyum selenit; CIGS: bakır indiyum galyum selenit; GaAs: galyum arsenit; a-Si: amorf silisyum; x-Si: kristal silisyum’’
‘‘Alıntı: Baldwin ve Gerami (2011), EPRI (2003), Fthenakis (2013), Jungbluth ve ark. (2012), Miquel (2009), OSEIA (2006), Popovich ve diğ., (2013), Wild-Scholten ve Alsema (2004) ve Wild-Scholten ve diğ., (2009).’’
‘‘(IARC: Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı)’’

Kullanılan kimyasalların toksikolojik özellikleri ve çevreye etkisi, maruziyet süre ve sıklığı gibi etkenler, iş sağlığı ve güvenliği açısından tehlike ve risk durumlarının incelenme potansiyellerini belirlemektedir (Tablo 4.7). Fiziksel ve kimyasal risk etmenleri ayrıca işyerinin güvenlik riskleri olarak ele alınmaktadır.

Kimyasal riskler, çeşitli durumlara göre incelemeye alınmaktadır. Boğucu, tahriş edici, aşındırıcı, yanıcı, parlayıcı ve patlayıcı özellikte olmalarına göre ele alınmaktadırlar (Bakhiyi ve diğ., 2014).

Tablo 4.7: Toksik bileşiklerin Sağlık ve Çevreye Etkileri (Aman ve diğ., 2015).

Toksik Bileşikler	Amaç	Güvenlik, sağlık ve çevresel etki
Amonyak (NH_3)	Solar PV modülleri için yansıma önleyici kaplamalar üretmek.	Cilt tahrişi, göz tahrişi, boğaz sorunu, akciğer sorunları, ağız ve mide yanıkları.
Arsenik (As)	GaAs'ın ayrışmasından kaynaklanan GaAs güneş PV hücrelerinde kullanılır.	Kalp atışı sorunları, boğaz enfeksiyonu, akciğer kanseri, mide bulantısı, kusma, kan hücrelerinin azalması, ciltte koyulaşma, ciltte kırmızı nokta, karaciğer sorunu, el ve ayaklarda aşındırma.
Silikon (Si)	PV yarı iletken malzeme olarak kullanılır.	Kristalin Si solunum problemlerine, tahriş edici cilt ve gözlere, akciğer ve mukus problemlerine neden olur.
Kurşun (Pb)	Fotovoltaik elektrik bileşenlerini kablolamak için lehimlemek.	Sinir sistemine zarar verir, kemiklerde zayıflık, kansızlığa neden olabilir, yüksek düzeyde maruziyet hamilelerde düşükle sonuçlanır, beyin ve böbreklere zarar verir, yüksek kanserojen elementtir.
Nitrik asit (HNO_3)	Gofretleri ve reaktörleri temizlemek için katkı maddelerini çıkarmak.	Kimyasal yanıkların olası nedeni.
Kükürt heksaflorür (SF6)	PV üretiminde yarı iletkenleri aşındırmak ve reaktörleri temizlemek için kullanılır.	Bilinen en güçlü sera gazı.
Kadmiyum (Cd)	Cd, güneş enerjisini elektriğe dönüştürmek için yarı iletken olarak kadmiyum tellür bazlı güneş pillerinde kullanılır.	Cd tozu ve buharları oldukça zehirlidir ve kanserojen olarak kabul edilir. Ayrıca solunum sistemini, böbrekleri ve kan hücrelerini etkileyerek prostat, ishal, göğüs sıkışması ve akciğer kanserine neden olabilir.

Devamı arkada.

Tablo 4.7 Devamı. Toksik bileşiklerin Sağlık ve Çevreye Etkileri (Aman ve diğ., 2015).

Hidrojen (H_2)	Amorf-Si güneş pillerinin üretiminde kullanılır.	Son derece patlayıcı.
Altı Değerli Krom Cr(VI)	Vida, güneş şase kartı ve güneş ışınımını absorbe etmek için güneş panelinde kaplama malzemesi olarak kullanılır.	Cr kanserojen bir elementtir, kansere neden olur.
Polibromlu bifeniller (PBB'ler) ve bromlu difenileterler (PBDE'ler)	Devre kartlarında ve güneş paneli invertörlerinde kullanılır.	Toksik ve kanserojen olarak tanınırlar ve endokrin bozucular olarak tanımlanırlar.
Aseton	Bu çözücüler, mikroskobik kirleri ve talaşlardaki tozu temizlemek için kullanılır.	Göz ve burun tahrişi, boğaz enfeksiyonu, böbrek ve karaciğer sorunu, sinir hasarı, doğum kusurları, erkek üreme yeteneğinin azalması dahil cinsel sorunlar.
İzo-propanol	Güneş çiplerinden mikroskobik toz ve kiri temizlemek için kullanılır.	Kusma, Göz tahrişi, depresyon, dermatit, mide bulantısı, bilinç kaybı, solunum yetmezliği, ölüm veya koma.
Toulen		Baş ağrısı, işitme kaybı, kafa karışıklığı, hafıza kaybı, hamilelik sorunları, büyüme geriliği.
Ksilen		Cilt tahrişi, göz tahrişi, burun enfeksiyonu, boğaz ve solunum sorunları, hamilelik sorunları, karaciğer ve böbrek enfeksiyonu.
1,1,1-Trikloroetan		Baş dönmesi ve zihin kaybı, kan basıncının düşmesi, bilinç kaybı, kalp atışlarının durması.
Hidroklorik asit (HCl)	Elektrik sınıfı silikon, temiz ve aşındırıcı yarı iletkenler üretmek için	Cilt problemi, göz ve burun enfeksiyonu, solunum problemi, gıda sindirimi, ağız ve boğaz enfeksiyonu, solunum depresyonu.

Panel üretiminde kullanılan kimyasalların çeşitli olduğu görülmektedir. Kullanılan kurşunun haricinde, alternatif olarak önerilenlerin çoğu da toksik elementler içermektedir. Çevreye dağılım oranı farklılık gösterse de söz konusu elementler ciddi sağlık sorunlarını oluşturmaktadırlar.

Kurşun (Pb), Antik Roma döneminde yapılan kurşun borulardan, yıllardır insanların kullanımında olan benzinlerin içinde uzun süredir olmasına kadar çeşitli alanlarda varlığı nedeniyle çevremizde çokça bulunmaktadır. Uzun yıllar öncesine dayanan kurşun kullanımından ötürü, akut ve kronik zehirlenmelerinin varlığı kanıtlanmakta ve belgelenmektedir. Yutma, soluma ve deri yolu ile vücuda giriş yapan kurşun, ana hedef olarak merkezi sinir sistemini görmektedir. Kronik kurşun zehirlenmesi, nörolojik bozukluklara yol açmaktadır. Ayrıca, göz, kalp ve böbrek vb. organlara da olumsuz etkileri bilinmektedir (Schileo ve Grancini, 2020).

Kurşun ve kadmiyum gibi tehlikeli maddelerin uygun koşullar altında bertaraf edilmemesi ciddi sorunları beraberinde getirme potansiyeli taşımaktadır. Panellerden gerçekleşebilecek potansiyel sızmalar neticesinde çevre ve sağlık risklerini beraberinde getirebilecektir. Kurşunun bulunduğu alan ve çevresinde etkilenmeler görülüp, ekosistemler doğal çeşitliliğinden olabilecektir. Bitki ve hayvanlarda büyüme ve üreme geriliği yaşanabilecektir.

Kadmiyum, canlı organizmalarda birikebilmektedir. 10 yıla kadar yükümlülük süresine sahip olan kadmiyum, kanser, dokularda değişiklik ve benzer olumsuz durumlara neden olmaktadır (Paiano, 2015).
Kalayın (Sn) insan vücudu üzerine olumsuz etkileri bulunmaktadır. Nörolojik ve kanserojen etkileri halen incelenirken, toksisitesi kanıtlanmıştır. Germanyum (Ge) ise, daha düşük toksiklik durumuna sahiptir. Fakat germanyum tetrahidrit için aynı durum geçerli olmamaktadır. Ge bileşikleri, mutajenik ya da kanserojen değillerdir. Bizmut (Bi) için toksikolojik bilgi kısıtlı kalmaktadır. Kronik olarak alımlarında böbrek sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. İndiyum (In) için yapılan çalışmalar, insanlarda muhtemel kanser oluşumu yönünde olmaktadır. Antimon (Sb), volkanik hareketler ve orman yangınları gibi doğal yollardan da oluşması sebebiyle doğada düşük seviyelerde bulunmaktadır. Üretiminde, çalışanlar için mesleki maruziyetin önemi bulunmaktadır. Pnömokonyoz, bronşit, amfizen gibi hastalıklara neden olma potansiyeli taşımaktadır (Schileo ve Grancini, 2020).

İş Sağlığı ve Güvenliği politikası, toksikolojik olan maddeleri daha az toksit ya da daha fazla toksik olarak ele almamaktadır. Çalışanların maruz kalmaması için hangi önlemlerin alınması gerektiği ile ilgilenmektedir. İş güvenliği profesyonelleri

için toksik maddeye maruz kalındıktan sonra yapılacaklar değil, maruz kalmamak için nasıl önlemler alınacağı ilgi odağı olmaktadır.

4.1.1 Güneş Enerjisi Panellerinin Olumsuz Çevresel Etkileri



Şekil 4.1: Örnek Güneş Enerjisi Santrali (Herkesebilimteknoloji, 2018)

Panellerin üretiminde birçok kimyasal olduğu ve bunların kansere yol açan ağır metaller içerdiği bilinmektedir. Gelişmekte olan dünya hızla büyümekte, ilerleyen teknolojinin büyük avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Güneş enerjisi panelleri, temiz ve çevreci olmalarına rağmen, üretim sürecinden dolayı içerdikleri toksik maddelerin varlığı bilinmekte ve artık bilinçli tüketici toplum tarafından, sağlığa zararsız olanlarla değiştirilmesi gerektiği talebini gün yüzüne çıkarmaktadır (Şekil 4.1). Bitki ve hayvanların yaşamını sonlandıran, insan sağlığını tehdit edip bozan kimyasallar panellerin içinde bulunmaktadır. Bu kimyasallar, kristal silikonun içindeki silikon tetra klorürdür. İnsanlar ve doğal yaşam için tehdit oluşturan bu duruma önlem amaçlı yeterli bir evrensel yasal düzenleme bulunmamaktadır. Güneş panellerinin çoğunlukla üretildiği ülke Çin'dir. Ülkede üretimin yapıldığı bölgelerde, zehirli kimyasalların toprağı ve havayı kirleterek doğal dengeyi bozduğu ayrıca insan sağlığı için tehdit oluşturduğu üzerine araştırmalar ve bulgular mevcuttur. Kadmiyum telürid ve kurşun bulunan paneller ise

kanser etkisinin yanında böbrek ve kemiklere zarar verdiği bilinmektedir. Buradaki sorun, eskiyen, kırılan, çatlayan, bakım onarım çalışmalarında oluşan aksilikler ya da ömrünü tamamlayan panellerin yaratacağı çevre ve insan etkileri olmaktadır. Yaşanabilecek kaza ve yangın gibi olumsuz durumlar, ağır metallerin toprağa ve suya karışarak besinlere ulaşabileceğini göstermektedir (Unistuttgart, 2014).

Kırılan ya da çatlayan panellerin, kar, kuvvetli dolu veya yağmur ile yıkanıp toprağa kimyasalları taşıyor olması yavaş yavaş büyüyerek oluşan bir sorun doğurmaktadır. Bunun yanı sıra ömrünü tamamlayan panellerin, e-atık olarak değerlendirilmeyip, özellikle kurşun ve kadmiyumun, geri dönüşüme kazandırılmadığı ve çöpe atıldığı ülkelerde, ilerleyen yıllar için sorun yaratacağı öngörülmektedir.

2018 yılında tüm dünyada yaklaşık 3700 km^2 alanı kapladığı öngörülen güneş panellerinin, günümüzde yaklaşık 4800 km^2'lik bir alana yayıldığı panel boyutları ve kurulu güç hesaplamalarından öngörülmektedir. Yayılımdaki artış elektrik üretimine yönelik politik tutum ve teknik olarak başarılı bir gelişim sonucu olmaktadır. Panellerde bulunan cam ve alüminyumun çevre açısından diğer kimyasallara göre çok tehdit oluşturmamaktadır. Doğa ve özellikle insan sağlığı için tehdit oluşturan kimyasallar ise, kurşun, bakır, galyum, arsenit, kadmiyum tellürid, kadmiyum sülfid, polyvinül florür, kristal silikonun içindeki silikon tetraklorür, selenyum olarak sayılabilmektedir. Güneş hücreleri, krsital silisyum veya çok ince film kadmiyum tellürid ya da kadmiyum sülfid tabakalardan imal edilmektedir. Panel üretimine katkı sağlamak ve teknolojisini geliştirmek maksatlı çalışan bilim insanları, saf kadmiyumun böbrek ve kemiklere zararlı olduğunu, kansere yol açtığını bilmektedirler (Herkesebilimteknoloji, 2018).

Bu yüzden bilim insanları laboratuvarlarda çalışmalar yaparken zararlı ağır metallerden korunma maksatlı özel koruyucu elbiseler giymektedirler. En az 15 mil lateks eldiven, toz maskesi ve gözlük ile korunma tedbirleri daha da arttırılmaktadır. Bu sayede hem laboratuvarda çalışan ekip hem de üretim kısmında iş gören insanlar kimyasallara daha az maruz kalmış olmaktadır. Bu durum ileride, bahsi geçen olumsuzlukların yaşanması halinde hem bu sektörde çalışanların hem de diğer insanların ve doğanın olumsuz etkilenmesinin kaçınılmaz olduğunu göstermektedir.

Dolayısıyla, İş Sağlığı ve Güvenliğini direkt ilgilendiren bir durum ortaya çıkmaktadır (Nature, 2016).

Güneş hücrelerinin çok büyük bir kısmı, silikon yapıda olmaktadır. %90'lık bir orana sahip olan silikon yapıdaki paneller, doğal kum ve kuvarstan elde edilen silikon ile yapılmaktadır. Bu işlem, çok yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Eritme, temizleme ve oksijenden arındırılarak %99,6 oranında saflık kazandırılmaktadır. İşlemin yüksek enerji kullanılarak yapılması gerekmektedir. Saflık oranın yeterli hale gelmesi için başka ilave bir kimyasal işlem yapılarak, daha fazla saflığa ulaştırılmaktadır.

%90 oranındaki silikona karşın, %3'lük bir oranla zehirli kadmiyum telürid maddesi içeren güneş panelleri bulunmaktadır. Bu panellerin üretimi daha ucuz olmaktadır. Ancak kadmiyumun fazla zehirli olmasından dolayı üretim sırasında, çalışan insanlar koruyucu iş elbiseleri ile çalışabilmektedirler. Çalışmalar sonucu çok ince tabakalı güneş hücrelerinin ucuz ve zehirli olmayan magnezyum klorür ile üretilebileceği savunulmaktadır. Magnezyum klorürün, kadmiyuma oranla ucuz ve daha kolay üretilecek olması da tercih sebebi olmasını sağlamaktadır (Bakhiyi ve diğ., 2014).

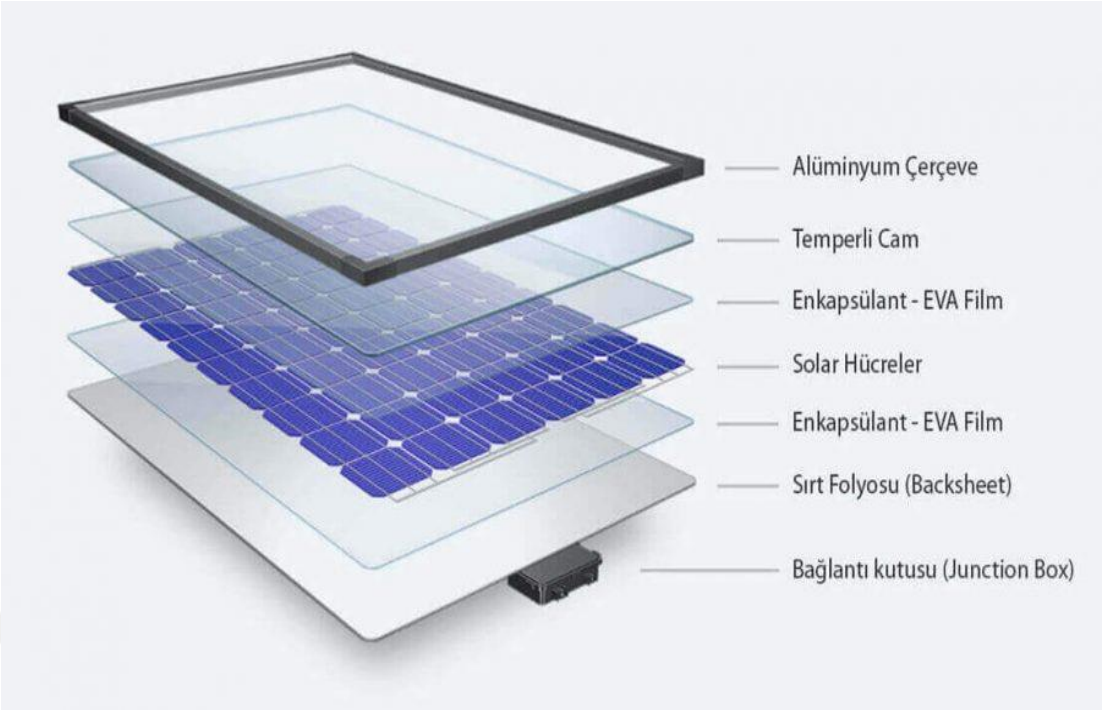
2016 yılı verilerinde panellerde yaklaşık 11.000 ton bulunan kurşun, güneş hücrelerini birbirine bağlamakta, aynı zamanda panel kenarlarını birbirine tutturmak için yapılan lehimde bulunmaktadır. Aynı yılın verilerinde kadmiyum tellürid ise 800 ton bulunmakta ve çok ince tabakalı hücrelerde kullanılmaktadır. Kurşun ve kadmiyum, tüm dünyada mevcut bulunan panellerin içinde azımsanmayacak kadar mevcuttur. Bu kimyasalların ileride toprağa ve suya karışmaması önem arz etmektedir. Sadece panellerin, lehimleme işleminde kullanılan kurşundan arındırılması ile, panellerde bulunan kurşunun %97 oranında azalması öngörülmektedir. 2006 yılından itibaren AB yasalarına göre kurşunun elektronik aletlerde kullanılması yasaklanmıştır. Buna rağmen güneş hücrelerinde böyle bir kısıtlamaya gidilmemiştir. Cam levha ve ince folye ile korumalı olan paneller, olağan çalışma durumlarında söz konusu kimyasalları sızdırması beklenmemektedir. Dış etkiler, eskime, fazla yağış ve dolu, yangın vb. etkenlerin yaratacağı durumlar ile bozulan panellerin yaratabileceği olumsuzluklar için ne kadar önce önlem alınırsa o kadar iyi olacağı savunulmaktadır. Az gelişmiş ülkelerin elektronik atıkları

ayrıştırmaması ve panellere yönelik teknik işlemler yapmaması, kullanım ömürleri sona eren ve özellikle çevreci panel üretimi yapmayan ülkelerin imal ettiği ürünlerin, doğaya ve insanlara ağır etkiler bırakması konusunda endişe duyulmaktadır (Unistuttgart, 2014).

Doğada en bol bulunan, temiz, sürdürülebilir yenilenebilir enerji güneş enerjisidir. Şu an daha yaygın olarak kullanılan fotovoltaik panellerden enerji elde etmek maliyetli ve genellikle fosil yakıtlardan elde edilen enerjiye göre halen bu maliyet yüksek kalmaktadır. Maliyetleri düşürmek ve verimi arttırmak maksadıyla, PV sistemlerin farklılaştırılması gerekmektedir. Son yıllarda bu amaçla yapılan çalışmalar sonucunda perovskit güneş pilleri (PSC) bulunmuş ve peroskşit piller ile sektör tekrar hareketlenmiştir.(Ju ve diğ., 2018).

Perovskit güneş panelleri, etkin bir yaşam döngüsü ve yönetimi ile mevcut olan kurşun miktarını azaltabilecektir. Fakat bu durum nihai çözüm olmamakla birlikte, mevcut kurşunu ortadan kaldırmadan zafere ulaşılamayacağı açık görünmektedir. Amerika, İş Sağlığı ve Güvenliği için oluşturduğu Standartlarda (OSHA) kurşunun çok tehlikeli olduğunu ve yasal maruz kalma sınırını <0,05 mg/L olarak belirlemektedir. Ayrıca ilave önlemler ile insan sağlığı için maruziyetlerin düşürülmesi gerektiğini ve göz, burun, boğaz etkileşimini azaltmak amaçlı ek önlemlerin gerektiğini belirtmektedir. Böylece kurşun bazlı perovskit panellerin üretim maliyetleri artış göstermektedir (Ju ve diğ., 2018).

Silikon hücrelerin kalınlığı 150 ila 300 mikron olmaktadır. Kırılgan ve ince yapıya sahip olan hücrelerin çevresinde koruyucu katman bulunmaktadır. Alüminyumdan yapılmış çerçeve, cam, EVA filmler ve arasında solar hücreler, sırt folyosu ve bağlantı kutusu yapı elemanları olmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Güneş Panelinin İçeriği (Antalyaenerji, 2021)

4.2 Üretimin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi

Güneş panellerin kimyasal etkilerinin yanında İş Sağlığı ve Güvenliği açısından bakım ve hatta ilerde söküm esnasında yaşanabilecek fiziksel riskleri bulunmaktadır. Temek riskler, Tablo 4.8'de sunulduğu gibi, elektrik, yüksekten düşme, trafik, ergonomik ve yanma riskleri olmaktadır. Yanma riskinin en büyük nedeni elektrik kaynaklı olmaktadır. Burada alınması gereken önlemleri tespit edebilmek için kök neden analizi yapılması gerekmektedir (Mcs, 2012, Bakhiyi ve diğ., 2014).

Tablo 4.8: PV sistemlerdeki temek fiziksel riskler ve kök nedenleri (Bakhiyi ve diğ., 2014)

FİZİKSEL RİSK	SPESİFİK NEDENLERİ	KÖK NEDENLER
Yükseklerden düşmek	Yüksekte, yokuşta, iskeleden çalışma; tırmanma merdivenleri.	*Aşırı hava (örn. buz, yoğun kar, kuvvetli rüzgarlar). *Eğim açıları>15°.
Düşen nesneler	*İşçilerin ağırlığı altında çöken yüzeyler (PV paneller, çatı, yapısal bileşenler, vb.). *Kullanışsız ekipman (örneğin kulplar, koşum takımları).	*Düşük kalite/uygunluk veya kusurlu ekipman. *Düşük vasıflı işçiler ve zayıf koordinasyon. *Ekipman için depolama eksikliği.
Elektrik şoku	Doğru akım (DC) arkı.	Yüksek voltajlı şebekeye yakın çalışma.
Elektrik yanıkları	AC ve DC devrelerinde elektrik işleri (PV panel seri bağlantısı, pil ve/veya güç şebekesi bağlantısı).	*Yıkılmış havai elektrik hatları. *Düşük kaliteli PV cihazları ve arızalı kapatma sistemleri. *Uygun olmayan elektrik tesisatı (örn. elektrik devresinin aşırı ısınması) *DC devre deneyimi eksikliği. *Kötü hava koşulları (ısı ve nem, yıldırım vb.).
Trafik kazası	Ağır kamyon trafiği (yükleme vinci, teleskopik forkliftler vb.).	*Şantiyede trafik işaretleri ve plan eksikliği. *İşçi eğitimi eksikliği.
Ergonomik riskler	Panellerin kurulumu sırasında (örneğin, ağır yüklerin taşınması ve taşınması) garip vücut duruşları ve tekrarlayan hareketler.	*Uygun olmayan çalışma yöntemleri.
Yaralar	PV panellerin taşınması (keskin kenarlar, parçalar).	*Koruyucu giysi eksikliği (örneğin eldivenler, uzun kollu gömlekler). *İşçi eğitimi eksikliği.
Termal yanıklar	PV panellerden aşırı ısı.	*Koruyucu ayakkabılar olmadan PV panellerinde yürümek. *Aşırı sıcak.
Yangın	*DC akım arkı. *Aşırı yüklenmiş devre.	*Bina standartlarına uyulmaması. *Uygun olmayan elektrik tesisatı (örn. elektrik devresinin aşırı ısınması).

4.3 Söküm

Tehlikeli bir atık kaynağı potansiyeline sahip, ömrünü tamamlamış güneş panelleri ortalama 25 yıllık ömürleri ile günümüzde yaklaşık %4 ila %14 arasında olduğu öngörülmektedir. 2050 yılına kadar 4500 GW kurulu güce ulaşması beklenen panellerin dünyada hızla artması ile yaklaşık 78 milyon ton olması beklenmektedir. Bu yüzden PV panellerin ömrünü tamamladıktan sonra bertaraf edilmesi önümüzdeki on yıllar için önemli bir çevre sorunu olmaktadır. Ömrünü tamamlamış panellerin geri dönüşümü ve kazanımı için ‘‘AB Elektrik ve Elektronik Ekipman Atıkları Direktifi (WEEE)’’ Avrupa’da bulunan böyle panellerin toplanarak geri kazanılması amacıyla finans yaratma çalışmaları yapmaktadır (Chowdhury ve diğ., 2020).

Kullanım ömrü dolan güneş panellerinin, tehlikeli bir atık olacağı ve geri kazanılmadığı takdirde çevreye zararının olacağı belirtilmektedir. Panel üretiminin yaklaşık ilk 25 yılında, kimyasalların bilinmesine rağmen dünya için tehlike yaratacağı konusunda bu kadar endişe duyulmamaktaydı. Artan bilinç seviyesi ile panellerin var olması gerektiği fakat bu şekilde değil daha sağlıklı malzemeler ile üretilmesi gerektiği bilinci yerleşmektedir. Bu nedenle panel üretimi için değerli kaynakların kullanımı, üretimi ve geri dönüşümü/kazanımı altyapısal olarak iyi planlanarak hayatımıza entegre edilmektedir. PV üreticilerinin sürdürülebilirlikleri için, yeni ve sağlık içeren teknolojiler ile üretim yapması, ardından geri kazanımı sağlaması ve bu işlemleri düşük maliyette yerine getirmesi kaçınılmaz olmaktadır (Chowdhury ve diğ., 2020).

Güneş panellerinin dünyada hızla yayılması ile oluşabilecek olumsuz durumların önüne geçme ve panellerdeki geri kazanımı yaygınlaştırmak için, Avrupa Birliği atılımlar yapmaktadır. Bu kapsamda, ‘‘AB Elektrik ve Elektronik Ekipman Atıkları Direktifi (WEEE)’’ ile çalışmalar hızlandırılmakta ve PV atıkları bu direktife dahil edilmektedir. Direktif ile öz tüketim amaçlı ya da endüstriyel amaçlı kullanılan her panel kabul edilmektedir. Avrupa’da bu atıkların ihracatı yapılamamaktadır. İhracatın olmaması ise geri kazanım/dönüşüm için önemli bir teşvik olarak görülmektedir. Böylece ekonomik ve çevresel olumlu sonuçlar oluşmaktadır.

Solar PV panellerin, zaman içerisinde verim düşümü yaşayacakları bilinmektedir. Yaklaşık 25 sene ömrü olan paneller dış etkenler ve zamanın etkisi ile verimlerindeki düşüşü yerine yeni teknolojiler ile üretilmiş panellere bırakmaktadırlar. ‘‘Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)’’ verilerine göre 2017 yılına kadar dünyada yaklaşık 250.000 metrik ton panel atığının var olduğunu tahmin etmektedirler. Güneş panellerini üretimi, esnasında kullanılan kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve diğer zararlı kimyasalların, panellerin yaşam döngüsüne dahil edilmek istendiğinde çevreye vereceği zararı azaltmak için ülkelerin atılıma geçmesi gerekmektedir. Japonya, 2040 yılına kadar panel atıklarının günümüze oranla 80 kat artmasından endişe duyduğunu ve yaklaşık 800.000 tona çıkmasının beklendiğini, buna rağmen mevcutta, panellerin güvenli bir şekilde geri dönüşüme kazandırılması için yeterli atılımlarının olmadığını ifade etmektedir. Güneş enerjisi santralleri bakımından oldukça fazla tesise sahip olan Çin ise, ABD’ye göre günümüzde 2 kat güneş enerjisi sektöründe etkin olmasına rağmen, panellerin çevreye zararını engellemek adına atılımları bulunmamaktadır. Çevre bilinci olan ülkeler dahi şu an için yeterli atılım göstermemektedirler. Kullanım ömrü dolan panellerin geri dönüşüme kazandırılması konusunda daha etkin sayılabilecek atılımları olan Avrupa, zamanı gelen panellerin toplatılmasında üretici firmalar ile iş birliği yapmanın etkin olabileceğini bildirmektedir. Bu sayede hem üreticiler geri kazanım ile üretimleri için gerekli hammaddenin bir kısmını elde etmiş olacaklar hem de ömrü biten panellerin gelişi güzel atılmaması sonucunda toprak ve su kirlenmemiş olacaktır (Chowdhury ve diğ., 2020).

4.4 Geri Dönüşüm Süreci

Güneş enerjisi panellerinin geri dönüşüm sürecinin araştırılması ve geliştirilmesi sürecinde daha çok silisyum (Si) paneller üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Mevcut PV panellerin geri dönüşümü için farklı yollar izlenmektedir. Fiziksel, kimyasal ve termal yollar ile geri kazanım/dönüşüm yapılmaktadır (Chowdhury ve diğ., 2020).

Fiziksel ayrılık sürecinde, alüminyum çerçeve, bağlantı kutuları ve kablolar yerlerinden çıkarılmakta ve sökülmektedir. Paneldeki her parçanın toksisitesi,

hesaplanmak için sökülmekte ve geri dönüşüm/kazanım sürecine katkısı için incelenmektedir. İncelenen her bileşen parçalanarak ve ezilerek bir işlemden geçmektedir. Çerçevenin ise, metalürjik işlem ile geri kazanımı sağlanabilmektedir. EVA'nın çözünmesi uzun süre almaktadır. Organik çözücüler ile çözünme sürecini hızlandırmak için ultrason kullanılabilmektedir. Bu işlemler organik erimiş atıklar üremektedir. Bu atıkların işlenmesi oldukça zor ve büyük miktarda olmaktadır. Kimyasal ve termal yollar uygulamak ileri bir teknoloji uygulamaktır. Fakat bu işlem sonucunda toksik gazlar açığa çıkmaktadır. Aynı zamanda yüksek miktarda enerji tüketme durumu da dezavantajları olarak ortaya çıkmaktadır (Chowdhury ve diğ., 2020).

4.5 Geri Dönüşüm Yaklaşımları

Panellerin geri dönüşümünün sağlanması ile alüminyum çerçeve, gümüş ızgara, kalay, bakır tellerin yeniden işlenerek geri dönüşümü mümkün olmaktadır. Camı oluşturan bileşenlerden kullanılabilir ürün kazanımı da oluşmaktadır. Kristal silikon, galyum, germanyum, indiyum ve tellür gibi metaller 3 nesil paneller için de geri dönüştürülerek avantajlı bir şekilde kullanılabilir olmaktadır. Kadmiyum ve kurşun gibi toksik metallerin ağırlıkça %1'den az olması avantaj gibi algılansa da panellerde kullanılan karışık plastiklerin geri dönüştürülmesi zor olduğundan ekonomik avantaj sınırlanmaktadır. Bahsi geçen ağır metallerin, geri dönüşüm/kazanım süreçlerinden sonraki kalan kalıntıları nedeniyle tehlikeli atık olarak depolanmakta ve bu sınıfta değerlendirmeye alınmaktadır. Şu an için daha çok panellerin ömürlerinin uzatılması ve verimlerinin arttırılması üzerine yapılan çalışmalar, atık ve ömrünü tamamlamış panellerin değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar yanında çok daha fazla olmaktadır (Şekil 4.3). Mevcutta, güneş paneli geri dönüşüm tesislerinin sayısı, ilerleyen doğa kirliliği açısından düşündürücü boyuta gelmektedir (Xu ve diğ., 2018).

''AB Elektrik ve Elektronik Ekipman Atıkları Direktifi (WEEE)'' çalışmaları kapsamında Birleşik Krallık ve Almanya sırasıyla WEEE direktifini benimseyen iki ülke olmuştur. PV panellerde kullanılan malzemelerin geri kazanılması ile ilgili yapılan çalışmalarda, bazı standart uygulamalar yerini almaktadır. Güneş

panellerinin tüm malzeme üreticileri, panel üreticileri ve ithal eden firmalar, ürün ayrıntılı bilgi şemalarını bulundurmak ve bu kapsamda bilgi ağına kaydolarak her ayrıntının kolay ulaşılmasına destek sağlamak durumunda olmaktadırlar. WEEE direktifi kapsamında AB ile Çek Cumhuriyeti de ömrünü tamamlamış panellerin geri dönüşüm ve kazanımı için bir girişim yapmışlardır. İtalya, 2014 tarihli anlaşması ile WEEE direktifini uygulayan yasayı yayımlamıştır. Bu yasa ile, geri kazanım ve geri dönüşüm için panellerin sırasıyla %65 ve %75 başarıya ulaşılması hedefi konmuştur. Kuzey Kore, Hindistan ve Tayland gibi ülkeler şu an için PV panellerin geri dönüşümüne yönelik önemli bir atılıma girişmemişlerdir. Panel üretiminde çok büyük paya sahip olan Çin, halen, üretiminin çevreye verebileceği zararı azaltıcı yeterli politik önlem paketine ve çevreci yaklaşıma odaklanmamaktadır. Avustralya, PV panellerin geri dönüşümü ile ilgili, çevreci yaklaşım sergilemekte ve yasalar yayımlamaktadır. Atıklarla ilgili sözleşme düzenleyen ülke, hedefler ile programı uygulamada tutmaya çalışmaktadır (Chowdhury ve diğ., 2020).



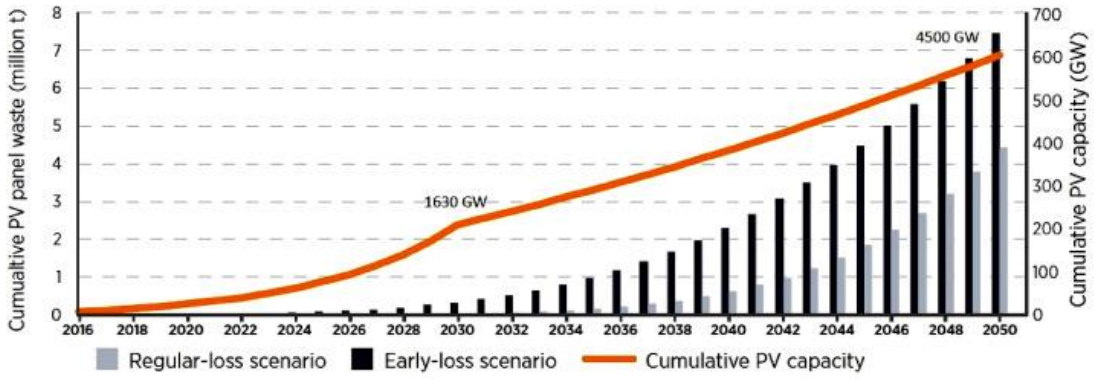
Şekil 4.3: Güneş Panellerinin Atıklarına Bir Örnek (Elektrikport, 2021)

Tüm atıklarda olduğu gibi elektronik atıklarda da üreticilerinin bu ürünleri geri kazanmak için yaptığı atılımlar ile yönetilmesi gerektiği, yasalar ve direktifler ile kabul görmektedir. PV panel üreticilerinin, ömrünü tamamlamış panellerden sorumlu tutulması sürdürülebilir bir yönetim anlayışı için teşvik olarak

görülmektedir. Bu anlayışı ilerletici bir başka düşünce ise üreticilerin çevreye duyarlı ve daha az zararlı hatta çevre dostu olan ürünler üretmesi olmaktadır. Böylece hem kaynaklar korunmuş hem de doğa ve insanlar için uygun adım atılmış olmaktadır. Bahsi geçen süreçlerin daha sağlıklı ilerleyebilmesi, geniş ve yetkin bir lojistik ağının kurulması ile hayata geçebilmektedir. Lojistik ağının etkin olması ile geri dönüşüm/kazanım sürecinin toplama ağı firesiz işleyebilmektedir (Chowdhury ve diğ., 2020).

4.5.1 Sosyal ve Çevresel Avantajlar

Mevcut güneş panellerinin atık olarak değerlendirilmesi işlemi, şu an ki teknolojiden daha ileri gidilmediği takdirde, ekonomik açıdan avantajlı görülmemektedir. 2050 yılına kadar panellerin atıkları toplanıp aynı işlemler uygulanırsa büyük bir sorun olacağı tahmin edilmektedir. Geri dönüşüm/kazanım için gereken strateji ülkeler bazında ele alınmakta olup, tüm dünyadaki tahmin edilen atık ağırlığının Şekil 4.4'de gösterilen gibi oluşması durumunda, tehlikenin boyutu daha iyi anlaşılmaktadır. Şu an ki literatür bilgilerine göre önümüzdeki birkaç yılda kurulan panellerin çoğunluğu kristal silikon olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle, ömrünü tamamlamış paneller için yapılacak işlemlerin hızlandırılması ve 2040 yılından önce tüm proseslerin oluşturulması gerekmektedir. Ömrünü tamamlamış panellerin ve içerdiği kimyasalların geri kazanımı ile yeniden üretime geçmesi, atık panel sayısını önemli ölçüde azaltacağı, doğaya ve insana olumlu sonuçlarla geri döneceği düşünülmektedir (Chowdhury ve diğ., 2020).



Şekil 4.4: Küresel olarak tahmini PV modülü atığı (ton) 2016–2050 (Chowdhury ve diğ., 2020).

4.6 Söküm ve Geri Kazanımda İş Güvenliği

PV üretim kapasitesindeki hızlı artış ve teknolojik atılımları, sektörün halen ilerleyen ve gelişen bir postür sergilediğini göstermektedir. İlerleyişini, çevre üzerindeki etkisini olumlu yönde çevirerek devam etmesi için 2040 yılına kadar etkin ve kararlı bir mekanizma kurulması gerekmektedir. Ömrünü tamamlamış, kullanılmayan panellerin geri dönüşüm/kazanım prosesleri hızla gelişim göstermeye ihtiyaç duymaktadır. Mevcut PV panel geri dönüşüm/kazanım teknikleri, ilerleyen yıllardaki durum için yeterli olup olmayacağı ile ilgili net bir cevap sunamamaktadır. Şu an hali hazırda olan düşünce ve hayata geçen tesis sayısı karşılaştırıldığında farklı politikalara da ihtiyaç duyulması kaçınılmaz görünmektedir. Özellikle, üretimin büyük çoğunluğunu elinde tutan Çin'de bile panellerin geri dönüşümü üzerine yeterli mevzuat bulunmamaktadır. Asya ülkelerinin, doğa dostu yasal düzenlemeler ile panellerin kullanıcılar tarafından elden çıkarılması ve tekrar kazanımına yönelik teşvik ve yasal düzenlemeler yapması gerekmektedir. PV panel üreticilerinin, panelleri geri toplayarak içeriğindeki malzemelerden tekrar yararlanması adına, sorumlu tutulması gerekmektedir. Üreticilerin birlik olarak sağlayacakları lojistik ağ ile hem paneller kolay ve eksiksiz toplanabilecek hem de tüm üreticiler doğaya ve insana olan üretim kaynaklı sorumluluğunu yerine getirmiş olacaktır. Ayrıca, bu durum üreticiler için ticari bir ek gelir sağlayacaktır. Sektörel bilgilerinin en üst düzeyde olduğu bilinen üreticilerin, geri dönüşüm/kazanım ve imha işini de üstlenmesi, ömrünü tamamlamış panellerden en iyi şekilde yararlanılmasının önünü açmaktadır. Bahsi geçen durumların sağlanabilmesi adına, devletlerin bir an önce atılımlara geçerek teşvik ve yaptırımlar ile geri dönüşümün hayata geçirilmesi, iş sağlığı ve güvenliği önlemlerini aksatmadan yürütülecek prosesler ile çalışılması, insan ve doğa için kaçınılmaz olmaktadır. Tüm enerji sektörü genelinde yapılacak çalışmalar, açığa çıkan tehlikeli her türlü atığın yönetilmesi ilkesine uygun olduğu takdirde, genel bir kültür oluşmuş olacaktır. Bu kültüre iş güvenliğinin dahil edilmesi ile hem çalışanlar hem doğa hem de tüm insanlık zaman içerisinde kendi kendine işleyen bir mekanizma vasıtasıyla hayatlarını daha sağlıklı sürdürebileceklerdir (Chowdhury ve diğ., 2020).

Güneş panelleri, temiz enerji olarak bilinmesine rağmen fayda sağladığı zamanları sona erdiğinde tehlikeli bir atık olma potansiyeli taşımaktadır. Küresel

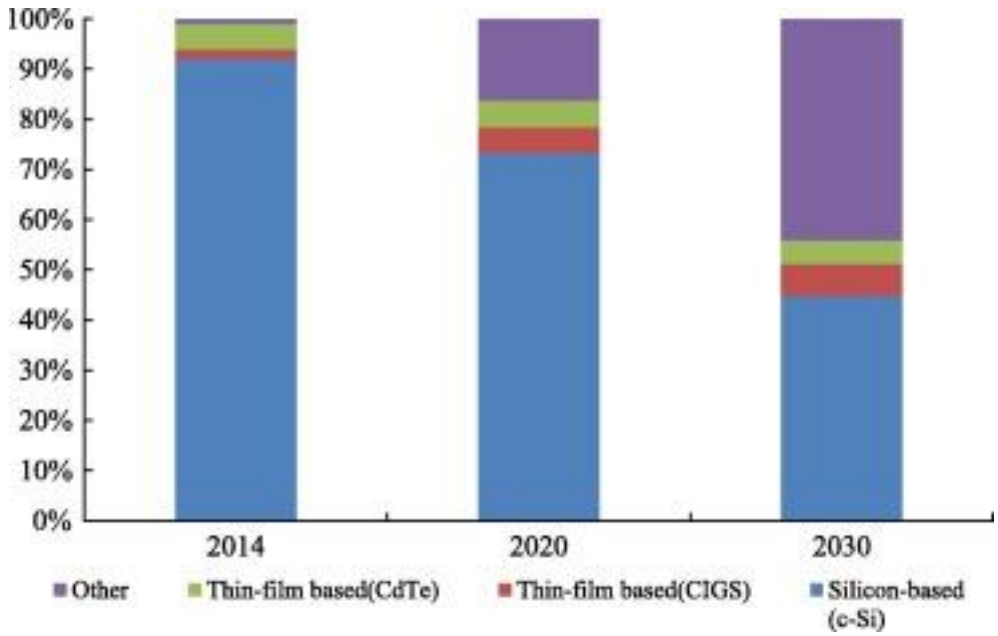
enerji ihtiyacına destek olma maksatlı üretime geçildiği ilk zamanlarda bu tehlikesi insanlar için endişe kaynağı yaratmamaktaydı. Fakat ilk üretiminin üstünden geçen gereken zaman ile artık atık olarak karşımıza çıkmaya ve çevre sorunu olmaya başlamıştır (Aman ve diğ., 2015). Panel üretiminde kullanılan kimyasalların zararı, elde edilmesi için gereken enerji ve doğaya etkisinden ötürü, panellerin geri dönüşümü önem arz etmektedir. Panellerde bulunan silikonu üretmek için fazla enerji kullanılmaktadır. Panellerdeki silikonun geri kazanılması için gereken enerji ve maliyet, üretimi için gerekenin üçte biri kadar olmaktadır (Choi ve Fthenakis, 2010). Silikonun yanında, panellerde kurşun, kadmiyum ve kalay da kullanılmaktadır. Bu ağır metallerde, insan sağlığı için tehlike oluşturmaktadır. Panellerin geri dönüşümü/kazanımı uygun ve etkin düzenlemeler ile gerçekleştiği takdirde hem enerji tasarrufu hem de insan sağlığı ve çevre için olumlu bir durum oluşturacaktır (Cucchiella ve diğ., 2015, Xu ve diğ., 2018).

‘‘AB Elektrik ve Elektronik Ekipman Atıkları Direktifi (WEEE)’’ ve diğer elektronik atık yönetimi ile ilgili yasal düzenlemelerde, sadece ömrünü tamamlamış panellere yönelik bir uygulama olmadığı görülmektedir. Herhangi bir nedenle hasar görmüş ve eskimiş panellerin de geri dönüşüme dahil edilmesi gerektiğinin vurgusu yapılmaktadır. Garanti sürelerinin bitmiş olması, üreticilerin geri dönüşüme olan tavrını etkilememektedir. Buna ilave olarak, Avrupa’daki panel üreticilerine malzeme tedarik eden tüm firmalar, geri dönüşüm fonuna katkı sağlamakla mükellef olmaktadır. Ayrıca, kuruluma giderken ya da kurulum sırasında arızalanan panellerin, bertaraf edilmek üzere toplanması yasal mecburiyetten yapılmaktadır. Maliyet hesapları yüzünden, üretimin daha mantıklı olduğunu düşünen ülkelerin sayısının bir an önce azaltılması ve panel döngülerinin yaygın bir şekilde yapılması doğa ve insanlar için önemini korumaktadır.

Üç nesil olarak sınıflandırılan güneş panelleri, üretimde kullanılan kimyasallar, üretim şekli ve teknolojilerine göre ayrılmaktadır. İlki kristal silikon, diğeri ince film ve sonuncusu yoğunlaştırıcı fotovoltaikler olarak bilinmektedir. Kristal silikon paneller, ince filmden daha ticarileşmiş durumdadır. Bunun nedeni ise, daha yüksek dönüşüm verimliliği ile tercih ediliyor olmasından kaynaklanmaktadır. Kristal silikon paneller, on yıl öncesine kadar güneş enerjisi panel pazarının yaklaşık %90’lık bir kısmını kaplamaktaydı. Teknolojik gelişmeler

ve verim avantajları ile diğer nesil panellerin bu oranı büyük ölçüde değiştirmesi beklenmektedir. Hangi nesil panelin yoğunluğu önde olursa olsun bilinen tek gerçek, üretimde çalışan iş görenlerin sağlıklarının, üreticilerin ticari kaygılarının ardına düşmemesi gerektiği ve sağlıklı çalışma ortamlarında iş kazası ve meslek hastalıklarından korunur bir şekilde çalışma ortamı yaratılması gerektiğidir (Xu ve diğ., 2018).

Yıpranmış, kırık ya da çatlak oluşmuş ve ömrünü tamamlamış PV panellerin 2050 yılına kadar yaklaşık 9 milyon ton olması beklenmektedir (Monier ve Hestin, 2011). 2014-2030 yılları arasındaki panel çeşitlerinin pazar payını gösteren tablo incelendiğinde, en yüksek paya sahip olan silikon bazlı panellerin 2030 yılına kadar yarı yarıya azalması öngörülmektedir. Şu an için yaklaşık %90'lık paya sahip olan (C-Si) panelleri, kadmiyum tellürid bazlı (CdTe) ve bakır indiyum galyum diselenid (CIGS) izlemektedir. (CdTe) %5, (CIGS) ise %2'lik bir pazar payına sahip olmaktadırlar. CPV boya duyarlı organik hibrit paneller ise %1'lik bir payla en az dilime sahip oldukları görülmektedir. Üçüncü nesil panellerin, önümüzdeki on yıl çerisinde büyük bir atılım ile yaklaşık %40'lık bir payının olması tüm veriler eşliğinde olası durmaktadır.



Şekil 4.5: Farklı teknolojilerde üretilmiş güneş panellerinin 2014-2030 yılları arasındaki Pazar payı dağılımları (Weckend ve diğ. 2016, Xu ve diğ., 2018).

Şekil 4.5'ten de görüldüğü üzere, panellerin geri dönüşüme kazanılmaması çok büyük sayıda âtıl duran panelin var olmasını sağlamış olacaktır. Üretimi için gereken kimyasalların elde edilme yolları ve harcanılan enerjiden, üretime, işletilmeye ve eskimiş, yıpranmış, ömrünü tamamlamış panellerin geri kazanımına kadar birçok evresi bulunan PV panellere uygun müdahaleler yapılmadığı takdirde geri kazanımı mümkün olan kaynakların kaybedilmesi tehlikesi ortaya çıkacaktır. Kurşun ve kadmiyum sızıntısının yanı sıra, 1 milyon ton alüminyum, 7 milyon ton cam ve 0,3 milyon ton silikon geri kazanılamayarak, nadir metallerden gümüş, indiyum, germanyum ve galyum gibi metallerin kaybı ile sonuçlanabilecektir. Karbon emisyonlarının azaltılması bakımından incelendiğinde, yaklaşık olarak %4'lük bir avantajın sağlandığı görülmektedir (Ding ve diğ., 2012). Bu nedenle, PV panellerin geri dönüşümü etkin bir şekilde sağlandığında, karbon emisyonlarının azaltılması da mümkün olacaktır (Xu ve diğ., 2018).

Avrupa, ABD ve Japonya, güneş panellerinin geri dönüşümü için daha ayrıntılı araştırma çalışmaları yapmaktadır. Çalışmalarında daha çok, silikonun ve nadir metallerin geri dönüşümü için ARGE çalışmalarına yönelen ülkeler, üç yöntem üzerine odaklanmaktadır. Bileşen onarımı, ilk adım olarak uygulanmaktadır. Daha sonra modül ayırımı aşaması gelmektedir. Son olarak ise bileşenler arasından silikon ve metallerin çıkarılması aşaması yer almaktadır (Xu ve diğ., 2018).

Güneş panellerinin yeniden döngüye kazandırılması çalışmalarında Çin, bileşenlerin onarılması ve basit ayırma aşamalarını uygulamaktadır. Bu uygulamalar, diğer ülkelerin yaptıkları işlemlere göre daha geride kalmaktadır. Her ülkenin uyguladığı metotta bazı sıkıntılar bulunmaktadır. Arıtma ve bertaraf teknolojileri beklenen etkide olmamaktadır. İş sağlığı ve güvenliği açısından yeterli düzeye ulaşamayan proseslerde, kırma işlemi esnasında toz, zehirli gaz ve gürültü oluşmaktadır (Yang ve diğ., 2004). İnorganik asit çözme yöntemi ile nitrojen oksitler ve zararlı bazı gazlar üretilmektedir. Bahsedilen zararlı etkenlerden korunmak için, çalışanlara yönelik düzenlemeler yapılması gerekmektedir.

Güneş panellerinin geliştirilmesi üzerine yapılan araştırmalar geri dönüşüm zincirinin oluşması üzerine yapılan araştırmalardan çok daha fazla sayıda olmaktadır. Panel üretiminde azımsanmayacak paya sahip olan ülkelerde bile halen yeterli tesisler bulunmamaktadır. Ömrünü tamamlamış panellerin geri dönüşüm/kazanım

süreçleri uzun bir süreç olmaktadır. Geri dönüşüm değeri olan gümüş, galyum, indiyum ve germanyum dahil birçok element içeren paneller bu işlemler sonucunda solvent emisyonlarının salınması gibi durumları içermekte olsa bile belli işlemler ile organik solvente dönüştürülebilmektedir. Böylece geri dönüşüm zinciri bekleneni karşılayabilir duruma gelmekte ve kirleticilerin atmosfer deşarjını sindirebilmektedir. Bu işlemlerin, iş sağlığı ve güvenliği kuralları çerçevesinde çevre ve insan koruma maksatlı yapıldığı düşünüldüğünde, üretici şirketlerin maliyetlerini arttıracak olsa bile uzun vadede ekonomik ve insani dönüşü çok daha fazla olacaktır.

PV panellerin geri dönüşüm zincirinde en önemli noktada olması gereken PV üreticileri, geri kazanılma sürecinin ilk sorumluları olmalıdırlar. Panel toplama, tehlikeli atıkların geri kazanılması ve bertaraf işlemlerini titizlikle yerine getirme sorumluluğunda, teşvik ve cezalar ile işlerini yürütmeleri mümkün olabilmektedir. Kırık, çatlak ya da verim düşüklüğü sebebiyle kullanılmayan panellerin kullanım amaçlı satılmaları durumunda ağır cezai işlemler uygulanması caydırıcı olabilecektir. Bu bağlamda, ilerleyen dönemlerde panellerin tehlikeli pozisyonlarda kullanımının önüne geçme maksatlı takip sistemleri ile donatılması seçeneği düşünülmelidir, Ayrıca, panel üreticilerinin, panellerdeki tüm tehlike içeren kimyasalları açıklamak ve tehlike azaltıcı atılımlarını geliştirip belirli dönemlerde hayata geçirme zorunluluğu altında bırakılması gerekmektedir.

Güneş panellerinde kullanılan kurşunun yerine geçebilecek element arayışları sonucunda bazı bulgular elde edilmiştir. Kurşunsuz perovskit güneş pilleri, kurşun içeriklilere göre kullanım amacı bakımından büyük farklılıklar göstermemektedir. Pb içerikli olan paneller ile, Pb içermeyen perovskit paneller aynı amaç için kullanılmaktadır. Burada önem gösteren ayrıntı verim, insan ve çevre faktörleridir. Sn bazlı ya da Pb içermeyen perovskit paneller kararlılık ve verim açısından sınırlamalar göstermekle beraber, genel maliyet ve toksiklik durumları üstün avantajlar sunmamaktadır. Geri dönüşüm zinciri bakımından, tarihsel kullanımlarının avantajı ile, Pb bazlıların araştırılması şu an için çok daha fazla olmakta ve net bilgiler sunması bakımından zamana gerek duyulmaktadır. Perovskit panellerin modülleri, aykırı koşullara dayanabilen ve hatadan arındırılmış bir şekilde dizayn edilebilirse, insan sağlığı ve çevre için tercihin merkezine yerleşebilme potansiyelini taşımaktadır. (Babayigit ve diğ. 2016).

İş Sağlığı ve Güvenliği anlamında incelendiğinde, Pb bazlı ya da diğer panellerin verimi ya da kullanılabilirliği ile ilgilenilmemektedir. Burada odak noktası, çalışan sağlığının korunması olduğundan öncelikle üretim kısmındaki tehlikeler bertaraf edilmelidir. Kullanım avantajı ve üretim riskleri dengeyi sağlamış görünmekte olup ilerleyen yıllarda sağlıksal mesleki etki yaratmaması için her türlü iş güvenliği tedbiri yasal olarak ilk planda tutulmalıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Piyasadaki mevcut güneş enerjisi panelleri için henüz hedeflenen geri dönüşüm ağı oluşturulamamışken, kompozit ürünlerin geri dönüşümü için atılım zamanı gelmiş bulunmaktadır. Âtıl olarak nitelendirilebilecek panellerin sayısı gün geçtikçe artmakta, artıyor olmakla birlikte yeni nesil paneller hızla mevcudu arttırmaktadır. Bu durum ise, hükümetlerin ve endüstrinin ilgisini çektiği gibi akademinin de ilgisini çekmektedir. Bahsi geçen üçlü yapının beraber yapacağı atılımlar ile belirli bir yol alınması kaçınılmaz olmaktadır. Kompozit ürünlerin piyasadaki yeri, artan elektrik maliyetleri ile hızlanmakta olup, ticarileşmesi ve geri dönüşüm ağına katılması zaman almaktadır. Küresel ekonomi ve tükenen kaynaklar göz önünde tutulduğunda geri kazanımında daha verimli olabilecek ve ömrünün sonunda üreticiye ve tüketiciye sorun çıkarmayacak ürünler tasarlanmalı ve bu ürünlerin her aşamasında çalışanın, iş kazası ve meslek hastalıklarından korunarak iş hayatında yerini alması ekonomik tüm kaygıların ilerisinde tutulmalıdır. İş güvenliği politikalarında, ülkesel farklılıkların çok gözlendiği düşünülürse, tüm ülkelerin yenilenebilir enerji sektörüne yönelik ortak bir görüş sergilemesi, üretici ve tüketici taraflarının iş güvenliğine olan tutumunu değiştiremeyecek hale getirip, bir kültür olarak benimsenmesini sağlaması beklenmektedir.

Güneş panellerinin yıpranmış, çatlamış, kırılmış ya da ömrünü tamamlamış olması, insana ve çevreye zararlı olduğu bilinmektedir. Bu yüzden panellerin üretiminde kullanılan kimyasalların etkileri iyi bilinmeli ve iş güvenliği önlem uygulamalarında ayrıntılı yer verilmelidir. Kadmiyumlu paneller yerine zararsız olan paneller üretilmeli ve kullanımı için devlet teşviki sağlanmalıdır. Kurşun içeren panellerin, sızıntı sağlamayacak şekilde kapsüllenmesi ile perovskit panellerin kullanımı daha yararlı olabilir. Türkiye'deki panel montaj firmalarında çalışan iş görenlerin, gerekli iş güvenliği önlemleri alınarak çalıştırılması sağlanmalıdır. Kurşun ve kadmiyum gibi ağır metal içeren panel üreticilerinin işyerlerinde çalışanlar için, koruyucu iş elbisesi ve uygun maskeler kullandırılmalı ve yeni yasal düzenlemeler ile tüm enerji sektörü için ayrıntılı bir yasal düzenleme getirilmelidir.

Güneş enerjisi panellerinin kurulacağı alanlar, coğrafi konum, yağış alım oranı, rüzgâr yoğunluğu, arazi şartları, yangın, bakım, onarım, yıpranmış, eskimiş, kırılmış ya da ömrünü tamamlamış panellerin sökümü vb. durumlar açısından ayrıntılı bir şekilde değerlendirmeye alınarak sadece kurulumda değil söküm aşamasında da hangi iş güvenliği önlemlerinin alınacağı işin en başından ayrıntılı planlanmalıdır. Toprak ve su açısından çevresel etki değerlendirmesi, uzun vade için planlanmalı ve gerekli her önlem yasal mecburiyet olarak uygulanmalıdır. Çevre ve insana uzun vadede etkisi araştırılan panellerin bilimsel çalışmalar eşliğinde ülkemize etkisi tespit edilmeli ve zararlı her etkenin önüne geçmek için yasal düzenleme ile bir güvenlik kültürü oluşumuna teşvik edilmelidir.

İş Sağlığı ve Güvenliği, istinasız her iş kolunda olması gereken bir kültürdür ve doğru işlemesi için herkesin görev ve yetkileri açık bir şekilde kişiye bildirilmelidir. Güneş enerjisi sektörüne yönelik spesifik bir yasal düzenleme olmaması sebebiyle genel uygulamalar eşliğinde önlemler alınmaktadır. Fotovoltaik endüstrisinin her kademesinde tehlike ve riskler mevcut olup bunlar ayrıntılı çalışılarak bertaraf edilebilmektedir. Tüm risklerin tanımlanması, önem derecelerinin belirlenmesi ve önlemlerin alınması tüm paydaşların döngüye katılımı ile mümkün olmaktadır. İşveren, iş gören ve iş güvenliği profesyonelleri tarafından yapılacak çalışmalara standart getirilmesi, güneş enerjisi sektörü için de kaçınılmaz bir durum olmaktadır. Eğitimler ve akreditasyon girişimleri, yapılacak her iş güvenliği adımına olumlu katkılar sağlamaktadır. İş Sağlığı ve Güvenliği önlemlerinin yazıda kalmayıp, işe yarar hale gelebilmesi için bahsedilen uygulamalar bir standart olarak düzenlenmelidir. Bu sayede şu an işyerlerinin fiziki şartları sonucu oluşan ve her işyerine göre farklılık gösterebilen iş güvenliği önlemleri tek düze olarak daha etkin hale gelebilecektir.

İş Sağlığı ve Güvenliği çalışmalarını doğrudan etkileyebilen sigorta şirketleri gibi bazı paydaşlar bulunmaktadır. Aynı zamanda işyerinde meydana gelen iş kazası ya da meslek hastalığı gibi istenmeyen durumlar oluştuktan sonra da bu paydaşlardan alınan raporlar sonucu, ağır maddi etkilenme söz konusu olabilmektedir. Böyle olumsuz durumların oluşmaması için, işyerinin proje aşamasından başlayarak sigorta şirketlerinin bilirkişileri ile fikir alışverişi yapmak, belirlenmiş standartlar eşliğinde en uygun çalışma ortamı yaratmak için uygun bir adım olabilecektir.

Sadece PV panel endüstrisinde çalışan kişileri etkilemeyip, zamanla çevreyi, toprağı ve suyu etkileme potansiyeli olan kimyasalların, ekolojik sağlık döngüsünü olumsuz etkileme riskini azaltıcı ulusal ve uluslararası standartlar uygulanmalıdır. Bu sayede ülkelere göre çok değişkenlik gösteren, iş görenin canının değeri kavramı, ülkelere ve hatta işverenin insafına kalmamış olup, zorunlu ve itici bir güç olarak tüm dünyayı sarabilecektir.

Güneş enerjisinden elektrik elde etmek için uygulanan proseslerin daha çevreci ve insan sağlığına olumsuz etki yaratmayacak şekilde yapılabilmesi günümüz araştırmaları ile mümkün görünmektedir. Panellerde kullanılan yarı iletkenlerin işlenmesi kısmında kullanılan kimyasalların tehlikesiz olanlarla değiştirilmesi, panellerin kullanım ömürleri uzatıldığı ve verimlerinin arttırıldığı taktirde, fosil yakıtların kullanımından sonra oluşan sera gazı ve CO_2 emisyonunun en aza indirilmesi olası görülmektedir. Ekolojik dengeyi korumak adına, panel yerleşimi için seçilen arazilerin belli standartlarda olması şartı getirilebilir. Kullanım ömrü sona eren panellerin bertarafı sırasında oluşan atıkların toprağa ve suya bırakılmaması sağlanmalıdır. Üretici firmaların müşteri bilgileri oluşturulacak bir elektronik sistemde toplanmalı ve kırık, çatlak, ömrü sona ermiş panellerin toplanarak geri dönüşüme kazandırılması üretici firmalar tarafından, devlet kontrolünde katı kurallar eşliğinde yapılmalıdır. Kullanılan panellerde oluşabilecek istenmeyen durumlar için kontrol mekanizması kurulup, panel izleme modülleri ve dronlar gibi teknolojik ürünlerden yararlanarak, alınan bilgiler sürekli elektronik sisteme aktarılabilir. Böylece çalışanların, tehlikeli durumlarla daha az maruz kalması sağlanabilecektir.

Ayrıca, panel tercih edecek olan tüketicinin daha bilinçli olması gerekmektedir. İnsana ve çevreye, içindeki kimyasallar yüzünden daha fazla zarar verme potansiyeli olanların tercih edilmemesi, tüketicilerin doğa ve insan için yapabileceği güzel bir adım olabilir. Bunun için panellerin çeşitlerini ve içeriğini bildiren, yalın olarak ifade edilmiş herkesin anlayacağı bir dille devlet kurumları tarafından hazırlanmış bilgilendirme broşürleri hazırlanmalıdır. Panel üreticileri ise mümkünse, kadmiyumlu olan paneller yerine magnezyumlu panellerin üretimine ağırlık vermelidir. Perovskit güneş panellerinde bulunan kurşun yerine zararsız bir kimyasal kullanımı ileriki yıllarda kurşunun oluşturabileceği zararı önleyebilir. Bu

mümkün olmazsa kurşunun dışarı sızmasının önüne geçmek için kapsülleme sisteminin geliştirilmesi de başka bir seçenek olarak düşünülebilir.

Güneş enerjisi sistemlerini ilgilendiren her departmanda, üretiminden kurulumuna ve bakımına kadar tüm kademelerde çalışan iş görenlerin, koruyucu ekipman ile çalışması, düzenli sağlık kontrollerinden geçirilmesi, belirli zamanlarda çalışma saatlerinde revizyona gidilmesi ve vardiyalarının değiştirilmesi gibi maruziyet azaltıcı önlemlerin sektöre yönelik düzenlenerek yasalaşması gerekmektedir.

Güneş enerjisi endüstrisine yönelik yapılacak yasal düzenlemenin, olağan dışı hava koşulları, deprem ve sabotaj gibi istenmeyen her duruma yönelik de yapılması gerekmektedir. Panellerde gerçekleşebilecek herhangi bir istenmeyen durum karşısında yapılacak iş akışı, görevlendirme ve eğitimlerle belirtilmelidir.

Riskleri bir sistem eşliğinde ele alarak daha kurumsal ve profesyonel bir yaklaşım sergilemek, İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi standartlarını işyerine entegre etmek ile mümkündür. Bu sayede işyeri, iş güvenliğine yönelik riskleri asgari seviyeye indiren, ilgili mevzuatların gerekliliklerini yerine getiren, gerekli eğitimleri çalışanlarına veren, kazaları, meslek hastalıklarını, ramak kala olayları, tüm düzeltici ve iyileştirici faaliyetleri kayıt altına alan, sağlık birimleri ve kolluk kuvvetleri ile iletişimde olan, acil durum planlarını tamamlayan kısacası eksiksiz bir şekilde iş güvenliği önlemlerini alan bir işyeri olacağının da teminini vermiş olacaktır.

6. KAYNAKLAR

Adıyaman, Ç., "Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikaları", Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, (2012).

Akova, İ., *Enerji ve Alternatif Enerji Kaynakları,* İstanbul: İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, (2010).

Aktacir, M. A., *Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü̈ Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi*, Mardin: Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi, 3-25 (2009).

Akyol, H. and Batu Ağırkaya, M., "İş Çevrimlerinin Uluslararası Enerji Piyasalarına Duyarlılığının İncelenmesi: Türkiye Örneği*", The Journal of International Scientific Researches,* 6 (3), 382-396, (2021).

Akpınar, T., *İş Sağlığı ve İş Güvenliği,* Bursa, Ekin Basım Yayın, (2013).

Aksungur, K. M., Kurban, M., Filik, Ü. B., "Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi", *5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu,* (2013).

Altaş, İ. H., "Fotovoltaj Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri", *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, Bileşim Yayıncılık İstanbul, 47, 66–71, (1998).

Altuntaş, H., "İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürünün Boyutları: İstanbul Üniversitesi Örneği", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü,* İstanbul, (2019).

Aman, M. M., Solangi, K. H., Hossain, M. S., Badarudin, A., Jasmon, G. B., Mokhlis, H., Bakar, A. H. A. and Kazi, S. N., "A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system", *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 41, 1190–1204, (2015).

Antalya, E., Güneş Paneli Nasıl Yapılır, (10.12.2021), https://www.antalyaenerji.com/gunes-paneli-nasil-yapilir/, (2021).

Atakan, Y., Güneş Enerjisi Panellerinin Çevreye Verdiği Zararlar Tartışılıyor, (26.01.2022),https://www.herkesebilimteknoloji.com/haberler/surdurulebilirlik/gunes-enerjisi-panellerinin-cevreye-verdigi-zararlar-tartisiliyor, (2018).

Avcıoğlu, A. O, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri Ders Notları,* Ankara, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 4-7, (2017).

Aycan, H., "Güneş Enerji Santrallerinde Risk Analizi ve Değerlendirilmesi", Yüksek lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta,* (2018).

Babayigit, A., Ethirajan, A., Müller, M. *et al. "*Organometal halojenür perovskit güneş pillerinin toksisitesi", *Doğa Mater* 15, 247-251 (2016).

Babayigit, A., Ethirajan, A., Müller, M. *et al.,* Toxicity of Organometal Halide Perovskite Solar Cells, (12.12.2021), https://www.nature.com/articles/nmat4572, (2016).

Bacanlı, Ü. G., "Türkiye'de Enerji Kaynakları ve Hidroelektirik Enerjinin Önemi", *Angewandte Chemie International Edition,* 6(11), 951–952., 10–27, (2006).

Bakhiyi, B., Labrèche, F., and Zayed, J., "The photovoltaic industry on the path to a sustainable future — Environmental and occupational health issues", *Environment International*, 73, 224–234, (2014).

Bekar, N., "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Enerji Jeopolitiği", *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*, 3 (1), 37–54, (2020).

Brzezinski, Z., *Büyük Satranç Tahtası. Amerika'nın Önceliği ve Bunun Jeostratejik Gerekleri,* İstanbul: Sabah Kitapları, (1998).

Briese, E., Piezer K., Celik, I., Apul D., "Ecological network analysis of solar photovoltaic power generation systems" *J. Clean. Prod.*, 223, 368-378, (2019).

Ceylan, M., *Elektrik Enerji Santralleri ve Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı,* (1. Baskı) Ankara: Seçkin Yayınları, (2012).

Chowdhury, M. S., Rahman, K. S., Chowdhury, T., Nuthammachot, N., Techato, K., Akhtaruzzaman, M., Tiong, S. K., Sopian, K., and Amin, N., "An overview of solar photovoltaic panels end-of-life material recycling", *Energy Strategy Reviews*, 27, 100431, (2020).

Cihan, E., "Yenilenebilir Enerji ve Türkiye'de Güneş Enerjisi", Yüksek Lisans Tezi, *Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü,* İktisat Anabilim Dalı, Gaziantep, (2019).

CorreaBaena, J. P., Saliba, M., Buonassisi, T., Gratzel M., Abate, A., Tress W., Hagfeldt, A., "Promises and challenges of perovskite solar cells", *Science*, 358, 739-744, (2017).

Çelik, S., "Türkiye'nin Enerjide Dışa Bağımlılığının Azaltılmasında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi", Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü,* Eskişehir, (2012).

Çelik, S., "İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları ve İş Disiplininin Çalışan Performansı Üzerine Etkisi: Erzurum Örneği", Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü,* Erzurum, (2018).

Çsgb, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim Araştırma Merkezi, (04.01.2022), https://www.casgem.gov.tr, (2021).

Çsgb, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, (04.01.2022), https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/06/20120630-1.htm, (2012).

Çsgb., Çalışma Hayatı İstatistikleri, (24.11.2021), https://www.csgb.gov.tr/istatistikler/calisma-hayati-istatistikleri/resmi-istatistik-programi/calisma-hayati-istatistikleri-kitabi/, (2021).

Ding, M. Xu, Z., Wang, W., Wang, X., Song, Y., Chen, D., "A review on China' s large-scale PV integration: progress, challenges and recommendations", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 53, 639-652, (2016).

Dias, P., Javimczik, S., Benevit, M., Veit, H., Bernardes A.M., "Recycling WEEE: extraction and concentration of silver from waste crystalline silicon photovoltaic modules", *Waste Manag.*, 57, 220-225, (2016).

Ding, N., Gao, F., Wang, Z.H., Gong, X.Z., "Comparative analysis of primary aluminum and recycled aluminum on energy consumption and greenhouse gas emission" *Chin. J. Nonferrous Met*. 22, 2908, (2012).

Doi, T., Tsuda, I., Unagida H., Murata A., Sakuta K., Kurokawa K., "Experimental study on PV module recycling with organic solvent method", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 67 (1–4), 397-403, (2001).

Dudu, H., "İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürünün İş Tatmini ve İş Kazalarına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2019).

D'Adamo, I., Miliacca, M., Rosa P., "Economic feasibility for recycling of waste crystalline silicon photovoltaic modules", *Int. J. Photoenergy*, 1-6, (2017).

D. Sica, O. Malandrino, Supino, S., Testa, M., Lucchetti, M.C., "Management of end-of-life photovoltaic panels as a step towards a circular economy", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 82 (3), 2934-2945, (2018).

Eberspacher, C., Fthenakis, V.M., "Disposal and recycling of end-of-life PV modules Photovoltaic Specialists", *Conference Record of the Twenty-Sixth IEEE*, 1067-1072, (1997).

Environmental Protection Agency. Technical factsheet on cadmium. Available at: ⟨http://www.epa.gov/safewater/dwh/t-ioc/cadmium.html⟩, (2008).

Enerjiatlası, Güneş Enerji Santralleri, (24.10.2022), https://www.enerjiatlasi.com/gunes/, (2019).

Epdk, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, (05.01.2022), https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/10/20131002-3.htm, (2013).

Erginbaş, E., "Avrupa Birliğinin Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliğine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, (2010).

Erdut, Z., *Küreselleşme Bağlamında Uluslararası Sosyal Politika ve Türkiye*, İzmir: Dokuz Eylül Yayınları, (2002).

Eroğlu, G., "Pres Fabrikası Çalışanlarının İş Sağlığı Ve Güvenliği Kültürünün Tespiti Ve İş Verimliliği Üzerine Etkisinin İncelenmesi: Bursa Örneği", Yüksek Lisans Tezi, *Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gümüşhane,* (2021).

Etkb, "2015-2019 Stratejik Planlama", *Strateji Geliştirme Başkanlığı,* (2019).

Etkb, "2016 Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü", *Strateji Geliştirme Başkanlığı,* (2016).

Etkb, "2017 Birincil ve Nihai Enerji Yoğunluğu", *Strateji Geliştirme Başkanlığı,* (2017).

Etkb, Enerji Sektörü Araştırma-Geliştirme Projeleri Destekleme Programına (Enar) Dair Yönetmelik, (05.01.2022), https://resmigazete.gov.tr/fihrist?tarih=2010-06-08, (2010).

Etkb, 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, (05.01.2022), https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/05/20050518.htm, (2005).

Fiandra, V., Sannino, L., Andreozzi, C., Corcelli, F., Graditi G., "Silicon photovoltaic modules at end-of-life: removal of polymeric layers and separation of materials", *Waste Manag.*, 87, 97-107, (2019).

Fiandra, V., Sannino, L., Andreozzi, C., Graditi, G., "End-of-life of silicon PV panels: a sustainable materials recovery process", *Waste Manag.*, 84, 91-101, (2019).

Frisson, L., “Cost effective recycling of PV modules and the impact on environment, life cycle, energy payback time and cost”, *2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion*, 2210-2213, (1998).

Frischknecht, R., Heath, G., Wild Scholten M., Methodology, *Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity*, third ed., International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, 12, (2016).

Fthenakis, V. M., “End-of-life management and recycling of PV modules”,

Energy Policy, 28 (14), 1051-1058, (2000).

Fthenakis, V. M., Kim H. C., Alsema E., “Emissions from photovoltaic life cycles” *Environ. Sci. Technol.*, 42 (6), 2168-2174, (2008).

Fthenakis V., Kim H. C., “Land use and electricity generation: a life-cycle analysis”,

Gerek, N., *İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği*, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları, (2006).

Gepa., Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, (28.01.2022), https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/, (2015).

Gök, A. O., “Güneş Enerjisi Santralleri İçin Bir Kısa Süreli Üretim Tahmin Sistemi Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Kahramanmaraş, (2019).

Greenpeace, Andasol Güneş Enerji Paneli, (10.12.2021), http://www.greenpeace.org/international/en/multimedia/photos/Andasol-Solar-Power-Station-in-Spain/, (2016).

Gül, F., “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımında İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamalarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, (2018).

Gülay, A., "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Geleceği ve Avrupa Birliği ile Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2008).

Güler, G., "İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun Hüküm ve Sonuçları", Yüksek Lisans Tezi, *Yaşar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İzmir, (2016).

Hailegnaw, B., Kirmayer, S., Edri, E., Hodes, G., Cahen D., "Rain on methylammonium lead iodide based perovskites: possible environmental effects of perovskite solar cells", *J. Phys. Chem. Lett.*, 6, 1543-1547, (2015).

Huang, W. H., Shin, W. J., Wang, L., Sun, W. C., Tao, M., "Strategy and technology to recycle wafer-silicon solar modules" *Sol. Energy*, 144, 22-31, (2017).

Irena, *Renewable capacity statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA),* Abu Dhabi: In International Renewable Energy Agency (IRENA), (2019).

Irena, "End-Of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels", Abu Dhabi:

International Renewable Energy Agency and the International Energy, (2016).

Jeon, N.J., Noh, J.H., Kim, Y.C., Yang, W.S., Ryu, S. Seok, S.I., "Solvent engineering for high-performance inorganic–organic hybrid perovskite solar cells", *Nat. Mater.*, 13, 897, (2014).

Ju, M. G., Chen, M., Zhou, Y., Dai, J., Ma, L., Padture, N. P., and Zeng, X. C. "Toward Eco-friendly and Stable Perovskite Materials for Photovoltaics", *Joule*, 2 (7), 1231–1241, (2018).

Kanat, H., "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisi Yatırımlarını Etkileyen Faktörler: Konya Güneş Enerjisi Yatırımları Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü,* İşletme Ana Bilim Dalı Muhasebe Finansman Bilim Dalı, Konya, (2019).

Kara, S., "Türkiye'de Yenilenebilir Enerjiye İktisadi Bakış", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, (2013).

Karabulut, Ö., *Tekstil İşkolunda İş Sağlığı ve Güvenliği*, İstanbul: Teksif Eğitim Yayınları, (2012).

Karadağ, E., "Muğla Bölgesindeki Güneş Enerjisi Santrallerinin İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden L Tipi Matrisle Değerlendirilmesi", *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Enerji Anabilim Dalı, Muğla, (2018).

Karakaya, A. ve Sancı, V., "İş Güvenliği Uzmanlarının İş Tatminleri Üzerine Bir Araştırma: Karadeniz Bölgesi Örneği", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* Karabük, (2017).

Kaya, A., "Güneş Enerjisi Paneli Kurulum ve Montaj Riskleri", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (2020).

Kocabaş, F., "Çalışma Ortamında Psikososyal Risk Etmenlerinin İş Kazası, Meslek Hastalıkları ve İşle İlgili Hastalıklarla İlişkisi", *Sosyal Güvence Dergisi,* 7 (14), 40-54, (2011).

Komoto, K., Lee, J.S., Zhang, J., Ravikumar, D., Sinha, P., Wade, A., Heath G., "End-of-Life Management of Photovoltaic Panels: Trends in PV Module Recycling Technologies", *International Energy Agency Power Systems Programme, Report IEA-PVPS* 12, 10, (2018).

Kotuslska-Kozlawska, K., *Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ÇED Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi*, Ankara, (2017).

Leroy, P., *The WEEE Forum and the WEEELABEX Project, Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Handbook*, Woodhead Publishing, 66-77, (2012).

Levin, S.M., Goldberg, M., Doucette J.T., "The effect of the OSHA lead exposure in construction standard on blood lead levels among iron workers employed in bridge rehabilitation", *Am. J. Ind. Med.,* 31, 303-309, (1997).

Liu, M., Johnston, M. B., Snaith, H. J., "Efficient planar heterojunction perovskite solar cells by vapour deposition", *Nature,* 501, 395, (2013),

Lutenegger A. J., "Foundation Alternatives For Ground Mount Solar Panel Installations", *Geotechnical And Structural Engineering Congress*, 1873–1885, (2016).

Mahmoudi, S., Huda, N., Alavi, Z., Islam, M.T., Behnia, M., "End-of-life photovoltaic modules: a systematic quantitative literature review", *Resour. Conserv. Recycl*., 146 1-16, (2019).

Mcs (Microgeneration Certification Scheme), "Guide to the installation of photo-voltaic systems", Available: *http://www.microgen-database.org.uk/uploads/34/53/34535a6ed1852e96406ec03c4a46fb2c/New_Guide_to_installlation of_PV_systems-MCS.pdf,* (2012).

Monier, V., Hestin, M., "Study on Photovoltaic panels supplementing the impact assessment for a recast of the WEEE directive", *In: Service, B.I. (Ed.),* A Project Under the Framework Contract ENV.G.4/FRA/2007/0067, Paris, France, 10, (2011).

Occupational Safety and Health Administration. Safety and health topics: cadmium. Available at: ⟨http://www.osha.gov/SLTC/cadmium⟩, (2008).

Özkan, E., "Akaryakıt İstasyonu Çalışanlarının İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Çalışma Koşullarının Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2021).

Palitzsch, W., Loser U.,"Economic PV waste recycling solutions -Results from R&D and practice" *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 628-631, (2012).

Paiano, A., "Photovoltaic waste assessment in Italy", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 99–112, (2015).

Pamuk, M., "İş Sağlığı ve Güvenliğinde Türkiye'nin Avrupa Birliğine Uyumu", Yüksek Lisans Tezi, *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ordu, (2019).

Philibert, C., *The Present And Use of Solar Thermal Energy As A Primary Source of Energy, Solar Thermal Energy*, Paris: IEA Yayını, 16, (2005).

Pimentel D, Herz M, Glickstein M, Zimmerman M, Allen R, Becker K, et al., "Renewable energy: current and potential issues", *Bioscience*, 52:1111–9, (2002).

Quaschning, V., Solar Chimney Power Plants, (10.12.2021),

https://www.volker-quaschning.de/articles/fundamentals2/index_e.php, (2018).

Renew Sustain Energy Rev, 13, 1465–74, (2009).

Sarıbaş, E., "Türkiye' Deki Enerji Kaynakları Ve İzlenen Enerji Politikaları", Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, (2015).

Sarıgül, E., "İş Sağlığı ve Güvenliği Önlemlerinin İş Stresine ve Çalışan Memnuniyetine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas, (2019).

Savvilotidou, V., Antoniou, A., Gidarakos, E., "Toxicity assessment and feasible recycling process for amorphous silicon and CIS waste photovoltaic panels", *Waste Manag.*, 59, 394-402, (2017).

Sancı, S., Güneş Paneli Geri Dönüşüm Tesisi Açıldı, (10.12.2021), https://www.elektrikport.com/makale-detay/gunes-paneli-geri-donusum-tesisi-acildi/23185#ad-image-, (2021).

Schnoor, J. L., "Extended Producer Responsibility for E-Waste*", Environ. Sci. Technol,*, 46 (15), 7927, (2012).

Schileo, G. and Grancini, G., "Toxicity of organometal halide perovskite solar cells", *In Nature Materials*, 15 (3), 247–251, (2020).

Sgk., İş Kazası ve Meslek Hastalığı, (04.01.2022) http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/emekli/is_kazasi_ve_meslek_hastaligi/meslek_hastaligi, (2019).

Smith, Y., Bogust P., "Review of solar silicon recycling", *Energy Technol*.,

2018, 463-470, (2018).

Sonne, Sbp., Proje Tipleri; Fotovoltaik, (24.01.2022), http://www.sbp.de/en/projects/#.cat-11, (2020).

Spykman, N. J., *Dış Politika ve Coğrafya I ve II. Uluslararası İlişkilerde Anahtar Metinler,* İstanbul: Uluslararası İlişkiler Kütüphanesi, (2013).

Şen, M., "İş Sağlığı ve Güvenliği Kavramı, Tarihsel Gelişimi ve Dayanakları", *Melihşah Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 4 (1), 117-142, (2015).

Taşdemir, D.Ç., "İş Sağlığı ve Güvenliğinin İş gören Performansına Etkileri ve İş Doyumunun Aracılık Rolü", Doktora Tezi, *Hasan Kalyoncu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü,* Gaziantep, (2019).

Tesab, (Türkiye Elektrik Sanayi Birliği), Elektrik Enerjisi Teknolojileri ve Enerji Verimliliği, Cilt I., (2019).

Uçak, S., "Sürdürülebilir Kalkınma Bağlamında Alternatif Enerji ve Enerji Üretimi-Büyüme İlişkisi: Panel Veri Analizi", Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü,* Kocaeli, (2010).

Uyar, F., Güneş Santrallerinde Yapılan Hatalar ve Eksiklikleri, (24.01.2022), https://www.enerjibes.com/gunes-santrallerinde-yapilan-hatalar-ve-eksiklikler/, (2019).

Uyar, F., Güneş Enerjisi Sistemlerinde Yapılan Hatalar Off Grid, (24.01.2022), https://www.enerjibes.com/gunes-enerjisi-sistemlerinde-yapilan-hatalar/, (2017).

Üçüncü, Y. D. D. K., *Enerji Yönetimi Ders Notları,* Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, 1–247, (2016).

Yang, Y.F., Gai, G.S., Xu, S.M., Chen, Q.R., "The situation of recycle of waste printed circuit board and the existing problems", *Environ. Pollut. Control* 26, 193–195, (2004).

Yeksem, Sürdürülebilirlik Kapsamında Yenilenebilir ve Etkin Enerji Kullanımının Yapılarda Uygulanması, 79, (2009).

Yılmaz, F., "Avrupa Birliği ve Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliği: Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliği Kurullarının Etkinlik Düzeyinin Ölçülmesi", Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü,* İstanbul, (2009).

Yi, Y.K., Kim, H.S., Tran, T., Hong, S.K., Kim, M.J., "Recovering valuable metals from recycled photovoltaic modules", *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 64 (7), 797-807, (2014).

Y.W. Zhao, Y. W., *"China photovoltaic industry development status and prospects" 22nd International Photovoltaic Science and Engineering Conference* Hangzhou, 1-8, (2012).

Weckend, S., Wade, A., Heath, G., *End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels*, Irena, 51, (2016).

Xu, Y., Li, J., Tan, Q., Peters, A. L. and Yang, C., "Global status of recycling waste solar panels: A review. In Waste Management", *Pergamon*, 75, 450–458, (2018).

7. ÖZGEÇMİŞ