

YENİLENEBİLİR ENERJİ FAYDALARI

YEREL KAPASİTENİN YOĞUNLAŞTIRILMIŞ
GÜNEŞ ENERJİSİ İÇİN KULLANILMASI



© IRENA 2025

Aksi belirtilmediği sürece, bu yayındaki materyal, kaynak ve telif hakkı sahibi olarak IRENA'ya uygun bir şekilde atıfta bulunulması koşuluyla serbestçe kullanılabilir, paylaşılabilir, kopyalanabilir, çoğaltılabilir, basılabilir ve/veya saklanabilir. Bu yayındaki üçüncü taraflara atfedilen materyal, ayrı kullanım şartlarına ve kısıtlamalara tabi olabilir. Bu tür materyallerin herhangi bir kullanımından önce bu üçüncü taraflardan uygun izinlerin alınması gerekebilir.

Türkçe: ISBN: 978-92-9260-644-2

Alıntı: IRENA (2025), *Yenilenebilir enerjinin faydaları: Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi için yerel kapasitenin değerlendirilmesi*, Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı, Abu Dabi.

IRENA HAKKINDA

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA), ülkeleri sürdürülebilir bir enerji geleceğine geçişlerinde destekleyen bir hükümetler arası kuruluştur ve uluslararası iş birliği için başlıca platform, mükemmellik merkezi ve yenilenebilir enerji konusunda politika, teknoloji, kaynak ve finansal bilgi deposu olarak hizmet vermektedir. IRENA, sürdürülebilir kalkınma, enerji erişimi, enerji güvenliği ve düşük karbonlu ekonomik büyüme ve refah arayışında biyoenerji, jeotermal, hidroelektrik, okyanus, güneş ve rüzgar enerjisi dahil olmak üzere her türlü yenilenebilir enerjinin yaygın olarak benimsenmesini ve sürdürülebilir kullanımını teşvik eder. www.irena.org

TEŞEKKÜRLER

Rapor, Michael Renner'ın (IRENA) yönetimi altında Celia García-Baños (IRENA), Manuel Blanco (DLR), Cristina Prieto ve Manuel Silva (Sevilla Üniversitesi) tarafından yazılmıştır. Rapor, Rabia Ferroukhi (eski IRENA) başkanlığında başlatıldı ve Raul Alfaro-Pelico (Direktör, IRENA Bilgi, Politika ve Finans Merkezi) başkanlığında sonuçlandırıldı.

Rapor, Imen Gherboudj (IRENA), Mohammed Nababa (IRENA), Sibghat Ullah (IRENA), Diala Hawila (IRENA), Alina Gilmanova (IRENA danışmanı), Eduardo Zarza (CIEMAT-PSA) ve Adrián Blindú (Endüstriyel Araştırma ve Endüstriyel İşbirliği Derneği) ve Elena Guillen-Burrieza'nın değerli geri bildirimlerinden ve girdilerinden büyük ölçüde yararlandı. (UPC).

Rapor, Arslan Khalid (IRENA danışmanı), Enrique Doheijo ve Jesus Rubio Conde (Deloitte), Gilles Flamant (PROMES-CNRS), Julián Blanco (CIEMAT-PSA), Zhu Guangdong (NREL), Zhifeng Wang (Çin Bilim Akademisi) ve Wes Stein (CSIRO) tarafından incelendi.

Yayınlar ve editoryal destek Francis Field ve Stephanie Clarke tarafından sağlandı. Rapor Fayre Makeig tarafından düzenlendi. Teknik inceleme Paul Komar tarafından yapıldı ve tasarım Myrto Petrou tarafından yapıldı.

SORUMLULUK REDDİ

Bu yayın ve buradaki materyal "olduğu gibi" sağlanır. IRENA, bu yayındaki materyalin güvenilirliğini doğrulamak için tüm makul önlemleri almıştır. Ancak, ne IRENA ne de yetkilileri, temsilcileri, verileri veya diğer üçüncü taraf içerik sağlayıcıları, açık veya zımni hiçbir türde garanti vermez ve yayının veya buradaki materyalin kullanımının herhangi bir sonucu için hiçbir sorumluluk veya yükümlülük kabul etmezler.

Burada yer alan bilgiler IRENA'nın tüm Üyelerinin görüşlerini temsil etmemektedir. Belirli şirketlerin veya belirli projelerin veya ürünlerin belirtilmesi, bunların IRENA tarafından benzer nitelikteki ancak belirtilmeyen diğerlerine tercih edildiği veya önerildiği anlamına gelmez. Kullanılan tanımlamalar ve burada yer alan materyalin sunumu, IRENA'nın herhangi bir bölge, ülke, bölge, şehir veya alanın veya bunların yetkililerinin yasal statüsü veya sınırların veya hudutların belirlenmesiyle ilgili herhangi bir görüşünün ifade edildiği anlamına gelmez.

Aksi belirtilmediği sürece fotoğraflar Getty Images'a aittir.





YENİLENEBİLİR ENERJİNİN FAYDALARI

YEREL KAPASİTENİN YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİ İÇİN KULLANILMASI

İÇİNDEKİLER

IRENA YEREL KAPASİTEDEN YARARLANMA SERİSİ HAKKINDA	8
ÖNEMLİ NOKTALAR	9
GİRİŞ	10
1. KONSANTRE GÜNEŞ ENERJİSİ SEKTÖRÜNDEKİ EĞİLİMLER	12
2. YOĞUNLAŞMIŞ İŞLETMELERDE DEĞER YARATMA FIRSATLARI GÜNEŞ ENERJİSİ SEKTÖRÜ.	16
2.1 Değer zinciri boyunca iş yaratma fırsatları.	17
2.2 Sistem dengeleme ve depolama	
3. CSP'Yİ GELİŞTİRMEK İÇİN GEREKLİLİKLER	22
3.1 Proje planlaması	22
3.2 Mühendislik, Tedarik ve İnşaat (EPC).	26
3.3 Üretim.	33
3.4 İşletme ve Bakım	36
3.5 Devre dışı bırakma.	38
4. VAKA ÇALIŞMALARI	42
4.1 İspanya örneği: CSP dağıtımını mümkün kılan faktörler	
4.2 Güney Afrika örneği.	47
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	52

RAKAMLAR

Şekil 1	Tahmini kümülatif CSP kapasitesi (2000-2023) ve elektrik üretimi (2000-2022)	12
Şekil 2	Teknolojiye göre operasyonel CSP kapasitesinin evrimi	12
Şekil 3	Ülkeye göre operasyonel CSP kapasitesinin evrimi	13
Şekil 4	2023'teki tahmini kümülatif CSP kapasitesi, yatırımları ve istihdamı ile Paris Anlaşması'nın enerji geçiş hedeflerine ulaşmak için 2030 ve 2050'de ihtiyaç duyulanlar	16
Şekil 5	Bir CSP tesisi için değer zinciri	17
Şekil 6	100 MW'lık bir projenin geliştirilmesi için değer zincirinde işgücünün dağılımı + on saatlik TES CSP tesisi	20
Şekil 7	100 MW'lık bir CSP santrali geliştirmek için gereken becerilerin dağılımı on saatlik TES kapasitesi	21
Şekil 8	Mesleğe ve beceri setine göre on saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP santrali projesini planlamak için gereken işgücünün dağılımı	24
Şekil 9	On saatlik bir çalışma süresine sahip 100 MW'lık bir CSP santralinin EPC'si için gereken işgücünün dağılımı Mesleğe ve beceri setine göre TES kapasitesi	28
Şekil 10	100 MW + on saatlik bir TES ST santralinin inşası için gerekli malzemelerin dağıtımı.....	30
Şekil 11	100 MW + on saatlik TES PT santralinin inşası için gerekli malzemelerin dağıtımı.....	32
Şekil 12	On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP tesisinin bileşenlerinin imalatı için gereken işgücünün mesleğe ve beceri setine göre ortalama dağılımı	35
Şekil 13	On saatlik çalışma süresine sahip 100 MW'lık bir CSP tesisinin O&M'siyle ilgili insan kaynaklarının dağılımı TES kapasitesi.....	37
Şekil 14	Kaldırma işlemiyle ilgili insan kaynağı türüne göre çaba dağılımı On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP santralinin.....	39
Şekil 15	Avrupa'da doğrudan normal ışınım.....	42
Şekil 16	İspanya'da faaliyette olan 49 CSP tesisinin konumları.....	44
Şekil 17	Güney Afrika'daki doğrudan normal ışınım ve CSP projelerinin yerleri	47

TABLULAR

Tablo 1	Dünya çapında inşaat halindeki ticari CSP projeleri	14
Tablo 2	On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP santralının planlanması için gereken işgücü (kişi-gün) ve aktiviteye göre dağılım	23
Tablo 3	On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP santralının EPC'si için gereken işgücü (adam-gün) ve faaliyete göre dağılımı	27
Tablo 4	100 MW + on saatlik TES güneş kulesi santrali için gerekli malzemeler (ton)	29
Tablo 5	100 MW + on saatlik TES PT tesisi için gerekli malzemeler (ton)	31
Tablo 6	PT veya ST teknolojisini kullanan 100 MW + on saatlik bir TES tesisinin bileşenlerinin imalatı için gereken ortalama işgücü (adam-gün)	34
Tablo 7	On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP tesisinin İşletme ve Bakımı için gereken işgücü (kişi-gün/yıl)	36
Tablo 8	On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP santralının devre dışı bırakılması için gereken işgücü	39
Tablo 9	CSP mal ve hizmetlerinin potansiyel Güney Afrika tedarikçileri	48

KUTULAR

Kutu 1	CSP'yi desteklerken değer yaratımını en üst düzeye çıkarmak için bir politika aracı olarak müzayede	18
Kutu 2	Temsili bir CSP tesisi için parametrelerin seçimi ve tahmin metodolojisi işgücü gereksinimleri	19
Kutu 3	Adil bir geçiş için materyaller.....	32
Kutu 4	İlgili tedarikçilerin dağılımı	33
Kutu 5	Malzeme temini için yerel içerik gereksinimleri.....	33
Kutu 6	O&M: Yerelleştirme için tipik faaliyetler ve fırsatlar	37
Kutu 7	İspanya'nın CSP sektörü için SWOT analizi: Endüstri, araştırma ve dağıtım perspektifleri.....	46
Kutu 8	Güney Afrika'nın CSP sektörünün SWOT analizi: Endüstri, araştırma ve dağıtım perspektifleri	50

KISALTMALAR

Ortak Sağlık Hizmetleri	Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi
CST	Yoğunlaştırılmış güneş ısı
DNI	Doğrudan normal ışınım
EPC	mühendislik, tedarik ve inşaat besleme
Veriştirme	tarifesi
Genel	gigavat
YHT	ısı transfer sıvısı
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
kWh	kilovatsaat
LCOE	enerji metrekare maliyetinin
M₂	dengelenmesi
M.Ö.	megavat
İşletme ve Bakım	işletme ve bakım
Kamu spotu	Plataforma Solar de
PV	Almería fotovoltaik
Ar-Ge	araştırma ve geliştirme güneş
SEG'ler	enerjisi üretim sistemleri
GEMİ	endüstriyel prosesler için güneş ısı
KÖK	bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik güçlü
SWOT	yönleri, zayıf yönleri, fırsatları ve tehditleri termal
TES	enerji depolama



IRENA YEREL KAPASİTEDEN FAYDALANMA SERİSİ HAKKINDA

Yenilenebilir enerji geliştirme, ekonomik büyümeyi teşvik edebilir, yeni işler yaratabilir ve insan sağlığını ve refahını iyileştirebilir. Yerel kapasiteyi kaldıraçlama serisi, yaratılan iş türlerini inceler ve yenilenebilir enerji geliştirmenin faydalarını en üst düzeye çıkarmak için mevcut kapasiteyi geliştirmenin yollarını önerir. Bir teknolojiye odaklanan her çalışma, özellikle insan emeği ve becerileri açısından, tesis veya tesisleri üretmek, kurmak ve işletmek için tüm değer zinciri boyunca gereklilikleri ana hatlarıyla belirtir. Yerel değer yaratma ve yerel kapasiteleri kaldıraçlama potansiyelinin değerlendirilmesini desteklemeyi amaçlamaktadır.

Bugüne kadar, çalışmalar hem kamu hizmeti ölçeğinde hem de merkezi olmayan yenilenebilir enerji çözümlerine odaklandı. Bugüne kadar dikkate alınan kamu hizmeti ölçeğindeki çözümler arasında güneş fotovoltaik (2016), kara rüzgarı (2017), açık deniz rüzgarı (2018) ve şimdi yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (2025) yer alıyor. Merkezi olmayan çözümler arasında güneş enerjili su ısıtıcıları (2021) ve küçük ölçekli hidroelektrik (2023) yer alıyor. Analiz güncellemeleri hazırlanıyor.

Dizi, yerel yetenek ve kapasitelerden yararlanarak ihtiyaç duyulan bileşenlerin ve hizmetlerin yurt içinde tedarik edilmesinin fizibilitesini değerlendirmek için kullanılabilir. Çalışmalar, karar vericilerin çeşitli enerji geçiş çözümleri için yurt içi değer yaratma fırsatlarını en üst düzeye çıkarmanın ve sosyoekonomik faydalar elde etmenin yollarını belirlemesine yardımcı olabilir.

Dizi, IRENA'nın 2011'den beri yenilenebilir enerjiye dayalı bir enerji geçişinin sosyo-ekonomik etkilerini değerlendiren kapsamlı analitik çalışmasının bir parçasıdır. Başlangıçta istihdam yaratma ve becerilere odaklanan bu yaklaşım, daha sonra gayri safi yurtiçi hasıla, daha geniş refah ölçütleri, yerel ekonomik değer yaratma, iyileştirilmiş geçim kaynakları ve cinsiyete göre farklılaştırılmış etkiler gibi diğer sosyo-ekonomik unsurları da kapsayacak şekilde genişletildi.

Bu ve diğer raporlar şu adresten indirilebilir: www.irena.org/Yayınlar



ÖNEMLİ NOKTALAR

- Küresel yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) kapasitesi son on yılda beş kat arttı; 2010 yılında 1,2 gigavat (GW) olan kapasite, 2020 yılına kadar yaklaşık 6,4 GW'a çıkarılacak. Ancak sonraki yıllarda büyüme ivmesi yavaşladı.
- Enerji depolama ve şebeke istikrarı yoluyla CSP, ithalata bağımlı ülkelerin daha fazla enerji güvenliğine ulaşmalarına yardımcı olmakta önemli bir rol oynayabilir.
- Paris Anlaşması ile uyumlu bir senaryoda, küresel kurulu CSP kapasitesinin şu seviyeye ulaşması gerekecektir: 2030 yılına kadar 196,7 GW ve 2050 yılına kadar 872,6 GW. Böyle bir genişleme, 2030 yılına kadar yaklaşık 657 milyar ABD doları tutarında kümülatif yatırım ve ardından 2030-2050 yılları arasında 1,83 trilyon ABD doları ek yatırım gerektirecektir. CSP bu senaryoda 80.000'den 767.000'e kadar kişiye istihdam sağlayabilir.
- CSP, önemli iş büyümesi potansiyeli sunar. Değer zincirinin birincil segmentleri arasındaki iş dağılımının değerlendirilmesi, on saatlik termal enerji depolama kapasitesine sahip 100 megavatlık bir CSP tesisi kurmanın yaklaşık 1,16 milyon adam-gün gerektirdiğini ortaya koymaktadır.
- İşgücü, mühendislik, tedarik ve inşaat (EPC) (%46) ve işletme ve bakım (O&M) (%42) sektörlerinde ve daha az ölçüde temel bileşenlerin üretiminde (%9) kümelenmiş değer zincirinde eşitsiz bir şekilde dağılmıştır.
- CSP işgücünün önemli bir kısmı (%79), genellikle herhangi bir ulusal işgücü havuzunda mevcut olan veya sertifika programları veya mesleki eğitim merkezleri aracılığıyla geliştirilebilen düşük ila orta düzeyde teknik becerilere sahiptir.
- Bu becerilerin birçoğu fosil yakıtlı enerji santrallerinde zaten mevcuttur ve enerji sektörü yenilenebilir teknolojilere doğru kayarken işgücü geçişi için değerli bir fırsat sunar. Bu geçiş yalnızca mevcut uzmanlıktan yararlanmakla kalmaz, aynı zamanda çalışanların CSP'nin gelişen taleplerini karşılamak için yeniden beceri edinmelerini ve becerilerini geliştirmelerini kolaylaştırır.
- Yurt içinde ekipman imalatında eksiklik yaşayan ülkeler, özellikle EPC ve O&M sektörlerinde olmak üzere diğer değer zinciri segmentlerinde istihdam yaratabilirler.
- CSP teknolojisinin dağıtımı, yerel değer yaratma açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak, bu potansiyel yalnızca yerel endüstri büyümesini besleyen, inovasyonu teşvik eden ve toplulukları dahil eden politikalarla gerçekleştirilebilir. Stratejik politika yapımı, CSP projelerinin sosyo-ekonomik faydalarının yaygın bir şekilde dağıtılmasını ve yenilenebilir enerji girişimlerinin uzun vadeli sürdürülebilirliğini desteklemesini sağlayabilir.



GİRİŞ

İklim krizini ele almanın aciliyeti, yenilenebilir enerji kaynakları ve teknolojilerine dayalı küresel bir enerji paradigmasına doğru hızlı bir geçişi gerekli kılıyor. Bu geçiş, çevresel yöneticilik ve insanlığın varlığını sürdürmesi için elzem olsa da, insan sağlığını ve refahını artırmak için önemli fırsatlar da sunuyor.

Gerçekten de yenilenebilir enerji sistemlerinin sağladığı sosyo-ekonomik avantajlar, bunların dağıtımını hızlandırmada giderek daha etkili hale geliyor. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) son araştırmaları, 2023 yılında tüm değer zincirinde yaklaşık 16,2 milyon kişinin yenilenebilir enerjide iş sahibi olduğunu tahmin ediyor (IRENA ve ILO, 2024). İş yaratmanın ötesinde, sosyo-ekonomik faydalar arasında hem yerel hem de ulusal düzeyde ekonomik genişleme için yeni yollar oluşturulması, bir ülkenin beceri portföyünün zenginleştirilmesi, endüstriyel kalkınmanın artırılması ve enerji tüketimiyle bağlantılı sağlık ve çevresel dışsallıkların azaltılması yer alıyor (IRENA, 2017).

Çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarına erişim bir ulustan diğerine ve uluslar içinde bir bölgeden diğerine önemli ölçüde değişir. Bu enerjileri kullanmak için mevcut teknolojilerin farklı avantajları ve sınırlamaları vardır ve değer önerileri genel olarak farklıdır. Bol doğrudan güneş ışınımına sahip bölgelerde, yoğunlaştırılmış güneş termal (CST)¹ bir dizi çalışma sıcaklığı boyunca termal enerji depolama (TES) ile kolayca ve verimli bir şekilde entegre edilebildiği; (2) elektrik üretiminin ötesinde, proses ısı üretimi ve çeşitli termal ve fotokimyasal prosesler dahil olmak üzere uygulamalarda çok yönlülük gösterdiği; (3) kimyasal reaksiyonları yönlendirmeye ve güneş yakıtları üretmeye elverişli yüksek sıcaklık operasyonları için potansiyele sahip olduğu; (4) kritik, tehlikeli veya çevreye zararlı malzemelere asgari düzeyde bağımlı olduğu ve (5) ülkeler orta düzeyde teknik uzmanlık ve endüstriyel kapasitelerle önemli yerel içerik elde edebildiği için özellikle ilgi çekici bir değer teklifi sunmaktadır.

Yakın geçmişe kadar, CST teknolojilerinin başlıca ticari uygulaması, geleneksel olarak yoğunlaştırılmış veya konsantre güneş enerjisi (CSP) olarak adlandırılan kamu ölçekli enerji santrallerinde elektrik üretmektir. Bu tür teknolojiler 2022'de yaklaşık 80.000 kişiye istihdam sağladı (IRENA ve diğerleri., 2023); ancak, 2050 yılına kadar 1,5°C hedefine ulaşmada ilerlemeyi ilerleten politikalar (IRENA'nın *Dünya Enerji Geçişleri Görünümü* (Paris Anlaşması hedefleri doğrultusunda) 2030 yılına kadar 449.000'den fazla kişinin istihdam edilmesini ve 2050 yılına kadar bu sayının 767.000'e çıkarılmasını öngörebilir (IRENA, 2023).



¹ CST sistemleri, bir veya birden fazla alıcının aktif yüzeylerindeki doğrudan güneş ışınımını toplar ve yoğunlaştırır. Bu aktif yüzeylerdeki yoğunlaştırılmış radyant güneş enerjisi, daha sonra elektrik veya işlem ısı gibi herhangi bir kullanışlı enerji biçimine dönüştürülen yüksek sıcaklıktaki ısıya dönüştürülür.

Bu rapor, CSP tesislerinin değer zinciri boyunca oluşturulan iş rolleri dizisini haritalandırır. Politika yapıcılara bu tür tesisleri inşa etmek, işletmek ve devre dışı bırakmak için gereken personel ve beceri setleri hakkında bir anlayış sağlar. Rapor ayrıca değer zincirinin her bir segmentindeki malzeme ve ekipman gereksinimlerini inceler. Elektrik üreten CSP tesislerine odaklanır ve ısı üretmek için CST sistemlerinin ortaya çıkan ticari uygulamalarını analiz etmez.

Bu raporda sunulan veriler, önde gelen CSP endüstri firmaları ve uzman kurumlar tarafından yayılan bilgileri bir araya getirmeye yardımcı olan masaüstü araştırmasıyla tamamlanan küresel olarak tanınan uzmanların anketleri ve görüşmelerinden elde edilmiştir. Toplanan bilgiler, mühendislik, tedarik ve inşaat (EPC) hizmetleri sağlayan ve CSP sektöründe temel teknolojik bileşenler tedarik eden çeşitli uluslararası şirketlerle yapılan istişareler yoluyla gözden geçirilmiş ve rafine edilmiştir.

Bu çalışmanın kapsamı küreseldir, ancak analitik tahminler, gelişmiş, yüksek düzeyde sanayileşmiş ülkelerden gelişmekte olan ve daha az sanayileşmiş ülkelere kadar, CSP tesislerinin özellikle uygun olduğu ülkelerin yelpazesini temsil eden İspanya ve Güney Afrika olmak üzere iki ülkeye odaklanmaktadır.

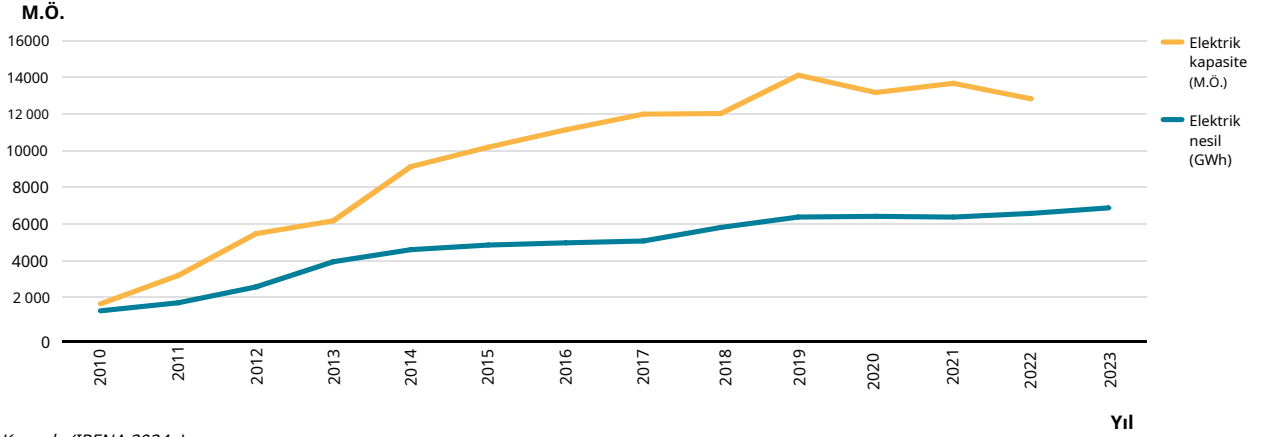
Birinci bölüm, özellikle dağıtım, yatırım ve maliyet açısından sektör eğilimlerini ve itici güçlerini ele almaktadır. İkinci bölüm, CSP dağıtımının sosyo-ekonomik faydalarını değerlendirmektedir. Üçüncü bölüm, değer zincirinin her bir segmentinde CSP projeleri geliştirmek için gereklilikleri (beceriler, malzemeler ve ekipman açısından) analiz etmektedir. Dördüncü bölüm, Güney Afrika ve İspanya'da yerel bir CSP endüstrisinin gelişimini yönlendiren faktörleri ele almaktadır. Son bölüm, mevcut endüstrilerden yararlanırken yerel bir CSP endüstrisinin gelişiminden değer yaratmanın nasıl en üst düzeye çıkarılacağına dair öneriler sunmaktadır.



1. KONSANTRE GÜNEŞ ENERJİSİ SEKTÖRÜNDEKİ EĞİLMELER

CSP sektörünün 1990'dan bu yana geçirdiği evrim, istikrarlı ilerlemeler ve çeşitlenme ile işaretlenmiştir. Küresel CSP kapasitesi, Şekil 1'de gösterildiği gibi, son on yılda önemli ölçüde artmış, neredeyse beş kat artmış, 2010'da 1,2 gigawatt'tan (GW) 2020'ye kadar yaklaşık 6,4 GW'a çıkmıştır, ancak daha yakın yıllarda durgunlaşmıştır.

Şekil 1 ■ Tahmini kümülatif CSP kapasitesi (2000-2023) ve elektrik üretimi (2000-2022)

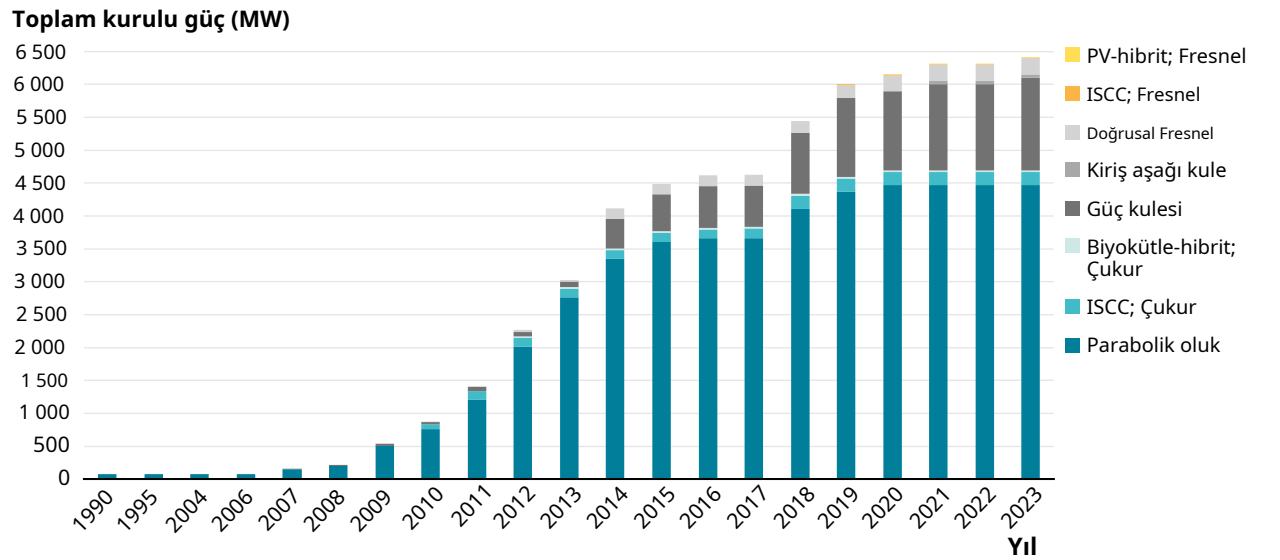


Kaynak: (IRENA 2024a).

Notlar: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; GWh = gigawatt saat; MW = megawatt.

Sektörün büyümesi başlangıçta kademeliydi. Öncü çabalar, esas olarak parabolik oluk (PT) ve güç kulesi teknolojilerini kullanan ilk öncüler olan Amerika Birleşik Devletleri ve İspanya'da yoğunlaştı. Bu erken çabalar, Şekil 2'de gösterildiği gibi, hem toplam kurulu kapasitede hem de teknolojik ilerlemeler ve ölçek ekonomileri yoluyla verimlilikte önemli bir evrime dönüşecek olan şeyin temelini attı.

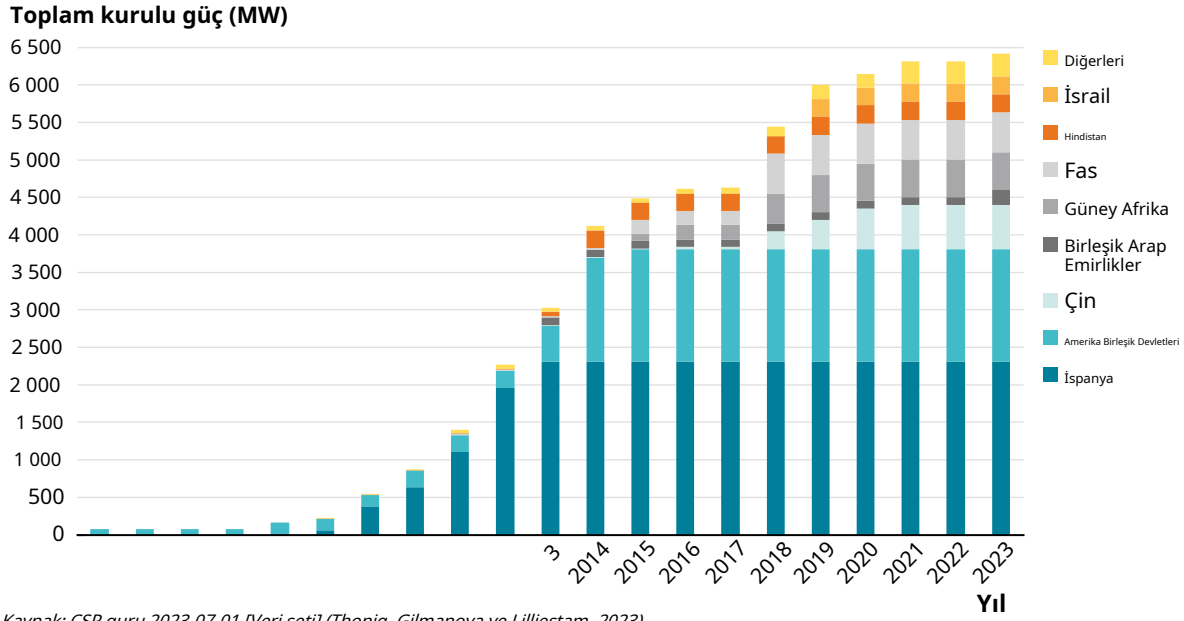
Şekil 2 ■ Teknolojiye göre operasyonel CSP kapasitesinin evrimi



Kaynak: (Thonig, Gilmanova ve Lilliestam, 2023).

Notlar: 2022 yılında faaliyete geçen bir tesis bulunmamaktadır. CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; ISCC = entegre güneş kombine çevrimi; MW = megawatt; PV = fotovoltaik.

Şekil 3 ■ Ülkeye göre operasyonel CSP kapasitesinin evrimi



Tablo 1 ■ Dünya çapında inşa halindeki ticari CSP projeleri

Ülke	Elektrik santrali	Kapasite (M.Ö.)	Teknoloji	Yorumlar	Başladı/ beklenen son
Çin	CEIC Dunhuang 100 MW Fresnel + 600 MW fotovoltaik	100	V-hibrit; Fresnel	Birlikte yer alan 600 MW PV	2021/2024
Çin	Jinta Zhongguang Solar 100 MW Kule + 600 MW PV	100	PV-hibrit; kule	Birlikte yer alan 600 MW PV	2022/2023
Çin	Huidong Yeni Enerji Akesai 110 MW Kule + 640 MW PV	110	PV-hibrit; kule	Birlikte yer alan 640 MW PV	2022/2023
Çin	Three Gorges CTGR Henderson Energy Guazhou 2x50 MW Kulesi + 200 MW PV + 400 MW Rüzgar	100	Rüzgar-PV-melez; kule	Bir türbine sahip 2x50 MW kule; 200 MW PV ile aynı yerde bulunmaktadır ve 400 MW rüzgar	2022/2024
Çin	CNNC Yumen 100 MW Fresnel + 400 MW PV + 200 MW Rüzgar	100	Rüzgar-PV-melez; Fresnel	Birlikte yer alan 200 MW PV + 400 MW rüzgar	2022/2023
Çin	Power China Ruoqiang 100 MW Kule + 900 MW PV	100	PV-hibrit; kule	Birlikte yer alan 900 MW PV	2022/2024
Çin	Power China Toksun 100 MW Kule + 900 MW PV	100	PV-hibrit; kule	Birlikte yer alan 900 MW PV	2023/2025
Çin	SIDC Ruoqiang 100 MW Kulesi + 900 MW fotovoltaik	100	PV-hibrit; kule	Birlikte yer alan 900 MW PV	2023/2025
Çin	CTGR Qinghai Golmud 100 MW Kule + 1 000 MW PV	100	PV-hibrit; kule	Birlikte yer alan 1 000 MW PV	2023/2024
Çin	CTGR Qinghai Quingyu DC 100 MW Kule + 900 MW PV	100	PV-hibrit; kule	Birlikte yer alan 900 MW PV	2023/2024
İtalya	CSP2 SOLINPAR Sicilya Stromboli MS-LFR	4	PV-hibrit; Fresnel	PV ile aynı yerde bulunmaktadır	2020/2021
İtalya	CSP3 BILANCIA Sicilya MS-LFR	4	PV-hibrit; Fresnel	PV ile aynı yerde bulunmaktadır	2022
Suudi Arabistan	ISCC Yeşil Duba 1	43	ISCC; çukur	ISCC	2016/2023
Güney Afrika	Kırmızı taş	100	Güç kulesi	Aynı yerde bulunan 75 MW Jasper ve 96 MW Lesedi PV projeleri	2021/2023
Birleşik Arap Emirlikler	Noor Energy 1 / DEWA IV 3x 200 MW oluk segmenti	600	Parabolik çukur	Toplamda 250 MW PV ve 100 MW CSP kulesi ile birlikte konumlandırılmıştır 950 MW; proje düzeyinde melezleşme	2023
Birleşik Arap Emirlikler	CSP-PV hibrit projesi Noor Enerji 1 / DEWA IV 700 MW CSP + 250 MW PV	700	PV-hibrit; çukur; kule	PV ve CSP'nin proje düzeyinde hibridizasyonu	2023

Kaynak: (Thonig, Gilmanova ve Lilliestam, 2023).

Notlar: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; ISCC = entegre güneş kombine çevrimi; MW = megawatt; PV = fotovoltaik.

Müzayede, CSP maliyetlerini düşürmede etkili olsa da, 1980'lerden bu yana CSP'nin yeniden canlanmasının önemli ölçüde İspanya'nın besleme tarifesi (FiT) kaynaklandığı dikkat çekicidir (Martín ve diğerleri., 2015). Bu girişim daha sonra Hindistan'da taklit edildi (Shankar ve diğerleri., 2024) ve Çin (Ling-zhi) ve diğerleri., 2018) çeşitli derecelerde, İspanya'yı küresel CSP dağıtımında mevcut lider konumuna getirmiştir,² özellikle PT'de.

Üretim süreçlerindeki ilerlemelerle öncelikli olarak iyileşen fotovoltaik (PV) teknolojisinin aksine, CSP pratik deneyim yoluyla teknolojiyi geliştirmek için operasyonel güç santrallerine güvenir ("yaparak öğrenme"). PT teknolojisi, 2008'den beri 44 operasyonel güç santralının inşa edildiği İspanya'da önemli ilerlemeler kaydetti. Ancak, eğilim son zamanlarda Çin'in toplam kurulu kapasitede 321 megavat (MW) (sekiz güç santrali) operasyonel ve iki santral daha (birlikte 200 MW) inşa halinde olduğu yeni ortaya çıkan güneş kulesi (ST) teknolojisine kaydı. Buna karşılık, İspanya'da her biri 50 MW'tan az kapasiteye sahip sadece dört ST santrali bulunmaktadır. Bu, Çin'in ortaya çıkan teknolojik nişlerden yararlanma yeteneğini göstermektedir (Gosens ve diğerleri., 2021).

CSP'yi PV veya rüzgar teknolojileriyle bütünleştiren hibrit sistemlere doğru yönelme, pazarın daha esnek ve güvenilir enerji çözümlerine olan talebine bir yanittir. Bu hibrit yapılandırmalar, güneş ve rüzgar kaynaklarının değişkenliğini dengeleyen dengeli bir enerji çıkışı sağlayarak yenilenebilir enerjinin şebekeye entegrasyonunu destekler. Hibritleştirme, güneş alanının (genellikle en pahalı bileşen) gereken boyutu azaltıldığından enerji santrallerinin genel maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilir.

Geleneksel olarak CSP sistemleri, yılda metrekare başına 1.900 kilovatsaati (kWh/m²/yıl) aşan doğrudan normal ışınım (DNI) olan bölgelerde en iyi şekilde etkili kabul edilirken, çok daha düşük DNI seviyelerine sahip bölgelerde de ilgi çekici olabilir.

CSP'nin benimsenmesi eşitsiz olmuştur; bazı bölgeler yetersiz hükümet teşvikleri veya sınırlı finansman nedeniyle geride kalmıştır. CSP'nin uygulandığı ülkelerde, finansman mekanizmalarıyla birleştirilen açık artırmalar maliyetleri düşürürken diğer hedeflere ulaşılmasına yardımcı olmuştur.

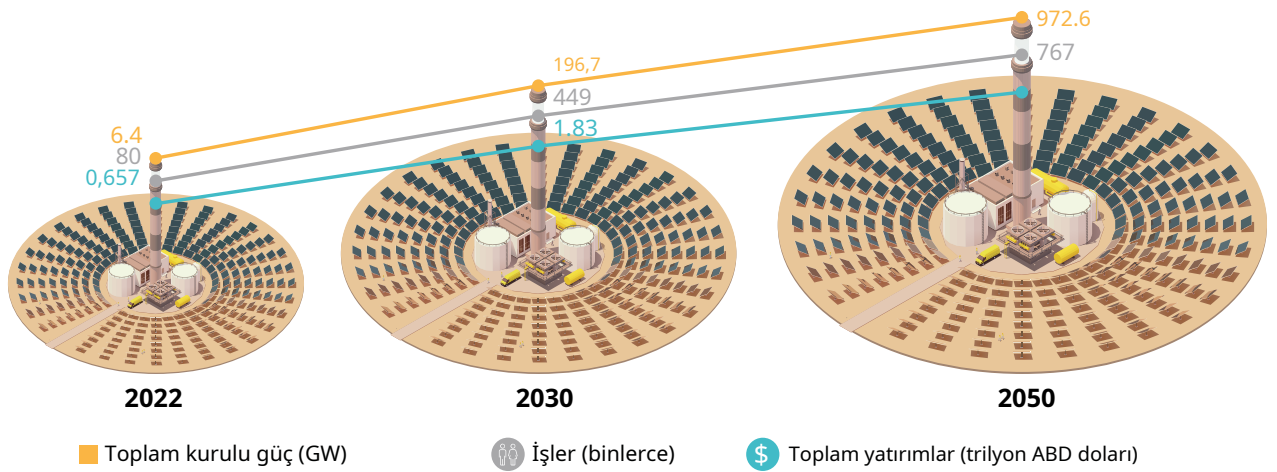
CSP için enerjinin seviyelendirilmiş maliyeti (LCOE) 2010 ile 2020 arasında küresel olarak %69 oranında azaldı ancak depolama özelliği olmayan güneş ve rüzgar gibi diğer teknolojilerden daha yüksek kalmaya devam ediyor. Maliyetler daha yüksek olsa bile, CSP depolama ve sistem dengeleme potansiyeli ve tedarik zincirlerini ve sosyo-ekonomik faydaları yerelleştirmesi nedeniyle değer yaratma açısından birçok fırsat sunuyor (IRENA, 2023). Diğer yenilenebilir enerji alternatiflerine kıyasla doğası gereği düşük çevresel etki ve stratejik, tehlikeli veya çevreye zararlı malzemelere olan bağımlılığın azalması, bu teknolojilerin küresel ölçekte pazar penetrasyonunu ilerletmesi beklenen ek faktörlerdir.

² www.solarpaces.org/worldwide-csp/csp-projects-around-the-world.

2. KONSANTRE GÜNEŞ ENERJİSİ SEKTÖRÜNDE DEĞER YARATMA FIRSATLARI

IRENA, Paris Anlaşması'nın hedefleriyle uyumlu bir senaryoda, küresel kurulu CSP kapasitesinin 2030'a kadar 196,7 GW'a ve 2050'ye kadar 872,6 GW'a ulaşması gerekeceğini öngörüyor (IRENA, 2023). Böyle bir genişleme, 2030'a kadar yaklaşık 657 milyar ABD doları tutarında kümülatif yatırım ve ardından ek bir

Şekil 4 ■ Paris Anlaşması'nın enerji geçiş hedeflerine ulaşmak için 2023'te tahmini kümülatif CSP kapasitesi, yatırımları ve istihdamı ile 2030 ve 2050'de ihtiyaç duyulanlar



Temel olarak: (IRENA, 2023) ve (IRENA ve ILO, 2023). Notlar:
CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; GW = gigawatt.

2030'dan 2050'ye kadar 1,83 trilyon ABD doları yatırım (IRENA, 2023). Diğer faydaların yanı sıra, bu finansal girdiler ithalata bağımlı uluslar için enerji güvenliğini güçlendirebilir ve iş yaratarak (2050'ye kadar 767.000'e kadar iş) değeri hızlandırabilir (bkz. Şekil 4). Ayrıca, CSP depolama olanağı sağlayarak ve şebekeleri stabilize etmeye yardımcı olarak güç sistemlerine değer katar.

CSP teknolojileri, diğer yenilenebilir teknolojiler gibi, yerel değer üretimi için yüksek potansiyele sahiptir. Bazı ülkelerin kritik tesis bileşenlerini üretememesine rağmen, değer zincirinin çeşitli diğer segmentlerinde, özellikle EPC'de ve işletme ve bakım (O&M) ve devre dışı bırakma aşamalarında önemli iş yaratma fırsatları mevcuttur. Bölüm 2.1, iş yaratma potansiyelini sunar ve Bölüm 3, değer zincirinin her segmentindeki fırsatları ve gereksinimleri inceler. Şekil 5, bir CSP tesisi için standart değer zincirini tasvir ederek her segmentteki temel faaliyetleri vurgular. Operasyonların ve faaliyetlerin sırası, çeşitli faktörlerden etkilenerek bir ülkeden veya projeden diğerine biraz farklılık gösterebilir.

Şekil 5 Bir CSP tesisi için değer zinciri



Not: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi.

CSP dağıtımının yerel değer üretme potansiyelini değerlendirmek, ithal mallara ve/veya hizmetlere bağımlılığa kıyasla ev sahibi ülkelerde gelir yaratma ve iş yaratma gibi sosyoekonomik avantajların kapsamını belirlemeye yardımcı olabilir. Yerel değer yaratma potansiyeli büyük ölçüde bir ülkenin yenilenebilir enerji pazarının ölçeğine, yenilenebilir enerji ve endüstriyel sektörlerinin olgunluğuna, ilgili endüstrilerin varlığına, gerekli bileşenler ve hizmetler için bölgesel ve küresel pazarların dinamiklerine, becerilerin mevcudiyetine ve genel iş ortamına bağlıdır.

Ayrıca CSP teknolojileri, şebeke istikrarını ve depolamayı sağlayarak arzın talebe uyumunu sağlayarak güç sistemine önemli bir değer katabilir.

2.1 Sistem dengeleme ve depolama

CSP'nin yeni pazarlara açılması, aynı zamanda, değişken güneş PV ve rüzgar enerjisinin değerli bir tamamlayıcısı olan istikrarlı ve dağıtılabilir güç sağlama yeteneğiyle de yönlendirilmektedir. CSP'yi PV veya rüzgar teknolojileriyle entegre eden hibrit sistemler, pazarın daha esnek ve güvenilir enerji çözümlerine olan talebine bir yanıt olabilir. Bu hibrit yapılandırmalar, güneş ve rüzgar kaynaklarının değişkenliğini azaltan dengeli bir enerji çıkışı sağlayarak yenilenebilir enerjinin şebekeye entegrasyonunu destekler. Hibrit yapılandırmalara örnek olarak, rekabetçi tedarik (müzayede) yoluyla verilen Fas ve Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki hibrit güneş kompleksleri (güneş PV ve CSP) verilebilir. Kutu 1, fiyatın ötesinde hedeflere ulaşmak için CSP müzayedelerinin sonuçlarının ve tasarımının bazı önemli noktalarını sunmaktadır.

Diğer yöntemlerin yanı sıra, genellikle iki tanklı erimiş tuz sistemleri aracılığıyla CSP'ye termal depolama entegrasyonu önemli bir avantaj sağlar (Zhang ve diğerleri., 2024). Modern CSP tesisleri termal depolama çözümlerini benimsemiştir; bu, operasyonel esnekliklerini artırmış ve elektrik piyasası fiyatlarının zirve yaptığı dönemlerde enerji tedarik etmelerine olanak sağlamıştır (Live diğerleri., 2022; Zuritave diğerleri., 2020).

Kutu 1 ■ CSP'yi desteklerken değer yaratımını en üst düzeye çıkarmak için bir politika aracı olarak müzayedede

Çeşitli ülkeler yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) için ihaleler düzenledi. Aşağıda bazı örnekler verilmiştir (Dünya Bankası, 2021):

- **Güney Afrika** 2011 yılında yapılan yenilenebilir enerji ihalesi sonucunda 2019 yılına kadar toplam 500 MW'lık CSP santrali devreye alındı.³
- **Fas**, Fas, 2016'daki ilk operasyonel CSP tesisinden bu yana, 2018'de 160 MW'lık bir proje için yapılan ihale de dahil olmak üzere, birkaç CSP odaklı ihale düzenledi. Ouarzazate'deki Noor Enerji Santrali dört turda ihale edildi: CSP için ilk üç tur toplam 510 MW'dı. 160 MW'lık Noor I ve 200 MW'lık Noor II projeleri sırasıyla üç ve yedi saatlik depolama kapasitesine sahip parabolik oluk teknolojilerini kullanırken, 150 MW'lık bir güneş kulesi olan Noor III'ün yedi saatlik depolama kapasitesi var. Bunları 72 MW'lık PV için dördüncü bir tur izledi. Fas, Mayıs 2019'da dünyanın ilk gelişmiş CSP ve PV hibritini ihale etti. 800 MW'lık CSP-PV Noor Midelt hibriti, gün boyunca ve gün batımından beş saat sonrasına kadar dağıtılabılır güneş enerjisi sağlamak üzere tasarlanmıştır.
- **Şili**, Şili'de 2017 yılında düzenlenen yenilenebilir enerji ihalesinde, toplamda 2020 yılına kadar 250 MW'a ulaşacak çok sayıda CSP sözleşmesi imzalandı.
- **Birleşik Arap Emirlikleri**, Dubai'deki Muhammed bin Raşid El Maktum Güneş Enerjisi Parkı ihalesinin dördüncü fazı, 15 saatlik termal depolama kapasitesine sahip, 600 MW'ı parabolik havza kompleksinden ve 100 MW'ı konsantre güneş kulesinden oluşan 700 MW'lık bir CSP projesidir.

Özellikle CSP veya diğer yenilenebilir teknolojilerin dağıtımını için yapılan açık artırmalar için, yerel topluluk avantajlarını ve sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı vurgulayan koşulların oluşturulması esastır. Aşağıda, sosyo-ekonomik getirileri optimize etmek için açık artırma tasarımında dikkate alınması gereken bazı temel hususlar verilmiştir (IRENA, 2019) ve (Del Río ve Mir-Artigues, 2019):

- **Küçük ve yeni oyuncuların dahil edilmesi**. Aşağıdaki tasarım öğeleri küçük ve yeni oyuncuların dahil edilmesini sağlayabilir:
 - Yerel, küçük ve yeni oyuncular için önceden belirlenmiş bir ses seviyesi belirleme;
 - teknolojiye özgü ihaleler ve sınırlı proje büyüklüğü;
 - ayrıcalıklı muamele (*örneğin*, indirimli teminat mektubu) ve daha az sıkı yeterlilik şartları;
 - daha az sıkı uyum kuralları.
- **Yerel sanayinin geliştirilmesi ve istihdam yaratılması**. Aşağıdaki tasarım unsurları yerel sanayinin gelişmesini ve iş yaratılmasını sağlayabilir:
 - Yerel istihdam yaratılması için yerel içerik gereksinimleri ve taahhütleri;
 - Kazananların seçilme kriterleri;
 - Yerel sanayiye destekleyen açık artırmaların düzenliliği.
- **Ulusal altı kalkınma ve toplum yararları**. Aşağıdaki tasarım unsurları, ulusal altı kalkınmayı ve toplumsal yararların yaratılmasını mümkün kılabilir:
 - Bölge, saha veya proje bazlı açık artırmalar, politika hedeflerine en uygun saha ve bölgelerin önceden seçilmesine olanak tanır;
 - Müzayedede katılımcıları için bağlayıcı olan, sağlam belgelere dayalı arazi kullanım haklarının kanıtı.

Müzayedelere ek olarak, çeşitli teşvikler CSP teknolojisinin benimsenmesini teşvik edebilir. Örnekler arasında Güney Afrika'nın Yenilenebilir Enerji Bağımsız Güç Üreticisi Tedarik Programı ve büyük ölçekli güneş PV ve rüzgar santralleri için depolama entegrasyonunu zorunlu kılan ve hibrit tesislerle sonuçlanabilen Çin düzenlemeleri yer alır. Doğru politika seti, yerel faydaları en üst düzeye çıkarırken CSP'yi destekleyebilir.

³ Güney Afrika'nın devreye alınmış 500 MW'lık CSP projelerine ek olarak, 2024 yılında faaliyete geçmesi beklenen 100 MW'lık bir CSP projesi olan Redstone Güneş Santrali bulunmaktadır. Bu proje, Güney Afrika'nın Yenilenebilir Enerji Bağımsız Güç Üreticisi Programı çerçevesinde 2015 yılında ACWA Power ve SolarReserve'e verilmiştir.

2.2 Değer zinciri boyunca iş yaratma fırsatları

Değer zincirinin birincil segmentleri arasındaki iş dağılımının değerlendirilmesi, on saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP tesisi kurmanın yaklaşık 1,16 milyon adam-gün gerektirdiğini ortaya koymaktadır (bkz. Kutu 2). Bu rakam doğrudan⁴yalnızca işler ve dolaylı olanları içermez⁵veya indüklenen⁶Bir CSP tesisinin ekonomik faaliyetinden elde edilen işler.

Kutu 2 ■ Temsili bir CSP tesisi için parametrelerin seçimi ve işgücü gereksinimlerini tahmin etme metodolojisi

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) projelerinin iş gücünü ve malzeme ve ekipman gereksinimlerini göstermek için, bu rapor boyunca on saatlik termal enerji depolama (TES) kapasitesine sahip 100 MW'lık bir CSP santrali örneği kullanılmıştır. Parabolik oluk ve güneş kuleleri olmak üzere iki baskın CSP teknolojisine dayanan referans santralin yapılandırılması, iki coğrafi örnek çalışma için optimize edilmiş ve analiz edilmiştir: İspanya ve Güney Afrika.

Referans CSP santrali için nominal güç ve TES kapasitesi seçimi, küresel olarak CSP santrali dağıtımlarındaki hakim eğilimlerin ayrıntılı bir incelemesine dayanmaktadır. Bu inceleme, nominal güç ve TES kapasiteleri için yalnızca geçmiş verilerin ötesine geçer; ayrıca geliştiricilerin değişen tercihlerini ve enerji geçişi için gelişen hedefleri de dikkate alır. Boyut açısından, seçilen nominal güç, şu anda dağıtılan aralığın oldukça içindedir. Bazı parabolik oluk santralleri 100 MW'ı aşmış olsa da, giderek yaygınlaşan güç kulesi santralleri daha düşük nominal güce sahip olma eğilimindedir. Bu nedenle 100 MW kapasitenin seçilmesi her iki teknoloji için de temsildir.

Aralıklı yenilenebilir enerji kaynaklarının güç sistemlerine entegrasyonu, enerji depolamanın değerini giderek daha fazla vurgulamaktadır. CSP tesisleri, endüstrinin daha büyük TES sistemlerine doğru yönelmesini yansıtan önemli termal depolamayı dahil etmede özellikle etkilidir. CSP tesislerinin mevcut ortalama TES kapasitesinin nominal güçte 7,5 saat olması ve daha büyük kapasitelere doğru belirgin bir eğilim olmasıyla, on saatlik TES kapasitesi, en son endüstri gelişmeleriyle uyumlu, ihtiyatlı ve makul bir karardır.

Bu rapor taslağı hazırlanırken açık veriler ve endüstri desteği mevcut olmadığından, rapordaki kişi-gün cinsinden işgücü çabası tahminleri, işbirliği yaptıkları çok sayıda CSP projesinden ilgili bilgilerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesinden elde edilen ve saha verilerinin dikkate alınan referans CSP tesisinin belirli özelliklerine göre uyarlanmış uyarlamasından elde edilen, dahil olan temel uzmanların bilgilendirilmiş yargılarına dayanmaktadır. Bu tahminler formüle edildikten sonra, geri bildirimleri daha sonra tahminleri iyileştirmek için kullanılan endüstri profesyonelleriyle paylaşılmıştır.

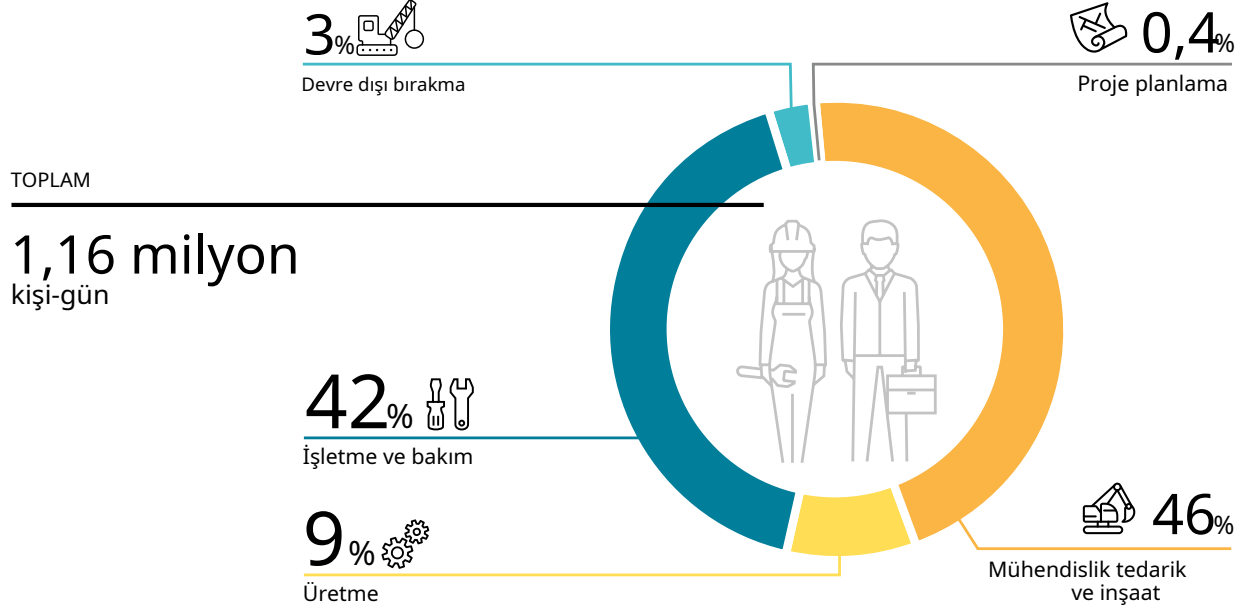
⁴ Doğrudan istihdam, yenilenebilir enerji ekipmanı üretmek veya tesisler inşa etmek ve işletmek için gerekli ara girdiler dikkate alınmadan, doğrudan çekirdek faaliyetler nedeniyle oluşturulan istihdamı ifade eder. Doğrudan dahil olan bu endüstrilere yenilenebilir enerji endüstrileri (sektörleri) de denir. Doğrudan istihdama ilişkin veriler, endüstri anketlerine veya söz konusu endüstri için temsili projelerden ve tesislerden elde edilen verilere dayanarak hesaplanabilir veya seçilen endüstriler için emek girdi katsayıları (istihdam faktörleri) gibi ekonomik veriler kullanılarak hesaplanabilir.

⁵ Dolaylı istihdam, yenilenebilir enerji dağıtımının temel faaliyetlerini tedarik eden ve destekleyen yukarı akış endüstrilerindeki istihdamı içerir. Bu pozisyonlardaki çalışanlar çelik, plastik veya diğer malzemelerin üretiminde yer alabilir veya finansal ve diğer hizmetleri sağlayabilirler. Bu endüstriler doğrudan yenilenebilir enerji faaliyetlerine dahil değildir ancak her yenilenebilir enerji teknolojisinin değer zinciri boyunca ara girdiler üretir. Bir literatür taraması, dolaylı işleri dahil etmenin genellikle genel iş sayılarını %50 ila %100 arasında artırdığını göstermektedir.

⁶ Tetiklenen istihdam, yenilenebilir enerji endüstrisi ve onun yukarı akış endüstrilerinin ötesindeki işleri içerir; örneğin, tüketim malları endüstrisindeki işleri içerir. Doğrudan veya dolaylı olarak istihdam edilen kişiler gelirlerini daha geniş ekonomideki çeşitli kalemlere (örneğin yiyecek, giyim, ulaşım ve eğlence) harcadıklarında, bu harcama tetiklenen istihdam etkileri yaratır.

Şekil 6'da görüldüğü gibi, işgücü değer zinciri boyunca eşit olmayan bir şekilde dağılmıştır; EPC (%46) ve O&M (%42) sektörlerinde ve daha az ölçüde temel bileşenlerin üretiminde (%9) önemli kümelenmeler görülebilir.

Şekil 6 ■ On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP santralının geliştirilmesi için değer zinciri boyunca işgücünün dağılımı

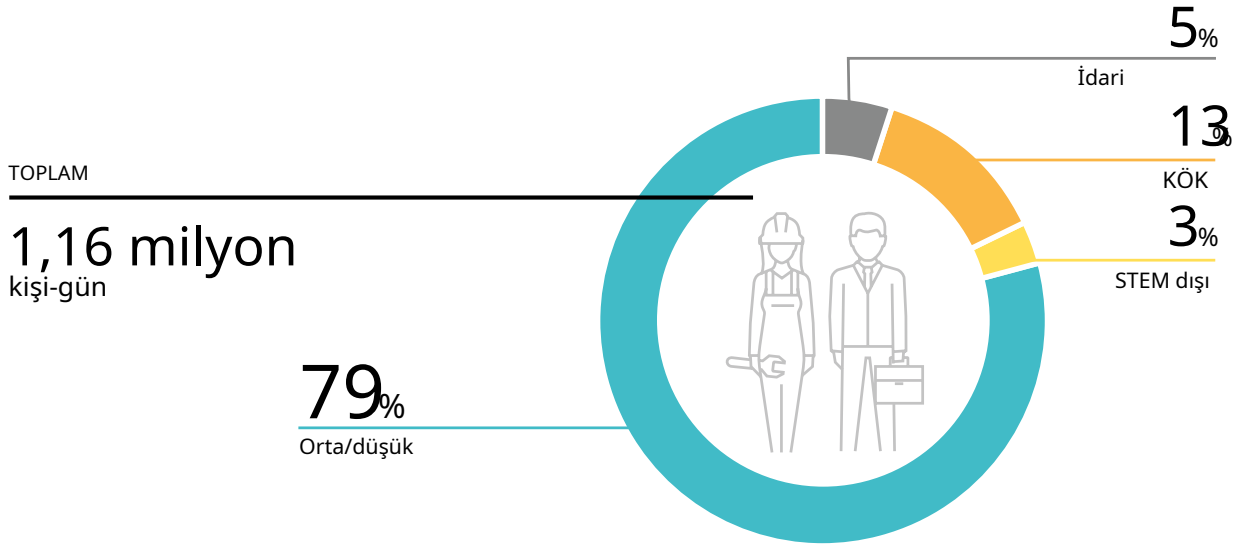


Notlar: Güneş enerjisi santrallerinin operasyonel verimliliği ilk iki veya üç yılda önemli ölçüde iyileşirken, sonraki yıllarda ihmal edilebilir ek kazanımlar kaydedilir. Bu nedenle, 25 yıl boyunca kümülatif gereksinimler için ortalama üretkenlik iyileştirmelerinin yılda %0,5 olduğu tahmin edilmektedir. CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; EPC = mühendislik, tedarik ve inşaat; MW = megawatt; O&M = işletme ve bakım; TES = termal enerji depolaması.

Yerli ekipman imalatından yoksun ülkeler, özellikle EPC ve O&M sektörlerinde olmak üzere diğer değer zinciri segmentlerinde istihdam yaratabilirler. Gerekli işgücünün önemli bir kısmı (%79), genellikle herhangi bir ulusal işgücü havuzunda erişilebilir olan veya sertifika programları veya mesleki eğitim merkezleri aracılığıyla geliştirilebilen düşük ila orta düzey teknik beceriler gerektirir (Şekil 7). Bu beceri setlerinin çoğu, fosil yakıtlı enerji santralleri sektöründe zaten iyi bir şekilde yerleşmiştir. Bu nedenle, enerji endüstrisi yenilenebilir teknolojilere doğru kayarken işgücü geçişi için değerli bir fırsat vardır. Bu geçiş yalnızca mevcut uzmanlığı güçlendirmekle kalmaz, aynı zamanda çalışanların CSP sektörünün değişen taleplerini karşılamak için yeniden beceri edinmelerini ve becerilerini geliştirmelerini kolaylaştırır.

Aşağıdaki tartışma, küçük hidro uygulama değer zincirinin farklı segmentleri için işgücü ve ekipman gereksinimlerini, proje fizibilite çalışmalarından faydalı ömürlerinin sonuna ulaşan projelerin devre dışı bırakılmasına kadar vurgulamaktadır.

Şekil 7 ■ On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP santrali geliştirmek için gereken becerilerin dağılımı



Notlar: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; MW = megawatt; STEM = bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik; TES = termal enerji depolama.

Bölüm 3, proje fizibilite çalışmalarından operasyonel sonlarına ulaşmış tesislerin devre dışı bırakılmasına kadar CSP değer zinciri için işgücü ve ekipman gereksinimlerini ayrıntılı olarak açıklamaktadır. Oluşturulan iş türlerini ve bireysel değer zinciri segmentleri genelinde değer yaratma olasılıklarını incelemektedir. Bölüm, politika yapıcılara CSP tesislerinin inşası, işletilmesi ve nihai devre dışı bırakılması için gereken işgücü ve beceriler hakkında içgörüler sağlamaktadır.



3. CSP GELİŞTİRMEYE YÖNELİK GEREKLİLİKLER

CSP tesislerinin dağıtımından elde edilen yerel avantajların optimize edilmesi, endüstrinin değer zinciri boyunca iş dağılımını dikkate alan politika çerçevelerini gerektirir. Bu bölüm, CSP sektöründeki iş yoğunluğunu ve sektörün enerji geçişinden etkilenen çalışanları entegre etme kapasitesini inceler. İş yaratmanın ötesinde, ekonomik değer, malzeme tedariki, ekipman kurulumu ve devam eden O&M dahil olmak üzere sektörel faaliyetlerden kaynaklanır.

Sonraki alt bölümler, değer zincirindeki her adımın hedeflerini açıklar. İlişkili birincil faaliyetleri, iş yaratma potansiyelini ve malzeme gereksinimlerini ayrıntılı olarak açıklarlar.

3.1 Proje planlaması

Değer zincirinin ilk aşaması bir dizi kritik faaliyeti kapsar: saha seçimi, teknik ve finansal fizibilite çalışmaları, tasarım mühendisliği ve proje geliştirme.

Bir CSP tesisi için en uygun yer, bir yerin potansiyelinin değerlendirilmesi ve olası çevresel ve sosyal sonuçların incelenmesine dayanarak seçilir. Bu değerlendirmeyi, yatırımın karlılığını belirlemek için ekonomik bir fizibilite çalışmasıyla tamamlanan kapsamlı bir teknik fizibilite analizi takip eder. Bunu, güneş santralinin elektrik ve mekanik sistemlerini ve inşaat işleri planlamasını, altyapı kurulumunu ve bunun için olası O&M'yi ele alan tasarım mühendisliği takip eder. Proje geliştirme aşaması, izin ve lisansların alınması, finansman ve sözleşmelerin müzakere edilmesi, arazi temini veya kiralama ve düzenleyici ve tedarik süreçlerinin yönetilmesi gibi idari görevlere ayrılmıştır.

Bu aşamada bir yerin uzun vadeli iklim koşullarının değerlendirilmesi zorunludur, çünkü mevcut güneş kaynağının ve niteliklerinin tahminini bilgilendirir ve teknik ve ekonomik analizlerin temelini oluşturur. Bu iklim değerlendirmesi ayrıca tesisin işleyişini ve güneş kollektörleri gibi kritik bileşenlerin bütünlüğünü etkileyebilecek meteorolojik olayların tanınmasına yardımcı olur. Yapıların ve temellerin kurulumunu etkileyebilecek toprak özellikleri de dikkate alınmalıdır.

Bu planlama aşaması, güneş DNI'si, rüzgar yönü ve hızı, ortam sıcaklığı ve bağıl nem dahil olmak üzere ilgili meteorolojik değişkenleri ölçmek için önerilen tesis alanına aletlerin yerleştirilmesini gerektirir. Sahada toplanan veriler, potansiyel mikro iklimsel endişeleri belirlemek ve DNI'nin ayrıntılı karakterizasyonuna yardımcı olmak için bölgesel meteoroloji istasyonlarından veya uydu ölçümlerinden alınan verilerle yan yana getirilmelidir. Hesaplamalı programlar aracılığıyla yapılan simülasyonlar, bir saha için güneş kaynağı değerlendirmesine dayalı teknik ve finansal analizler yürütmek için çok önemlidir.

Bu aşamada, tasarımcılar hangi bileşenlerin ithal edileceğini ve hangilerinin yerel olarak mevcut olduğunu belirler. Bu karar, teknoloji maliyeti, ithalat vergileri, yerel ürün sübvansiyonları, ulaşım giderleri, yerel tedarik zorunlulukları ve diğer hususlar gibi faktörlere dayanır.



On saatlik TES ile 100 MW CSP santrali planlamak tahmini 4 195 adam-gün işçilik gerektirir. Tablo 2'de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi, proje planlaması için işçilik dağılımı şu şekildedir: proje geliştirme (%47, 1 961 adam-gün), mühendislik tasarımı (%23, 977 adam-gün), fizibilite analizi (%18, 741 adam-gün) ve saha seçimi (%12, 516 adam-gün).

Tablo 2 ■ On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP tesisinin planlanması için gereken işgücü (adam-gün) ve faaliyete göre dağılımı

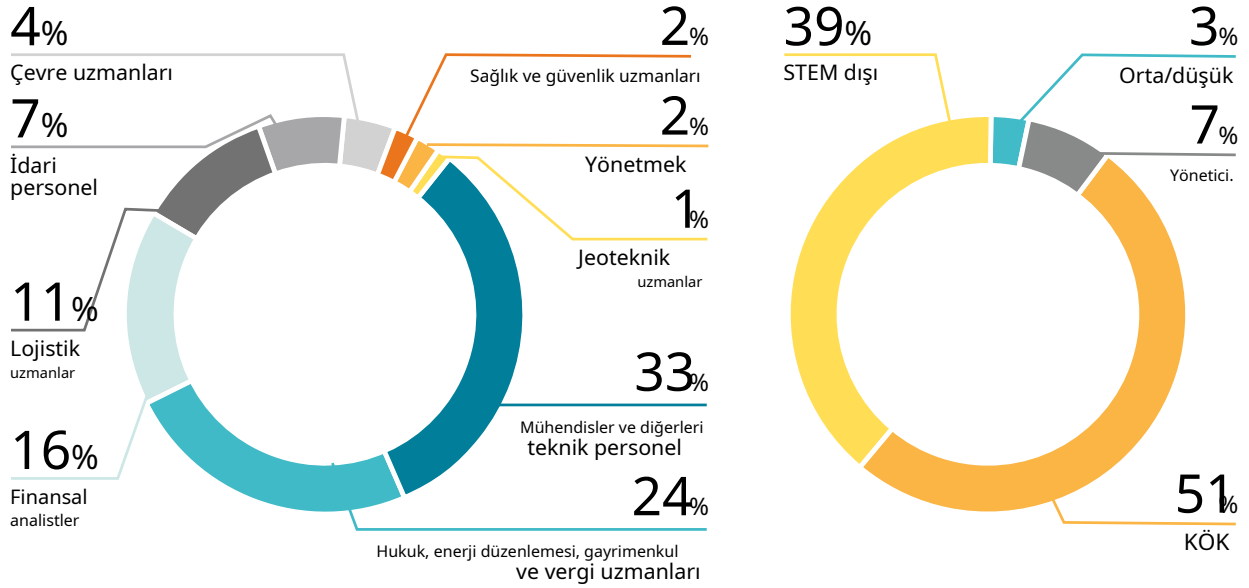
İşgücü türü	Alan seçim	Fizibilite analiz	Mühendislik tasarım	Proje gelişim	Toplam (kişi-gün)
Mühendisler ve diğerleri teknik personel	234	469	703	-	1 476
Hukuk, enerji düzenlemesi, gayrimenkul ve vergi uzmanları	129	83	138	648	998
Finansal analistler	-	54	-	630	684
Lojistik uzmanları	-	-	-	450	450
İdari personel	20	26	26	233	305
Çevre uzmanları	72	86	-	-	158
Sağlık ve güvenlik uzmanları	-	-	75	-	75
Yönetmek	12	23	35	-	70
Jeoteknik uzmanları	49	-	-	-	49
TOPLAM	516	741	977	1 961	4 195
(gibi %)	%12	%18	%23	%47	

Notlar: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; MW = megawatt; TES = termal enerji depolama.

En çok talep gören beceriler arasında STEM (bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik) alanlarındaki beceriler, örneğin enerji düzenlemesi, mühendislik ve çevre sağlığı ve güvenliği ile jeoteknik uzmanlık yer alır. Hukuk, emlak, vergi, finansal analiz ve lojistik uzmanları gibi STEM dışı meslekler de önemlidir. Mühendisler en çok arananlardır ve toplam işgücünün %34'ünü (1 406 kişi-gün) oluştururlar, ardından %24'lük (996 kişi-gün) bir paya sahip hukuk, enerji düzenlemesi, emlak ve vergi uzmanları gelir. Bu pozisyonlar genellikle hem yabancı hem de yerel uzmanlar tarafından doldurulabilir. Şekil 8, on saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP santrali için bir proje planlamak için gereken işgücünün mesleklerini ve beceri setlerini ayrıntılı olarak açıklamaktadır.



Şekil 8 ■ Mesleğe ve beceri setine göre, on saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP santralinin planlanması için gereken işgücünün dağılımı



Notlar: Admin. = idari; CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; MW = megawatt; STEM = bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik; TES = termal enerji depolama.

Aşağıdaki alt bölümlerde ana proje planlama faaliyetlerinin her biri daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

3.1.1 Site seçimi

Bir CSP tesisi için uygun bir sahanın seçimi kamu sektörünün veya proje geliştiricisinin yetki alanına girebilir. Seçilen saha aşağıdaki kriterlere göre titizlikle değerlendirilmelidir:

- **Uzun vadeli güneş kaynağı.**Bu, bir yerin aldığı doğrudan güneş radyasyonunun miktarı, güneş radyasyonunun zamansal dağılımı ve yerinde yapılan ölçümler ve/veya uydu verileri aracılığıyla belirlenen meteorolojik koşulların etkisi anlamına gelir.
- **Mevcut arazi alanı ve topoğrafya.**Kamusal ölçekteki CSP kurulumları genellikle geniş, engelsiz bir arazi gerektirir.
- **Yerel su kaynakları.**CSP tesisleri, kaynak varsa, buhar türbini kondansatörü için soğutma ortamı olarak su kullanabilir. Buhar türbininde çalışma sıvısı olarak ve güneş yoğunlaştırıcılarının aynalarını temizlemek için su kullanırlar.
- **Şebeke bağlantıları.** Bir CSP tesisi tarafından üretilen elektriğin tüketicilere etkili bir şekilde iletilmesi kritik öneme sahiptir. Yüksek gerilim hatlarına erişim bir zorunluluktur.
- **Ulaştırma ve haberleşme altyapısı.**Personel, malzeme ve ekipmanın sahaya taşınması için yeterli yolların bulunması ve havaalanlarına ve diğer tesislere yakınlık şarttır.
- **Çevresel ve ekolojik etki.**CSP kurulumunun potansiyel çevresel ve ekolojik etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmelidir. Buna yerel yaban hayatı, bitki örtüsü ve ekosistemler üzerindeki etkilerin değerlendirilmesi de dahildir. Kapsamlı risk azaltma stratejileri geliştirilmeli ve niceliksel olarak belirlenmelidir.

CSP'yi diğer yenilenebilir enerji teknolojileriyle hibritleştirme eğiliminin artması, yalnızca bir yerin CSP için değil aynı zamanda PV ve rüzgar enerjisi için de uygunluğunu değerlendirmenin önemini vurgulamaktadır. Bu kapsamlı değerlendirme, bu teknolojileri potansiyel CSP tesis yerlerine yakın bir yere yerleştirmek için mevcut ve gelecekteki planları dikkate almalıdır. Hibrit enerji çözümleri daha yaygın hale geldikçe, birden fazla yenilenebilir enerji kaynağını kapsayan saha seçimi kriterlerini entegre etmek, projelerin verimliliğini ve ekonomik uygulanabilirliğini en üst düzeye çıkarmak için kritik öneme sahiptir.



Saha seçimi için hayati önem taşıyan işgücü, yerel hava durumu veri analistlerini; arazi özelliklerini değerlendirmek için jeoteknik uzmanları; etkileri, riskleri ve olası çatışmaları değerlendirmek için çevre uzmanlarını; enerji politikası, arazi kullanımı ve şebeke erişimi gibi düzenleyici konularda yol göstermek için hukuk ve emlak profesyonellerini içerir. Gereken çabanın kapsamı, enerji sektöründeki geçerli yasal ve düzenleyici çerçevelere, konum özelliklerine, erişilebilirliğe, şebeke bağlantı gereksinimlerine ve bir projenin büyüklüğüne bağlıdır (Tablo 2'ye bakın). Bu etkinlik, erişilebilir olduğunda yerel uzmanlıktan yararlanabilir.



Saha seçimi için gereken temel ekipman, bir sahanın güneş kaynağının değerlendirilmesiyle ilgilidir. Bir CSP santrali için ekonomik fizibilite analizi yapmak için bir sahadaki DNI hakkında derinlemesine bilgi sahibi olmak zorunludur, çünkü DNI bir santralin enerji çıktısının kritik bir belirleyicisidir. Bir CSP santrali için fizibilite analizi, genellikle DNI'nin ve diğer meteorolojik parametrelerin saatlik değerlerini içeren Tipik Meteorolojik Yıl veri kümesi kullanılarak santralin performansının simüle edilmesiyle gerçekleştirilir.

Bu faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan bilgiler arasında, arazi kullanımına ilişkin politika ve düzenlemelerin hükümleri ve CSP projelerinin geliştirilmesine ilişkin kısıtlamaların yanı sıra kaynak mevcudiyetine ilişkin veriler de yer almaktadır.

3.1.2 Teknik ve finansal fizibilite çalışmaları

Site seçimi tamamlandıktan sonra, seçilen lokasyonda bir CSP projesinin uygulanabilirliğini belirlemek için kapsamlı bir analiz yapılır. Bu analiz, teknik performansı, finansal uygulanabilirliği ve gerekli finansmanı güvence altına alma potansiyelini titizlikle inceler - buna sıklıkla 'bankacılık' denir. Bu faaliyetin kritik bir bileşeni DNI değerlendirmesidir. Değerlendirme, 12-24 ay boyunca sahada geçici bir meteoroloji istasyonunun kurulmasını ve işletilmesini gerektirir.

Ayrıca, güneş enerjisine yönelik uzun vadeli talebi göz önünde bulundurarak yatırımın ayrıntılı bir değerlendirmesi gereklidir. Bu değerlendirme, siyasi istikrar, düzenleyici çerçeveler ve yasal kesinlikler dahil olmak üzere belirli ülkenin koşullarını dikkate almalıdır. Ek hususlar arasında şebekeye erişim kolaylığı, ekipman tedarikçilerine yakınlık ve siteye erişim için gerekli altyapının durumu veya gelişimi yer alır. Ana bileşenlerin ve alt sistemlerin yetenekleri ve performansı, tedarikçilerin tekliflerinden ve kavramsal tasarımdan türetilir. Güneş santralini yapılandırmasını ekonomik olarak optimize etmek için birden fazla yapılandırma analiz edilir.

Aynı tesis için farklı işletme stratejilerinin paralel analizleri de önemlidir. Bu analizler, depolama kapasitesi, yedek ve soğutma teknolojisi olarak fosil yakıtların kullanımı ile ilgili kararları etkileyebilecek farklı elektrik sözleşmelerinin avantajlarını değerlendirir.



Tipik olarak, proje geliştiricisi çalışmayı yürütmekten sorumludur. Bu aşama için gerekli işgücü çevre uzmanlarını; güneş enerjisi teknolojisinde uzman enerji mühendislerini; elektrik ve makine mühendislerini; finans analistlerini; ve enerji düzenlemesi, yasal konular ve vergilendirme konusunda bilgili profesyonelleri içerir. Bu görev, hem yerel hem de uluslararası olarak kaynaklanabilen uzmanlıktan yararlanır.

3.1.3 Mühendislik tasarımı

Mühendislik tasarım süreci, yatırım kararından sonra ve proje geliştirmenin idari görevleri boyunca başlatılır. Bu kritik aşamada, bir tesisin yapılandırması oluşturulur. Tedarikçilerin teklifleri birincil bileşenlerin mühendisliği için kullanılırken, yardımcı bileşenler yerleşik mühendislik uygulamalarına uygun olarak tasarlanır.



Proje geliştiricileri, gerekli uzmanlığa ve yeteneklere sahip olmaları koşuluyla mühendislik tasarımını üstlenebilirler. Alternatif olarak, bu görevler harici uzmanlara ve kuruluşlara devredilebilir. Gereken uzmanlık birden fazla disiplini kapsar. Gerekli işgücü, düzenleyici konularda uzman hukukçuları; özellikle enstrümantasyon ve kontrol için proses, mekanik, elektrik ve inşaat mühendislerini; ayrıca bir projenin çok yönlü ihtiyaçlarını karşılamak için sağlık ve güvenlik uzmanlarını içerir.

3.1.4 Proje geliştirme

Bu aşama, izin ve finansman elde etmek için gerekli tüm yasal ve idari işlemlerin yürütülmesini içerir. Kritik görevler arasında güneş kaynağının ve enerji veriminin değerlendirilmesi; çevresel ve ekolojik etki çalışmalarının yürütülmesi; jeoteknik ve topoğrafik araştırmaların yürütülmesi; izin ve yetkilerin alınması; sözleşme müzakerelerine girilmesi; ekipman fiyat tekliflerinin alınması; ve inşaat, sermaye ve borç için anlaşmaların oluşturulması yer alır. Tablo 2'de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi, bu kapsamlı süreç hukuk uzmanları, enerji düzenleme yetkilileri, gayrimenkul ve vergi uzmanları, finans analistleri ve lojistik uzmanları dahil olmak üzere bir profesyonel ekibinin işbirliğini gerektirir.

3.2 Mühendislik, tedarik ve inşaat

Mühendislik, tedarik ve inşaat (EPC) aşaması, bir CSP projesinin değer zincirinde kritik bir bileşendir. Genellikle 24 aylık bir süreye yayılır ve önemli miktarda kaynağı harekete geçirir. Yansıtıcı ayna dizileri ve termal alıcılar dahil olmak üzere güneş termal toplama sistemini geliştirmek ve birleştirmek ve bunu termodinamik döngüye entegre etmek için özel uzmanlık gerekir. Şu anda, küresel olarak sınırlı sayıda şirket, bu karmaşık projeler için ana yüklenici olarak işlev görmek için gereken niteliklere sahiptir.

EPC yüklenicileri, özel ekipman ve malzemelerin teslimatı için karmaşık lojistiği düzenlemede uzmandır. Özel ekipman ve malzemelerin zamanında varmasını ve genel CSP sistemine entegre edilmesini sağlarlar. Ekipman ve sistem maliyetlerini kontrol etme gerekliliği göz önüne alındığında, EPC yüklenicileri gelişmiş sistem tasarım yeteneklerine ve ilgili ulusal tasarım yeterliliklerine sahip olmalıdır. Bu, tasarım ve uygulamanın yalnızca verimli olmasını değil, aynı zamanda belirli düzenleyici standartlara uymasını da sağlar ve bu da riskleri ve maliyet aşımalarını en aza indirir.

Ayrıca, EPC yüklenicileri kritik proje bileşenlerine uzmanlaşmış uzmanlık getirir. Alt sistemlerin, hassas makinelerin, yüksek performanslı bileşenlerin, ara bağlantıların ve iletken elemanların ve akışkan taşıma altyapısının tasarımını ve uygulamasını denetlerler. Ayrıca, bir güneş alanının optik elemanlarının kalitesi, örneğin heliostatlar veya parabolik oluklar (PT'ler), doğrudan tesisin elektrik çıktısı ve ekonomik başarısıyla bağlantılıdır. En yüksek standartları sağlamak için, uzman firmalar inşaat sırasında titiz kalite güvencesi ve gözetim için son teknoloji metroloji teknolojileri kullanır.

EPC aşaması için gereken girdilerin önemli bir kısmı yerel olarak sağlanabilir ve yerel otomotiv üretim sektörü gibi endüstrilerle sinerji yaratılabilir. Bu sektörler CSP üretimini desteklemek için adapte olursa, özellikle yerel üreticiler büyük ölçekli enerji santrallerinin tasarımı ve inşasında uzmanlığa sahipse, yerel istihdam potansiyeli artırılabilir.

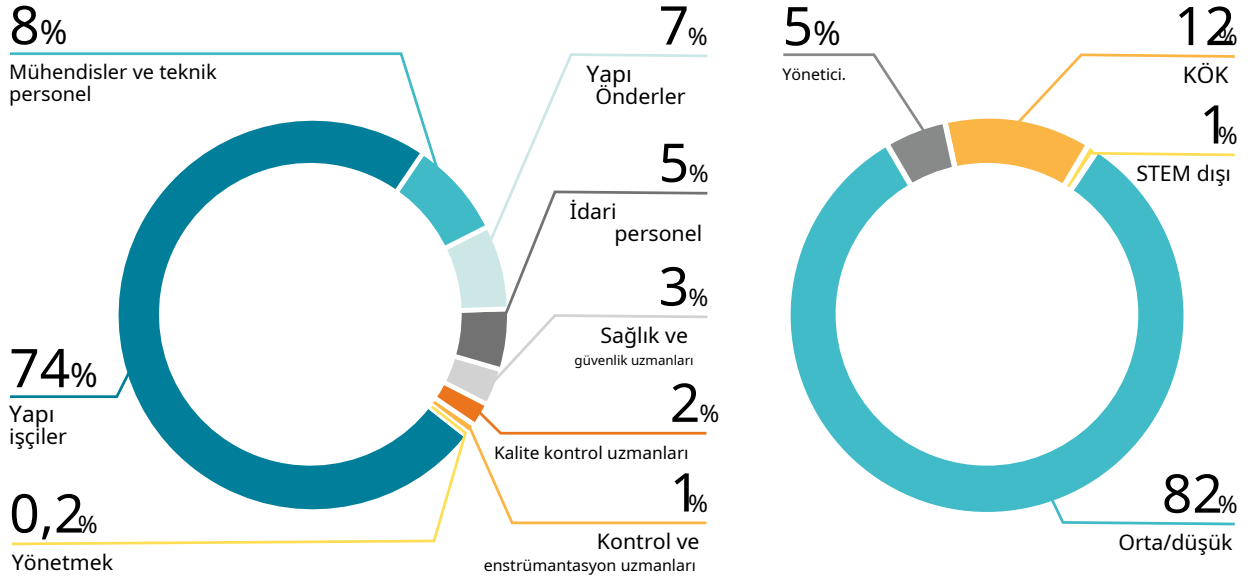
Tablo 3, on saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP tesisinin EPC'si için insan kaynağı tahsisini faaliyete göre ayrılmış şekilde ayrıntılı olarak göstermektedir. Ek olarak, Şekil 9, mesleğe ve uzmanlığa göre bölümlere ayrılmış gerekli işgücünün kapsamlı bir dağılımını göstermektedir.

Tablo 3 ■ On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP tesisinin EPC'si için gereken işgücü (adam-gün) ve faaliyete göre dağılım

İşgücü türü	Üstesinden gelmek- Ment	Mühendislik- yükük	Sivil çalışır	Kurulumu mekanik teçhizat	Kurulum Elektriksel teçhizat	Enstrüman- ve kontrol	Komisyon- siyonlama	Toplam
Yapı işçiler	17 275	2 249	191 651	149 798	26 437	5 131	6 311	398 852
Mühendisler ve diğer teknik personel	16 764	2 184	-	18 891	4 667	1 466	838	44 810
Yapı Önderler	6 911	900	11 070	12 231	3 047	1 246	588	35 993
İdari personel	1 919	267	22 690	153	-	750	1 585	27 364
Sağlık ve güvenlik uzmanları	5 119	668	6 084	4 146	734	289	147	17 187
Kalite kontrol uzmanlar	2 559	317	33 135	2 898	-	319	140	9 368
Enstrümantasyon ve kontrol uzmanlar	5 119	667	-	-	-	426	148	6 360
Yönetmek	640	83	157	119	91	16	44	1 149
TOPLAM	56 306	7 335	234 787	188 235	34 976	9 643	9 800	541 082
(gibi %)	%10,4	%1,4	43,4%	34,8%	%6,5	%1,8	%1,8	

Notlar: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; EPC = mühendislik, tedarik ve inşaat; MW = megawatt; TES = termal enerji depolama.

Şekil 9 ■ On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP santralinin EPC'si için gereken işgücünün meslek ve beceri setine göre dağılımı



Notlar: Admin. = idari; CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; EPC = mühendislik, tedarik ve inşaat; MW = megawatt; STEM = bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik; TES = termal enerji depolama.

Aşağıdaki alt bölümler mühendislik ve inşaat, tedarik ve üretimle ilgili ayrıntılı bulgular sunmaktadır.

3.2.1 Mühendislik ve inşaat

Mühendislik ve inşaat aşamasında, inşaat işçiliği iş gücünün büyük kısmını temsil eder ve toplam çabanın %74'ünü veya 398.852 kişi-gününü oluşturur. Mühendisler ve diğer yüksek becerili teknik personel, toplam çabanın %8'ini takip eder ve 44.810 kişi-gününe ulaşır. Özellikle inşaat aşamasında, orta ve düşük seviyeli STEM ile ilgili becerilere talep vardır ve toplam işin %82'sini veya 444.295 kişi-gününü oluşturur. Bunun başlıca nedeni, inşaat faaliyetlerinin emek yoğun doğası ve inşaat ustalarının liderlik rolüdür.

İnşaat mühendisliği işleri ve mekanik ekipmanların montajı, toplam insan kaynağı ihtiyacının sırasıyla %43 ve %35'ini oluşturan en fazla emek gerektiren faaliyetlerdir.

İnşaat aşamasında yerel katılım vurgulanır. Çok sayıda EPC şirketinin kurulduğu İspanya gibi bölgelerde, iş gücü çoğunlukla %90'dan fazlasını oluşturan vatandaşlardan oluşur. İş gücünün önemli bir kısmı, örneğin, tesislere 100 kilometre mesafede ikamet eden personeldir ve bu nedenle yerel içeriğe katkıda bulunur. Daha az uzmanlaşmış personele ve marjinal topluluklara sahip ülkeler için, vatandaşların dahil edilmesi önemli olmaya devam etmektedir. Örneğin, Güney Afrika'da, iş gücünün %70'inden fazlası vatandaştır ve %36'sı Güney Afrika vaka çalışmasında ayrıntılı olarak açıklandığı gibi yerel topluluklara aittir (bkz. bölüm 4).

3.2.2 Tedarik

Hammadde ve imal edilmiş ürünlerin tedarik edilmesi, CSP tesisinin inşası için olmazsa olmazdır. Bu malzemelerin yerel olarak temin edilmesi, bölgesel endüstrilere değer katar. Belirli bileşenlerin standardizasyonu, yapısal elemanlar, aynalar, izleyiciler ve borular dahil olmak üzere yerel endüstrilerin CSP bileşenlerinin üretiminde yer alma kapsamını genişletmiştir. Parabolik oluk (PT) ve güneş kulesi (ST) teknolojileri için malzeme gereksinimlerini ana hatlarıyla belirtmek için, iki ayrı tablo, tesis alt sistemlerinin imalatı ve inşası için gereken miktarları (ton olarak ifade edilir) ayrıntılı olarak açıklamaktadır.

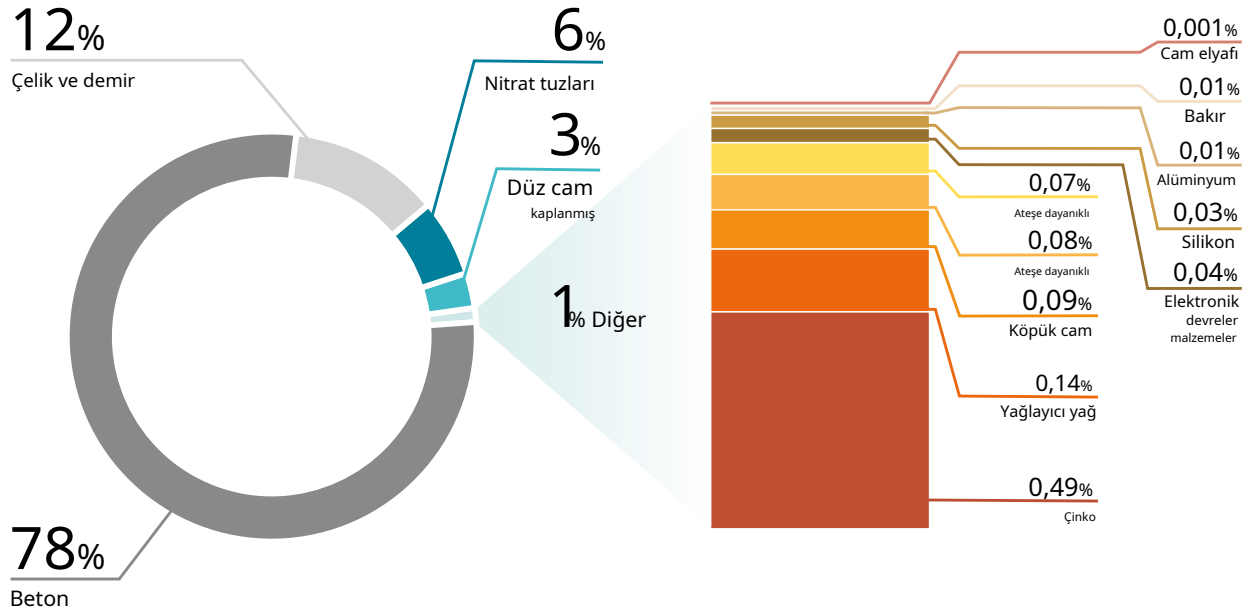
Tablo 4, ST teknolojisini kullanan on saatlik TES'li 100 MW'lık bir enerji santralinin inşası için malzeme gereksinimlerini ayrıntılı olarak açıklamaktadır. Malzemelerin orantılı kullanımı Şekil 10'da gösterilmiştir. Beton baskın malzemedir; özellikle güneş sahası ve ST'nin inşasında kullanılır. Toplam beton gereksinimi 255 836 tondur (tesis inşası için genel malzeme gereksiniminin %77'si). Beton, gereksinimi 41 570 ton (%13) olan çelik ve demir takip eder; bunlar esas olarak güneş sahası için kullanılır. Sırada erimiş tuzlar vardır. Bunlar, termal depolama ve ısı transfer sıvısı (HTF) olarak ikili işlev görür ve toplam malzeme gereksinimi 20 991 tondur (%6).

Tablo 4 ■ On saatlik TES kapasiteli 100 MW ST santrali için gerekli malzemeler (ton)

Malzeme	Güneş alan	Alıcı sistem	Kule	Buhar jeneratör	Güç engellemek	TES ve HTF	Temel ve yardımcı binalar	Kablolama Ve borulama	Toplam
Beton	193 699	-	38 165	-	-	17 133	19 272	-	251 136
Çelik ve demir	33 218	2 047	3 013	440	1 019	972	662	199	41 570
Nitrat tuzları	-	-	-	-	-	20 991	-	-	20 991
Kaplamalı düz bardak	9 345	-	-	-	-	-	-	-	9 345
Çinko kaplama, parçalar	1 638	-	-	-	35	-	-	-	1 673
Yağlayıcı yağ	484	-	-	-	-	-	-	-	484
Köpük cam	-	-	-	-	-	303	-	-	303
Ateşe dayanıklı, temel	-	273	-	-	-	-	-	-	273
Taş yünü	-	26	-	0,07	1.6	217	-	-	245
Elektronik için kontrol üniteleri	127	-	-	-	-	-	-	-	127
Silikon	93	0,73	-	-	-	-	-	-	94
Alüminyum	-	-	-	-	50	-	-	-	50
Bakır	-	-	-	-	14	-	-	35	49
Cam elyafı	-	-	-	1.9	-	-	-	-	1.9

Notlar: HTF = ısı transfer akışkanı; MW = megawatt; ST = güneş kulesi; TES = termal enerji depolama.

Şekil 10 ■ On saatlik TES kapasiteli 100 MW ST santralının inşası için gerekli malzemelerin dağıtımı



Temel olarak: (Gamarra ve diğerleri, 2023; Kis ve diğerleri, 2018; Pihl ve diğerleri, 2012 ve Gereffi ve Dubay, 2008).
Notlar: MW = megawatt; ST = güneş kulesi; TES = termal enerji depolama.

Eşdeğer kapasiteli bir PT tesisinin malzeme dağılımı Tablo 5'te ana hatlarıyla belirtilmiştir. Beton, 185.784 tonluk (toplam malzeme gereksiniminin %48'i) bir gereksinimle birincil inşaat malzemesi olmaya devam etse de, gereken hacim ST projelerine göre daha azdır, çünkü güneş alanı için malzeme gereksinimleri daha düşüktür ve kule yapısı yoktur. Çelik ve demir tüketimi, ST projelerine göre yaklaşık iki katıdır, 98.700 tondur (%26), çünkü PT teknolojisi daha düşük sıcaklıklarda çalışır ve alıcılarda, kollektörlerde ve boru sistemlerinde önemli metal içeriği olan kapsamlı bir güneş alanı gerektirir. PT teknolojisi, ST teknolojisine göre yaklaşık dört kat daha fazla erimiş tuz hacmi gerektirir, 76.516 tondur (%20), çünkü PT teknolojisindeki depolama sıcaklığı daha düşüktür (ST teknolojisindeki 565°C ile karşılaştırıldığında 391°C) ve eşdeğer enerji seviyelerini depolamak için daha büyük bir tuz kütlesi gerekir. Özellikle, PT teknolojisi güneş alanında HTF olarak termal yağ kullanır; Malzeme ihtiyacı 7 328 ton (%2)'dur.



Tablo 5 ■ On saatlik TES kapasiteli 100 MW PT tesisi için gerekli malzemeler (ton)

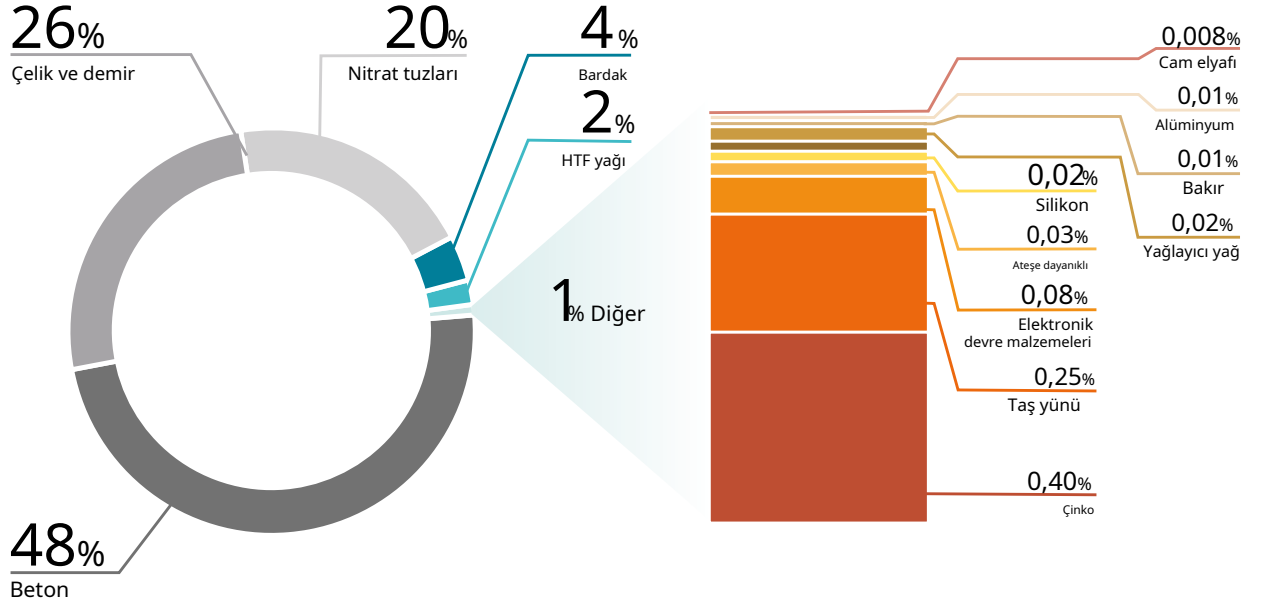
Malzeme	Güneş alanı	Buhar jeneratör	Güç bloğu	TES ve HTF	Temel ve yardımcı binalar	Kablolama ve borulama	Toplam
Beton	149 231	-	-	17 133	19 420	-	185 784
Çelik ve demir	24 245	900	1 026	6 773	662	65 093	98 699
Nitrat tuzları	-	-	-	76 516	-	-	76 516
Bardak	13 905	-	-	-	-	-	13 905
HTF yağı	-	-	-	7 328	-	-	7 328
Çinko kaplama, parçalar	1 492	-	35	-	-	-	1 527
Taş yünü	-	0,07	1.6	943	-	-	945
Köpük cam	-	-	-	303	-	-	303
Elektronik için kontrol üniteleri	116	-	-	-	-	-	116
Silikon	85	-	-	-	-	-	85
Yağlayıcı yağ	80	-	-	-	-	-	80
Alüminyum	-	-	50	-	-	-	50
Bakır	-	-	14	-	-	35	49
Cam elyafı	-	3	-	-	-	-	3

Notlar: HTF = ısı transfer akışkanı; MW = megawatt; PT = parabolik oluk; TES = termal enerji depolama.

Şekil 11, bir PT tesisinin inşası ve ilk işletimi için gereken ana malzemelerin yüzdelerini göstermektedir. Bu malzemelerin bir kısmı, ekipmanın özelliklerine göre seçilmesi gereken ara ürünlerden elde edilir. Ürünler satın alınmadan önce, yerel bulunabilirlikleri değerlendirilir. Ek olarak, sürdürülebilirlik ve adil bir enerji geçişi hususları, malzemenin coğrafi kaynağının seçimine rehberlik etmek için dikkate alınabilir (bkz. Kutu 3).



Şekil 11 ■ On saatlik TES kapasiteli 100 MW PT santralinin inşası için gerekli malzemelerin dağıtımı



Temel olarak: (Gamarra ve diğerleri, 2023; Kis ve diğerleri, 2018; Pihl ve diğerleri, 2012 ve Gereffi ve Dubay, 2008).
Notlar: MW = megawatt; ST = güneş kulesi; TES = termal enerji depolama.

Kutu 3 ■ Adil bir geçiş için malzemeler

Enerji geçiş teknolojileri için kritik öneme sahip minerallerin ve metallerin çıkarılması ve rafine edilmesi, küresel ekonomik düzen içindeki köklü tarihi bağımlılıkların üstesinden gelme zorluğu da dahil olmak üzere çeşitli endişeleri gündeme getirmiştir. Özellikle, bazı ülkeler bu malzemelerin yoğun kaynaklarına sahiptir. Artan talep potansiyel olarak geliri ve istihdamı artırabilirken, faydaların tüm yelpazesini gerçekleştirmek, bu ülkelerin malzeme işleme kapasitelerini geliştirmelerini gerektirir. Bu, yalnızca emtia üreticileri rolünün ötesine geçmeyi ve gelişmiş katma değerli üretim için çabalamayı içerir.

Çevre ve çalışma standartları ile madencilik ve rafinerinin yerel topluluklar için sonuçları konusunda da önemli sorunlar bulunmaktadır. Endüstri uygulamaları uzun zamandır iş kalitesi, iş sağlığı ve güvenliği standartları ve işçi haklarındaki eksiklikler açısından incelenmektedir. Sektörün ulusal yasalara ve düzenlemelere uymayabilecek gayri resmi çalışma düzenlemelerinin yaygınlığı. Kobalt madenciliğinde çocuk işçiliği gibi sömürücü koşullara ilişkin artan farkındalık, bir değişiklik talebini teşvik etmektedir. Uygulanabilir çalışma standartlarının uygulanması, tedarik zinciri yatırımlarının nerede yapıldığını etkileyebilir ve sonuç olarak iş yaratmanın coğrafi dağılımını etkileyebilir. Özellikle, bu artan endişeler tedarik zincirlerinde daha fazla şeffaflık için bir baskıyı tetiklemiştir; bu, bazı şirketleri bu kritik malzeme için kaynak stratejilerini yeniden değerlendirmeye yöneltmiştir.

Ayrıca, ham madde madenciliği ve işlemenin önemli çevresel maliyetler gerektirdiğini kabul etmek önemlidir. Bu faaliyetler hava ve su için riskler oluşturur, kirliliğe neden olur ve sorumlu bir şekilde yürütülmezse biyolojik çeşitliliği tehlikeye atarak ormansızlaşmaya ve su baskınlarına yol açabilir. Daha sürdürülebilir bir gelecek enerji sistemi yaratmak, bu çevresel etkilerin azaltılmasını gerektirir. Vurgu, ikincil ve geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı ve birincil üretim süreçleriyle ilişkili enerji ve emisyon yoğunluğunun en aza indirilmesi üzerinde olmalıdır. Yenilenebilir enerji tedarik zincirinin ekolojik ayak izini azaltmak için daha sürdürülebilir bir yaklaşıma geçiş çok önemlidir.

3.3 Üretim

Proje planlama aşamasında, yerel olarak temin edilebilen veya uluslararası tedarikçilerden ithal edilebilen bileşenlerin tedariki konusunda kritik kararlar alınır (bkz. Kutu 3). Avrupa, alıcıların önde gelen üreticilerine ev sahipliği yaparken, erimiş tuzların önde gelen tedarikçisi Şili'de faaliyet göstermektedir (Kutu 4'te ayrıntılı olarak açıklandığı gibi). CSP için yerel üretim kapasitelerini güçlendirmek amacıyla, kilit bileşen tedarikçileri yerel işletmelerle ortaklık kurmaya teşvik edilebilir.

Kutu 4 ■ İlgili tedarikçilerin dağıtımı

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) teknolojileri alanında, alıcılar için tedarik zinciri seçkin bir grup şirket tarafından domine edilmektedir. Merkezi alıcılar için, dikkate değer mühendislik firmaları ve üreticiler arasında Cockerill Maintenance & Ingénierie (Belçika), Brightsource (İsrail), Sener (İspanya) ve Aalborg CSP (Danimarka) yer almaktadır. Alıcı tüpleri için, Rioglass (İspanya), Royaltech, Lanzhou Dacheng Technology Co., Ltd ve TRX Solar Technology (Çin) ile birlikte önde gelen tedarikçilerdir.

Erimiş tuz bazlı termal enerji depolama pazarı coğrafi olarak çeşitlidir. Bu segmentteki önde gelen tedarikçiler SQM (Şili), BASF (Almanya), Yara International ASA (Norveç) ve Çin'in Enesoon'udur. CSP operasyonlarında önemli bir akışkan olan termal yağa gelince, ABD Dow Chemical, Eastman Chemical, Radco Industries ve Paratherm gibi üreticilerle başı çekiyor. Bu kategorideki diğer önemli tedarikçiler Thermax (Hindistan), Wacker (Avrupa) ve Çin genelindeki çeşitli işletmelerdir.

Bilyalı mafsallar ve metal hortumlar gibi temel bileşenlerde ise Almanya'dan Senior Flexonics, ABD'den ATS ve Hyspan firmaları başlıca tedarikçiler olarak öne çıkıyor.

Çelik ve beton gibi emtiaların tedariki, CSP tesislerinin inşası için standarttır ve tescilli olmayan bileşenlerin imalatı genellikle dış kaynaklıdır. Kaynak kararları, teknolojik maliyetler, ithalat vergileri ve sübvansiyonlar aracılığıyla yerel üretimi teşvik eden yerel içerik gereksinimleri de dahil olmak üzere ulusal politikalar (bkz. Kutu 5), nakliye masrafları ve bakım hizmetleri ve garantilerin mevcudiyeti tarafından etkilenir. Hükümetler, CSP projelerinden elde edilen yerel ekonomik faydaları artıracak politikalar tasarlamalıdır.

Kutu 5 ■ Malzeme temini için yerel içerik gereksinimleri

Mühendislik ekibine, malzemelerin yerel bulunabilirliğini değerlendirme ve yerel tedarik için uygun bileşenleri ve ithalat gerektiren bileşenleri belirleme gibi kritik bir görev emanet edilmiştir. Bu sürecin temel bir yönü, yerel içerik gereksinimlerini zorunlu kılan ulusal politikalara ve geçerli düzenlemelere uymaktır.

Örnek olarak Güney Afrika'nın Yenilenebilir Enerji Bağımsız Güç Üreticisi Tedarik Programı verilebilir. Bu program, toplam proje harcamasının belirli bir oranının yerel içeriğe tahsis edilmesini şart koşar. Bu program kapsamındaki yoğunlaştırılmış güneş enerjisi projeleri için, toplam proje değerinin %40'ı Güney Afrika tedarikçilerinden satın alımlar için ayrılır.

Yerel içerik gereksinimleri başlangıçta yenilenebilir enerji girişimlerinin maliyetlerini artırabilir ve belirli malzeme ve bileşenlerin tedarikinde zorluklara yol açabilir; ancak bu tür zorunlulukların aynı zamanda yerel endüstriyi güçlendirme, iş yaratmayı teşvik etme ve yenilenebilir enerji gelişmelerinin ekonomik avantajlarının daha adil bir şekilde dağıtılmasını sağlama potansiyeli de kabul edilmektedir (Montmasson-Clair ve Ryan, 2014).

Üreticiler, hedef ülkede bir fabrika kurmanın ekonomik avantajlarını, yurtdışındaki mevcut bir tesisten ürün göndermeye kıyasla tartmalıdır. Dikkate alınması gerekenler arasında CSP bileşenlerine olan talep, yasal çerçeve, işgücü ve taşıma maliyetleri, piyasa rekabeti, hammadde ve ara ürünlerin bulunabilirliği ve yerel üretim için hükümet teşvikleri yer alır.

Kolayca taşınabilen bileşenler genellikle üreticilerle ilişkili ağlar aracılığıyla tedarik edilir. PT kolektörleri veya heliostatlar içeren bir güneş alanı bağlamında, yerinde atölyeler tasarım, montaj ve kalite kontrolünü kolaylaştırır. Ticari CSP operasyonları için, genellikle süper ısıtıcılar, yeniden ısıtıcılar, buharlaştırıcılar, buhar tamburları ve ekonomizerler içeren buhar üretim ekipmanı, tipik olarak geleneksel enerji santrallerine hizmet veren tedarikçilerden tedarik edilir - bu, hem PT hem de ST teknolojilerinde tutarlı bir uygulamadır.

On saatlik TES ile 100 MW'lık bir güneş santralinin ana bileşenlerini üretmek için gereken emek, PT (96 100 kişi-gün) ve ST (100 299 kişi-gün) teknolojileri için nispeten benzerdir. Tablo 6, gereken ortalama insan kaynağı çabasına genel bir bakış sağlar.

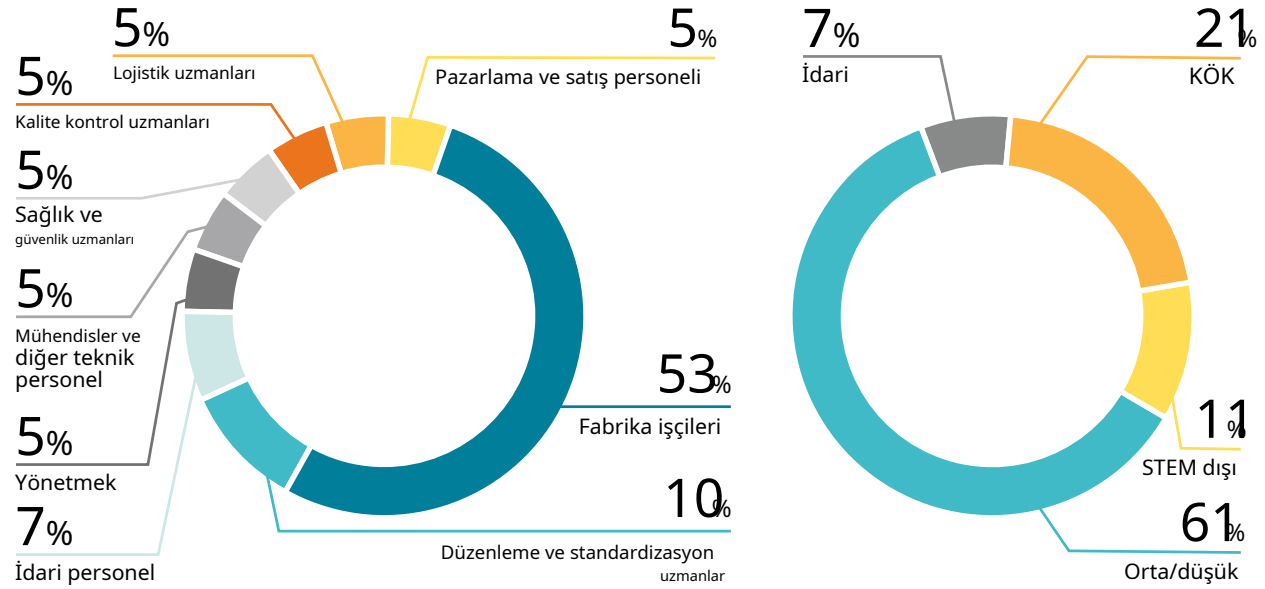
Tablo 6 ■ PT veya ST teknolojisini kullanan 100 MW + on saatlik bir TES tesisinin bileşenlerinin imalatı için gereken ortalama işgücü (adam-gün)

İşgücü türü	Güneş alanı	Buhar gen- raportör	Güç bloğu	TES ve HTF	Temel ve yardımcı binalar	Kablolama ve borulama	Toplam
Fabrika işçileri	29 102	4 799	4 400	6 244	2 300	4 835	51 680
Düzenleme ve standardizasyon uzmanlar	5 629	368	1 288	1 142	402	1 030	9 859
İdari personel	3 562	671	688	843	301	637	6 702
Yönetmek	2 895	600	550	701	250	516	5 512
Mühendisler ve diğer teknik personel	2 816	514	500	637	230	487	5 184
Sağlık ve güvenlik uzmanları	2 677	514	400	606	250	44	4 902
Kalite kontrolleri uzmanlar	2 677	514	400	605	250	456	4 902
Lojistik uzmanları	2 671	431	445	580	213	454	4 794
Pazarlama ve satış personeli	2 568	416	430	559	206	437	4 945
TOPLAM	54 597	8 827	9 101	11 917	4 402	9 307	98 151
(gibi %)	%55,6	9.0%	%9,3	%12,1	%4,5	%9,5	

Notlar: HTF = ısı transfer akışkanı; MW = megawatt; PT = parabolik oluk; ST = güneş kulesi; TES = termal enerji depolama.

Güneş enerjisi alanı en büyük işgücü tahsisini talep ediyor (toplam adam-gününün %55,6'sı). Tahsis, TES ve HTF sistemlerine göre önemli ölçüde daha fazla (%12,1). Kablo ve borulama işi (%9,5) bunu takip ederken, güç bloğu (%9,3) ve buhar üretim sistemi (%9,0) biraz daha az işgücü gerektiriyor. Temeller ve yardımcı binalar en az işgücünü gerektiriyor (%4,5).

Şekil 12 ■ Mesleğe ve beceri setine göre, on saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP tesisinin bileşenlerini üretmek için gereken işgücünün ortalama dağılımı



Notlar: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; MW = megawatt; STEM = bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik; TES = termal enerji depolama.

Fabrika işçileri tesis inşasındaki iş gücünün yarısından fazlasını temsil eder (PT'de %52 ve ST'de %53). Endüstri mühendisleri her iki teknoloji için de iş gücünün %5'ini oluşturur. PT tesislerinde, endüstri mühendisliği iş gücünün çoğunluğu güneş alanına (2 020 kişi-gün) ve TES ve HTF sistemlerine (1 000 kişi-gün) ayrılmıştır. ST tesislerinde, mühendislik iş gücünün dağılımı farklı tesis bölümleri arasında değişir. Şekil 12, her iki CSP teknolojisi türü için de ana bileşenlerin üretimi için gereken iş gücünün dağılımını göstermektedir.



3.4 İşletme ve bakım

Bir güneş termik santralinin inşası, işletimi ve bakımı, yerel olarak en az iki yıl boyunca iş sağlar. Bu analizde, PT ve ST teknolojileri arasındaki kategori başına toplam rakamlardaki küçük farklılıklar nedeniyle genel bir ortalama durumu ele alınmıştır.

İşletimsel bütünlük, bir enerji santralinin ömrü boyunca ekonomik etkinliğini sağlamak için çok önemlidir. Olası hasar nedeniyle oluşan kesintileri en aza indirmek, düzenli izleme ile desteklenen bir öngörücü bakım stratejisi gerektirir. Isı kaybı, sızıntılar, kirlenme, konumlandırma yanlışlıkları veya bileşen arızaları gibi ele alınmamış sorunlar, tesis çıktısını azaltabilir ve karlılığı engelleyebilir. Bu nedenle, enerji santrali operatörleri, operasyonel mükemmelliği sürdürmek için dijital otomatik izleme sistemleri de dahil olmak üzere gelişmiş teknik çözümler kullanmalıdır. Tesis operasyonlarının karmaşıklığı, oldukça yetenekli bir iş gücü gerektirir. Bu nedenle, yeni işe alınanlar, özellikle operasyonel hataları en aza indirmek ve olası sistem arızalarının erken tespitini iyileştirmek için deneyimli personel tarafından kapsamlı bir eğitimden geçmelidir.

On saatlik TES ile 100 MW'lık bir CSP tesisinin işletilmesi yılda ortalama 22.721 kişi-gün gerektirir; bu kişi-günlerin %58'i operasyon faaliyetlerine, kalan %42'si ise bakım faaliyetlerine ayrılır. Tablo 7, bu kişi-günlerin çeşitli insan kaynakları kategorileri ve faaliyetleri arasındaki dağılımını ayrıntılı olarak açıklarken, iş türüne ve beceri düzeyine (STEM, STEM Dışı, Orta/Düşük ve İdari) göre işgücünün orantılı dağılımı Şekil 13'te gösterilmiştir.

Bir santralin 23 yıllık işletme süresi boyunca,⁷Daha önce belirtildiği gibi, yılda ortalama %0,5'lik bir üretkenlik artışı bekleniyor. Bu üretkenlik artışı göz önüne alındığında, bir tesisin ömrü boyunca, O&M faaliyetlerine ayrılan adam-gün sayısı yaklaşık yarım milyon adam-güne ulaşacaktır.

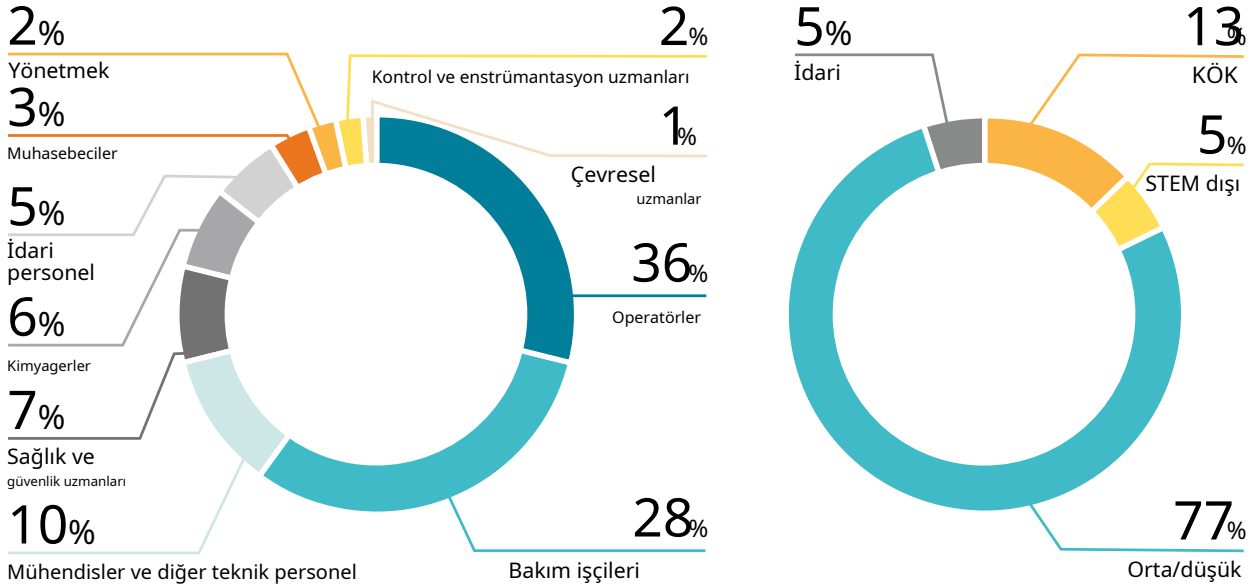
Tablo 7 ■ On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP tesisinin İşletme ve Bakımı için gereken işgücü (kişi-gün/yıl)

İşgücü türü	Operasyon	Bakım	Toplam
Operatörler	8 096	-	8 096
Bakım işçileri	-	6 409	6 409
Mühendisler ve diğer teknik personel	253	2 024	2 227
Sağlık ve güvenlik uzmanları	759	759	1 518
Kimyagerler	1 265	-	1 265
İdari personel	1 241	-	1 241
Muhasebeciler	783	-	783
Yönetmek	506	-	506
Enstrümantasyon ve kontrol uzmanları	253	253	506
Çevre uzmanları	120	-	120
TOPLAM	13 276	9 445	22 721
(gibi %)	%58	%42	

Notlar: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; MW = megawatt; O&M = işletme ve bakım; TES = termal enerji depolama.

⁷ Projenin tamamının (planlamadan işletmeye) 25 yıl sürmesi bekleniyor. Bu süreye planlama ve inşaat yılları da dahil.

Şekil 13 ■ On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP tesisinin O&M'siyle ilgili insan kaynaklarının dağılımı



Notlar: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; MW = megawatt; O&M = işletme ve bakım; STEM = bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik; TES = termal enerji depolama.

O&M ağırlıklı olarak orta/düşük STEM beceri seviyelerine sahip teknik personeli içerir. Bir tesisin operasyonel süresi boyunca operatörler, bakım personeli, mühendisler, kimyagerler ve enstrümantasyon ve kontrol uzmanları, etkili tesis O&M'si için gereken toplam kişi-gün sayısının %80'inden fazlasına toplu olarak katkıda bulunur; yalnızca %2'si üst düzey yönetim rollerine atfedilir. O&M faaliyetlerinde yerel katılımın önemi Kutu 6'da daha da vurgulanmıştır.

Kutu 6 ■ O&M: Yerelleştirme için tipik faaliyetler ve fırsatlar

Operasyon

Kontrol odası operatörleri, operasyonel verileri günlüklerde ve veritabanlarında titizlikle belgeledir. Bu veriler, türbin çalışma süreleri; çevrimdışı ekipman listeleri; operasyonel olaylar ve gaz, elektrik ve su için kaynak tüketim ölçümleri gibi kritik bilgileri kapsar. Bu veriler, resmi kayıtlar olarak hizmet etmesinin yanı sıra, güvenilir olduklarından ve tesis verimliliğini optimize etme çabasında olduklarından emin olmak için performans mühendisliği personeli tarafından incelenir.

Operasyon ekibi, tesisin performansını etkileyen değişkenleri daha iyi anlamak için analitik modeller kullanır. Bu modeller, sahada toplanan güneş ışınımı ve meteorolojik verileri kullanır ve beklenen elektrik ve termal performansı tahmin eder. Bu modellerin etkili bir şekilde kullanılması, mühendislik ekibinin ve operatörlerin düşük performans gösteren sistemleri belirlemesini ve ele almasını sağlayarak zamanında düzeltici eyleme olanak tanır. Bu modellerin hassasiyeti, meteorolojik veri girişinin kalitesine bağlıdır. Bu nedenle, güneş ışınımı, rüzgar hızı ve sıcaklığın doğru ölçümleri için merkezi, kalite kontrollü bir hava istasyonu hayati önem taşır.

Bakım

Garanti süresi boyunca, ekipman üreticileri genellikle bir tesisin bakımının bir kısmını üstlenir. Daha sonra, uzmanlaşmış alt yükleniciler kurulumun belirli bölümleri için sorumluluk üstlenebilir. Bakım, arızalar için düzeltici önlemlerin yanı sıra gelecekteki arızaları önceden tahmin etmek ve optimum performans seviyelerini korumak için önleyici stratejileri içerir.

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi tesisindeki yaygın bakım görevleri arasında heliostatların veya kollektörlerin temizlenmesi, alıcıların bakımı, bilyalı mafsal bağlantılarının onarımı, izleme sistemlerinin değerlendirilmesi, tuz tanklarının muayenesi, ısı transfer sıvısı sisteminin analizi ve buhar döngüsü için su arıtımı yer alır. Gelişmiş öngörücü bakım, titreşim analizi, termografik değerlendirmeler, boruların baroskopik muayeneleri ve korozyon tespiti için ultrasonik testler içerir. Isı transfer sıvısının düzenli analizi de önemlidir.

O&M'yi yerelleştirme

İşletme ve bakım (O&M) faaliyetlerinin yerelleştirilmesi, yenilenebilir enerji projelerinin sürdürülebilir olması ve yerel ekonomiler içinde değer yaratılması için temelde önemli olarak kabul edilmektedir. O&M uygulamalarındaki hassasiyet ve verimliliğin doğrudan tesis performansına ve ekonomik sonuçlara bağlı olduğu yoğunlaştırılmış güneş enerjisi santralleri alanında, yerel iş gücünü dahil etmek özellikle etkilidir. Bu tür uygulamalar yalnızca iş fırsatları yaratmada ve yerel ekonomileri canlandırmada etkili olmakla kalmaz, aynı zamanda santrallerin etkili bir şekilde işletilmesini ve bakımının yapılmasını da sağlar. Fas'ın Ouarzazate Güneş Enerjisi Santrali'nin önerdiği gibi, bu tür yerelleştirmenin potansiyel faydaları şunlardır:

- **İş yaratma.**Proje, hem tesis içerisinde hem de çevre bölgede çeşitli istihdam olanakları sağlayarak yerel halka fayda sağladı.
- **Beceri geliştirme.**Yerel işgücünün ileri teknolojilere ve operasyonel uygulamalara maruz kalmasıyla beceri gelişimi, geçim kaynaklarının iyileşmesine yol açıyor.
- **Altyapı geliştirme.**Proje, bölgenin genel kalkınmasında kalıcı bir etki bırakarak altyapı iyileştirmelerine yol açtı.
- **Tedarik zinciri ve ekonomik büyüme.**Tesisin faaliyete geçmesi yerel tedarik zincirini canlandıracak ve daha geniş çaplı ekonomik büyümeyi teşvik ederek hizmet sektörlerini ve iş fırsatlarını zenginleştirecektir.
- **Teknolojik ilerleme.**Tesisin varlığı, eğitim, teknoloji transferi ve inovasyonu kolaylaştırıyor; bu da yenilenebilir enerji alanında bölgesel uzmanlığın gelişmesini sağlıyor.
- **Sürdürülebilir uygulamalar ve turizm.**Proje, sürdürülebilirliğe doğru bir geçişi simgeliyor ve Ouarzazate'yi yenilenebilir enerji merkezi ve eko-turizm destinasyonu haline getiriyor.

Bu etkiler, yenilenebilir enerji projelerine yerel işgücünü entegre etmenin dönüştürücü gücüne işaret ediyor ve bu da çok yönlü ekonomik ve çevresel faydalar üretebilir. Benzer şekilde, Güney Afrika'daki deneyimler, verimli O&M için yerel personele güvenmeyi vurgulayarak, sosyoekonomik faydaların dezavantajlı topluluklara da ulaşmasını sağlıyor, 4.2. bölümde daha ayrıntılı olarak ele alındığı gibi.

3.5 Devre Dışı Bırakma

Bir CSP tesisinin işlevsel yaşam döngüsü tamamlandığında, tesisi modernize etmek ve iyileştirmek için uygulanabilir yöntemler belirlenmediği sürece devre dışı bırakma işlemi gerçekleştirilir. Tesisin bileşen malzemeleri mümkünse geri dönüştürülür veya sorumlu bir şekilde bertaraf edilir. Temel tamamen kaldırılır ve saha orijinal durumuna geri döndürülür - gerekli proje izinlerini güvence altına almak için tipik bir ön koşul.

Bir CSP tesisinin devre dışı bırakılması dört ana faaliyeti içerir: planlama, sökme, ekipman ve atık bertarafı ve saha temizliği. Bu faaliyetler genellikle yerel iş güçleri tarafından gerçekleştirilebilir. Tablo 8, bu faaliyetler arasındaki iş gücü dağılımını göstermektedir.

Tablo 8 ■ On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP tesisinin devre dışı bırakılması için gereken işgücü

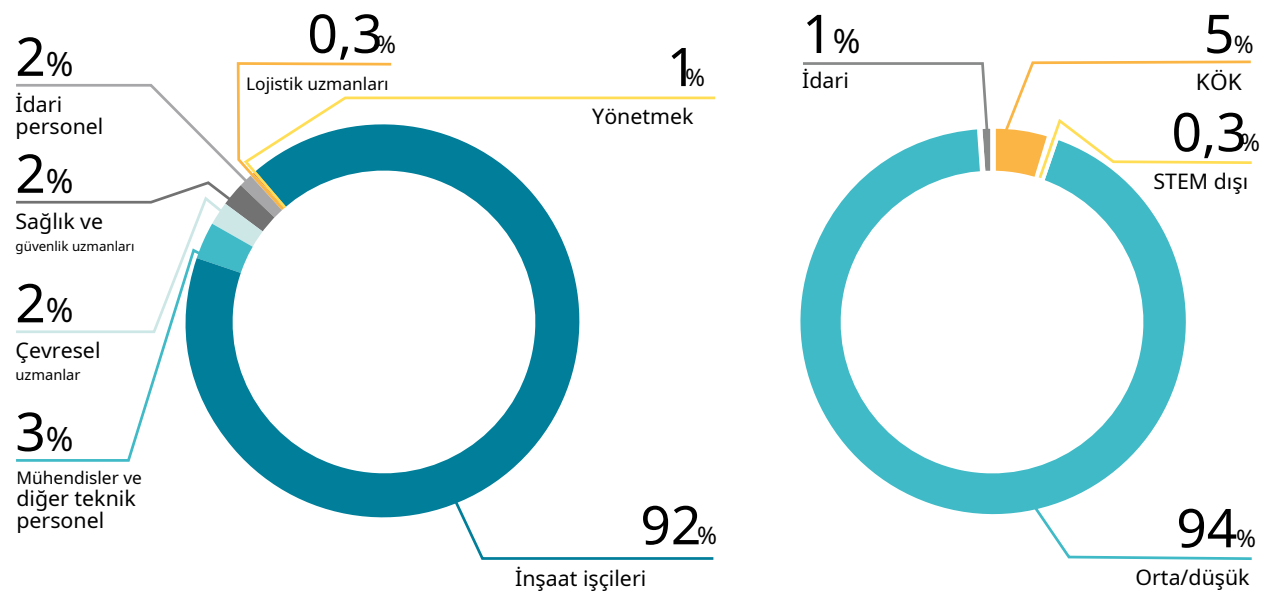
İşgücü türü	Planlama	Sökme	Teçhizat imha etmek	Alan temizleme	Toplam
İnşaat işçileri	-	22 100	3 600	5 600	31 300
Mühendisler ve diğer teknik personel	43	855	-	57	955
Çevre uzmanları	51	360	80	181	672
Sağlık ve güvenlik uzmanları	30	360	58	128	576
İdari personel	2	-	405	7	414
Lojistik uzmanları	2	-	59	-	92
Yönetmek	2	45	0	3	50
TOPLAM	161	23 720	4 202	5 976	34 059
(gibi %)	%0,5	69,7%	%12,3	%17,5	

Notlar: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; MW = megawatt; TES = termal enerji depolama.

ST ve PT teknolojileri için işgücü gereksinimleri aynı kalırken, ST teknolojisini kullanan bir CSP tesisinin sökülmesi için biraz daha fazla işgücü gerekir. On saatlik TES ile 100 MW'lık bir CSP tesisinin sökülmesi için yaklaşık 34.055 kişi-gün gerekir. İşgücünün büyük kısmı, yaklaşık 23.700 kişi-gün (toplam işgücünün %69,7'si), tesis sistemlerinin sökülmesine tahsis edilir. Ekipman ve atık bertarafı 4.200 kişi-gün (12,3%) ve saha temizliği yaklaşık 5.975 kişi-gün (17,5%) gerektirir. Sökme planlaması en az işgücünü, yaklaşık 160 kişi-gün (0,5%) gerektirir.

İşgücü kategorileri açısından, inşaat işçileri ve teknik personel en büyük segmenti oluşturur ve toplam işgücününün %81'ini oluşturur. Bunu %12'lik paya sahip mühendisler ve diğer üst düzey teknik personel takip eder. Bu dağılım Şekil 14'te gösterilmiştir.

Şekil 14 ■ On saatlik TES kapasiteli 100 MW'lık bir CSP santralinin devre dışı bırakılmasıyla ilgili insan kaynağı türüne göre çaba dağılımı



Notlar: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; MW = megawatt; STEM = bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik; TES = termal enerji depolama.

3.5.1 Devre dışı bırakma planlaması

Bugüne kadar, üç CSP tesisi (Güneş Enerjisi Üretim Sistemleri, ABD'deki bir şirket) sökümden geçti. Verimli operasyonel aşamalarının tamamlanmasının ardından, bileşen malzemelerin %90'ından fazlası geri dönüştürülebilir hale geldi. Proje planlaması sırasında, mühendisler ekonomik uygulanabilirlik analizi için toplam kurulum maliyetine dahil edilecek bir devre dışı bırakma planı formüle etmelidir. Çoğu düzenleyici çerçeve, güneş enerjisi santrali kurulumlarının lisanslanması için böyle bir planı zorunlu kılar.

3.5.2 Sökme

Bu aşama sistematik bir şekilde geliştirilmelidir; temel adımlar şunlardır:

- Devre dışı bırakma sonrası aşamada arazi restorasyonu için tüm potansiyel çevre kirliliği kaynaklarının ortadan kaldırılması.
- Güneş termik santralının sökülmesinden sonra ekipman veya parçalarının yeniden düzenlenmesi veya yeniden kullanılması.
- Söküm işinde çalışan işçilerin sağlık ve güvenlikleri üzerindeki olası tüm etkilerin, uygun eğitim ve güvenlik ekipmanlarının kullanımı yoluyla azaltılması.
- Tesisin güvenlik talimatlarına uygun olarak demontajı.
- Atık miktarını en aza indirmek için yıkım sonrası geri dönüştürülebilir hurda malzemelerin hurdacılara satışı.
- Tehlikeli maddelerin ulusal mevzuatlara uygun olarak güvenli bir şekilde bertarafına yönelik planlama yapılması.
- Planlama aşamasının erken dönemlerinde sosyo-ekolojik risklerin ve etkilerin belirlenmesi.
- Mevcut tesislerin verimliliğinin artırılması amacıyla rehabilitasyonu.

Sökme aşaması, güneş alanı için devre dışı bırakma faaliyetlerini; kuleyi (ST teknolojisi için); tuzların önce boşaltılması gereken tank sistemini; borulama ve kablolamayı; ve yardımcı binaları içerir. Aynı yerde benzer bir kurulum kurulmamışsa buhar üretim sistemi ve güç bloğu da sökülmemelidir; aksi takdirde, bu kurulumlar yenilenebilir ve ikinci bir yaşam verilebilir. Elektrik şebekesine ve güç trafo merkezlerine bağlanmak için altyapının mutlaka sökülmesi gerekmez; bunlar diğer güç kurulumları için yeniden kullanılabilir.

Sökme işlemi için gereken ekipman ve işçilik, bir tesisin inşasında kullanılanları yansıtır ve çoğu ülkede mevcuttur. Temel ekipmanlar arasında vinçler, ağır makineler, mekanik ve elektrikçiler için aletler ve koruyucu donanımlar bulunur.



3.5.3 Ekipman ve atık bertarafı

Bertaraf edilecek atık ve malzemeler, daha sonra çöplüklere atılmadan önce uygun şekilde işlenmelidir. Geri dönüştürülecek malzemeler, işlenmek ve yeniden kullanılmak üzere belirli noktalara taşınacaktır.

Güneş alanının bileşen malzemeleri, esas olarak metaller ve cam, sökülüp geri dönüştürülebilir. Tuz tanklarının bileşen malzemesi olan aşınmamış çelik de diğer endüstrilerde yeniden kullanılabilir. Erimiş tuzlar, kullanım ömürleri boyunca kirlenmezlerse geri dönüştürülebilir. Ayrıca, uzun yıllar çalıştıktan sonra özelliklerini kaybeden sentetik yağ, geri dönüştürülmek üzere bir damıtma işleminden geçecektir. Kablolamadaki bakır, kablolama söküldükten sonra yeniden kullanılmak üzere başka bir endüstriye satılabilir.

Yukarıdaki faaliyet için yükleyicilere, hurda kesme ekipmanlarına, koruyucu ekipmanlara ve malzemelerin taşınması için kamyonlara ihtiyaç duyulacaktır.

Devre dışı bırakma, endüstrinin birçok dalının ilgisini çeken canlı ve disiplinler arası bir gündemi kapsar. Ayrıca, altyapının tüm yaşam döngüsünden kaynaklanan etkileri en aza indirmek için ödüllerle birlikte net strateji, rehberlik ve finansman mekanizmaları sağlaması gereken politika yapıcılar ve düzenleyiciler için de teşvik edici bir konudur, sadece operasyonel üretim aşamasında değil. Devre dışı bırakma zorlukları arasındaki etkileşim, tüm paydaşların çeşitli sosyal, örgütsel ve kültürel ihtiyaç ve taleplerini dengeleme ihtiyacını yaratır.

3.5.4 Saha temizliği

Saha temizliğinin amacı, arazi sahibi, belediye veya hükümet anlaşmalarına göre araziyi geliştirme öncesi durumuna geri döndürmektir. Bir sahanın başlangıçta bitki örtüsü varsa, o zaman yeniden dikim çalışmaları başlatılır. Bu aşamada gereken ekipmanlar arasında ekskavatörler, yükleyiciler ve kişisel koruyucu ekipmanlar bulunur.



4. VAKA ÇALIŞMALARI

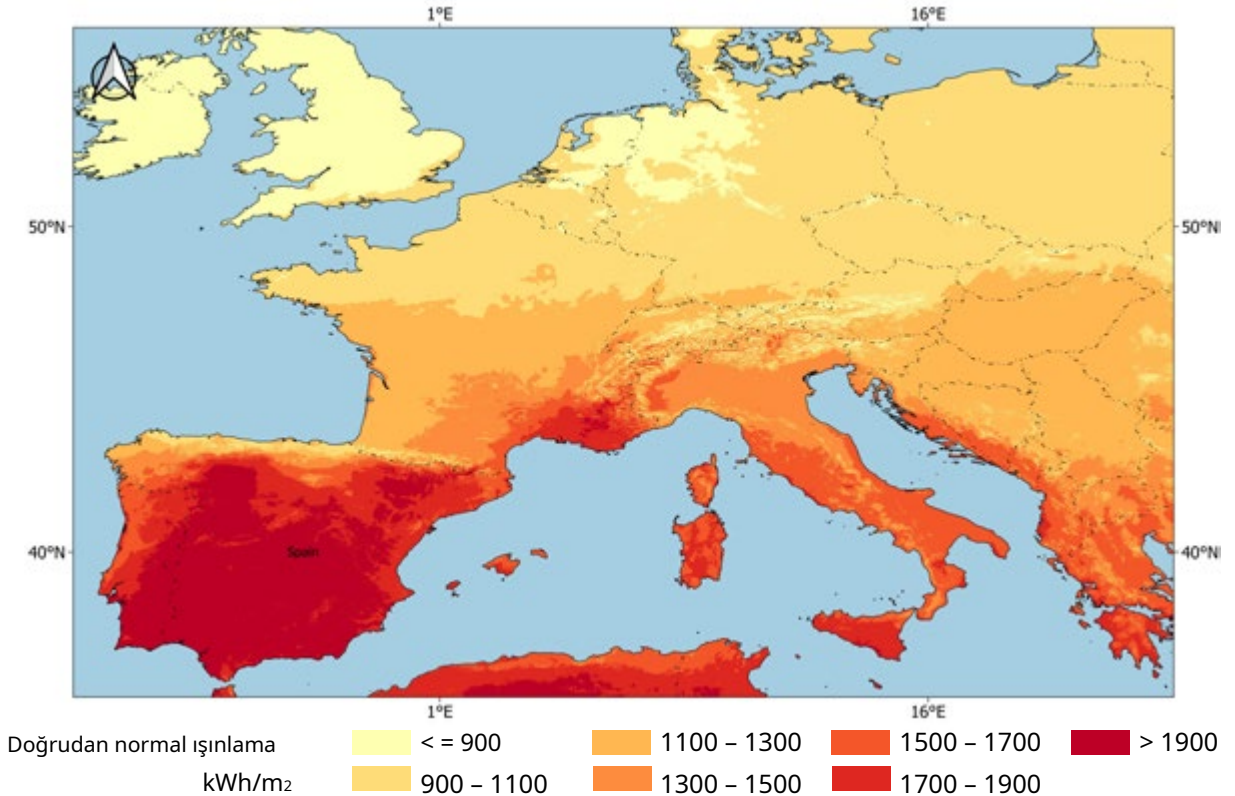
4.1 İspanya örneği: CSP dağıtımını mümkün kılan faktörler

İspanya'nın güçlü CSP dağıtımını başlangıçta, besleme tarifeleri (FiT'ler), yatırım sübvansiyonları ve özel araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) programları da dahil olmak üzere bir dizi destekleyici politika tarafından ilerletildi (Martín *ve diğerleri.*, 2015). Bu girişimler, sektörün başarısında etkili olan İspanya'nın elverişli iklim koşulları ve geniş kullanılabilir arazi alanlarıyla desteklendi. İspanya'nın CSP sektörünün güçlü büyümesi birkaç temel faktöre bağlanabilir: kaynak bağıışı, destekleyici politikalar ve diğer ekonomik ve endüstriyel faktörler ve teknoloji geliştirme. Bu faktörler aşağıdaki alt bölümlerde tartışılmaktadır.

Kaynak bağıışı

Şekil 15'te açıkça görülebileceği gibi, İspanya Avrupa Birliği'nde en yüksek güneş ışınımına sahiptir. Yıllık küresel yatay ışınım ve yıllık DNI, metrekare başına 1.750 ila 1.850 kilovatsaat (kWh/m) arasındadır.²⁾ ve 1 900 ila 2 000 kWh/m² sırasıyla güney ve orta kesimlerde 1.600 kWh/m aralığındadırlar.²⁾ ve 1 800 kWh/m², sırasıyla kuzeyde (Polo, 2015). Rakamlar diğer Avrupa ülkelerinin çoğundan önemli ölçüde daha yüksektir.

Şekil 15 ■ Avrupa'da doğrudan normal ışınım



Kaynak: Global Solar Atlas (ESMAP 2019). Temel harita: BM Sınırları.

Notlar: kWh/m²= metrekare başına kilovatsaat. Haritalar ayrıca IRENA Yenilenebilir Enerji Küresel Atlası'ndan da edinilebilir.

Yasal Uyarı: BM sınırlarını kullanan harita yalnızca gösterim amaçlıdır. Gösterilen sınırlar IRENA tarafından onaylandığı veya kabul edildiği anlamına gelmez.

İspanya'nın güney kesimi Avrupa'nın en fazla güneş kaynağına sahip bölgeleri arasındadır. Yıllık DNI seviyeleri 2.000 kWh/m²'yi aşmaktadır. Burada, düşük nüfus yoğunluğu ve geniş düz alanların varlığı, onu CSP geliştirme için ideal bir yer haline getirmiştir (Navarro ve diğerleri., 2016).

Destekleyici politikalar ve diğer ekonomik ve endüstriyel faktörler

İspanya'nın enerji sektörü, ülkenin fosil yakıtlara olan genel bağımlılığını azaltmak için önemli bir dönüşüm geçirdi. Enerji güvenliği, maliyet etkinliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri, sera gazı emisyonlarını azaltma ve yenilenebilir enerji tüketimini güçlendirmeye yönelik AB direktifleri tarafından şekillendirilen İspanya'nın enerji politikasında bir değişime yol açtı.

Avrupa'daki en erken sistemlerden biri olan FIT sisteminin tanıtımı, CSP kapasitesini önemli ölçüde artırdı. Kraliyet Kararnameleri 28128/1998, 841/2002 ve 436/2004 dahil olmak üzere bir dizi yasama eylemi, temel finansal destek sağladı. Elektrik satışlarından elde edilen gelirin üzerinde düzenlenmiş tarifeler ve prim ödemeleri çerçevesi oluşturdu. Böylece yatırım için elverişli bir ortam yaratıldı.

Özellikle, 436/2004 sayılı Kraliyet Kararnamesi, CSP üreticileri için ortalama elektrik tarifesinin bir yüzdesi olarak hesaplanan sabit tarifeler öngördü ve CSP girişimlerinin cazibesini artırdı. Bu kararname, İspanya'da ilk 200 MW güneş termal elektriğinin geliştirilmesini teşvik etmede etkili oldu. İlk 25 yıllık operasyon için rekabetçi tarifeler teklif edildi. PS10, Andasol I ve Gemasolar gibi projeler ortaya çıktı ve bunların gerçekleştirilmesi Avrupa Komisyonu gibi kuruluşlardan gelen ek destekle desteklendi.

Kraliyet Kararnamesi 661/2006 kapsamındaki daha fazla iyileştirme, CSP yatırımlarını teşvik etmede hayati önem taşıyordu. Bu kararname, yenilenebilir enerji, atıktan enerjiye ve hibrit sistemler dahil olmak üzere çeşitli tesisler için uzmanlaşmış bir düzenleyici çerçeve içinde yeni tarifeler ve primler belirledi. CSP tesisleri, teknoloji ve kapasiteye özgü sınırlar belirleyen ve yüksek sistem verimliliği veya reaktif enerji kullanımı için bonuslar sunan bu politikadan büyük ölçüde yararlandı.

Destekleyici faktörlerin bu bir araya gelmesi, CSP sektörünün beklentilerin ötesinde gelişmesini sağlayan bir gelişme dalgası başlattı. CSP projeleri kümülatif olarak yaklaşık 2,3 GW kapasiteye ulaşmıştı; bu, hükümetin yenilenebilir enerji planlarında belirlediği ilk 1 GW hedefinden önemli ölçüde daha yüksekti (IRENA, 2022).

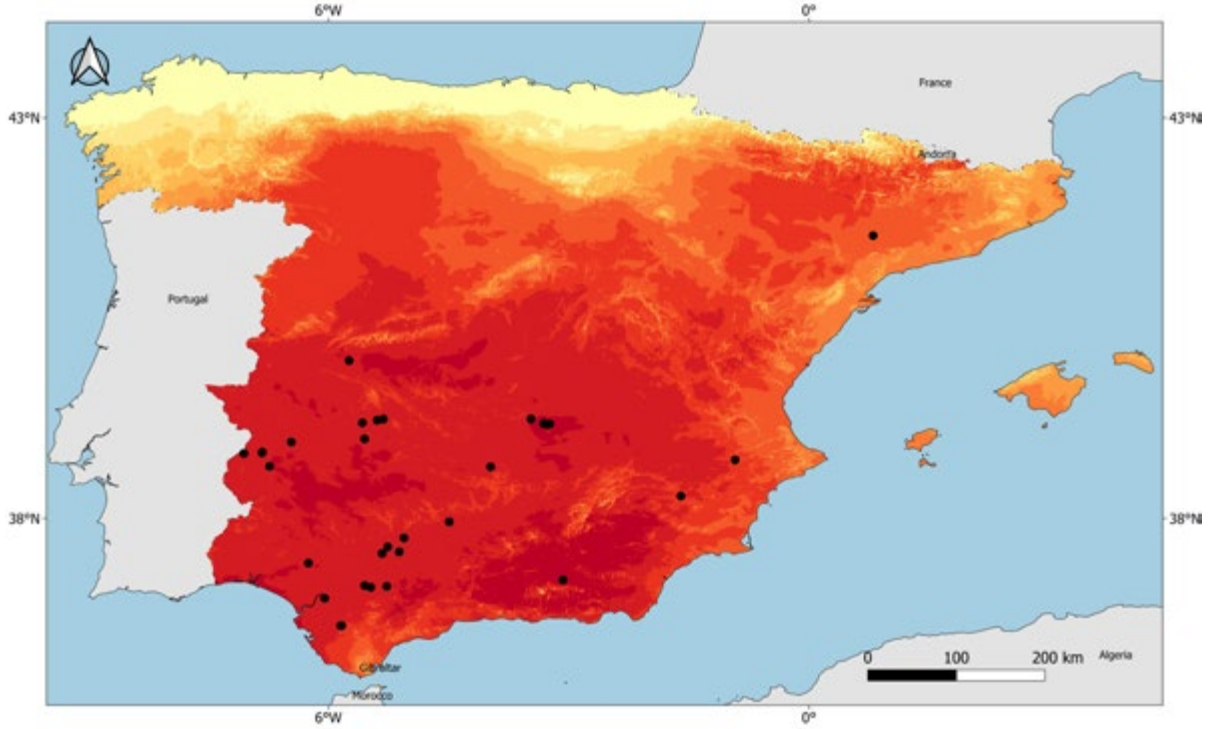
Teknoloji geliştirme

İspanya'nın CSP inovasyonundaki mirası, Plataforma Solar de Almería'nın (PSA) kuruluşuna derinden dayanmaktadır.⁸ 1970'lerin sonundan bu yana CSP teknolojilerinde bilgi ve teknolojik ilerlemenin bir işareti. PSA, İspanyol üniversiteleri ve daha geniş Avrupa endüstrisi arasındaki iş birliği, CSP dahil yenilenebilir enerji sektörlerini teşvik etmek için düzenleyici çerçevelerden yararlanmak üzere en iyi şekilde konumlandırılmış sağlam bir bilimsel ve teknolojik ortamın katalizörü olmuştur.

Daha önce belirtildiği gibi, İspanya'nın 2023 itibarıyla 2,3 GW'ın üzerindeki kümülatif kurulu kapasitesi küresel toplamın %33'ünü temsil ediyor. Şekil 16'da gösterildiği gibi, bu etkileyici rakam 49 tesise yayılmış olup ülkenin CSP teknolojisini yaygın olarak benimsediğinin altını çiziyor.

⁸ Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas'ın (CIEMAT) bir bağlı kuruluşu olan PSA, Avrupa'daki CST teknolojisi için en büyük Ar-Ge ve test merkezidir. PSA'nın faaliyetleri, Enerji Bakanlığı'nın bir Ar-Ge bölümü olarak CIEMAT organizasyonuna entegre edilmiştir.

Şekil 16 ■ İspanya'da faaliyette olan 49 CSP tesisinin konumları



Doğrudan normal ışınlama kWh/m₂

< = 1300	1500 – 1600	1800 – 1900	2000 – 2100
1300 – 1400	1600 – 1700	1900 - 2000	> 2100

Kaynak: Doğrudan normal ışınım – Küresel Güneş Atlası (ESMAP, 2019). CSP enerji santralleri – (©) İleri Sürdürülebilirlik Çalışmaları Enstitüsü (IASS) ve diğerleri 2022. Veriler Lilliestam@IASS, Thonig@IASS, Zang@CAS, Gilmanova@CAS ve diğerleri tarafından verilmiştir. Temel harita: BM sınırları.

Notlar: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; GW = gigawatt; kWh/m₂= metrekaare başına kilovatsaat. Haritalar ayrıca IRENA Yenilenebilir Enerji Küresel Atlası'ndan da edinilebilir.

Yasal Uyarı: BM sınırlarını kullanan harita yalnızca gösterim amaçlıdır. Gösterilen sınırlar IRENA tarafından onaylandığı veya kabul edildiği anlamına gelmez.

Teknolojik açıdan bakıldığında, PT sistemleri İspanya'da CSP geliştirme için ağırlıklı olarak seçilmiştir - bu eğilim, Kaliforniya'daki güneş enerjisi üreten sistemlerin yerleşik başarısından büyük ölçüde etkilenmiştir. Bankacılık sektörünün bu özel teknolojiye aşına olmasından kaynaklanan PT sistemlerine yönelik tercih, İspanya'nın bu teknolojiyi, özellikle FIT'ler altında geliştirilen projeler için seçmesiyle yansıtılmıştır. O zamanlar ticari olarak işletilen tek CSP teknolojisinin PT sistemleri olduğu göz önüne alındığında, İspanyol bankaları kule sistemleri veya Fresnel reflektörleri gibi diğer teknolojilere kıyasla bunları finanse etmeye daha meyilliydi. Kanıtlanmış operasyonel verimlilikle sağlanan bu rahatlık, finansmanı kolaylaştırdı ve PT teknolojisinin hızlı bir şekilde konuşlandırılmasını teşvik etti. Buna paralel olarak, İspanyol CSP kuruluşları, TES sistemlerini entegre ederek teknolojiyi ileriye taşıdı ve enerji yönetimini önemli ölçüde iyileştirdi.

Durum ve perspektifler

Daha önce ana hatlarıyla belirtilen sektördeki hızlı büyüme ve teknolojik ilerlemeye rağmen, 2008 küresel ekonomik gerileme ve büyüyen tarife açığı - kısmen 2006'dan sonra CSP ve PV kapasitesinin hızla büyümesi nedeniyle "özel rejim" kapsamında yenilenebilir enerji sübvansiyonlarının artmasına atfedildi (Linden ve diğerleri., 2014), İspanya'da çok sayıda yenilenebilir enerji teşvikinin geri çekilmesine yol açtı. Bu geri çekilme, 2012'de 436/2004 sayılı Kraliyet Kararnamesinin geri çekilmesini ve aynı yıl yenilenebilir enerjiye uygulanan bir moratoryumun ardından tamamlayıcı bir ödeme rejiminin getirilmesini içeriyordu. Ocak 2020'de daha önce garantili olan %7,5'lik karlılığın %4-%5 aralığına kayması, politika belirsizliklerine yol açtı; bu da CSP projelerinde mali bir zorlanmaya neden oldu ve sektörde daha fazla genişlemeyi engelledi (Frisari ve diğerleri., 2014; Koronalar ve diğerleri., 2022).

CSP projeleri için önemli sermaye yatırımı gereksinimleri, özellikle sübvansiyonların yokluğunda, İspanya'da ilerlemelerinin önünde önemli bir engel olmaya devam ediyor. CSP projeleri için küresel sermaye maliyetleri azalırken, CSP için LCOE diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha yüksek olmaya devam ediyor (IRENA, 2024) (Dersch ve diğerleri., 2020). CSP'nin sevk edilebilirliği ve önemli yerel içeriği gibi faydaları henüz geçerli elektrik piyasası yapıları tarafından yeterince telafi edilmiyor. Ancak, tekno-ekonomik yönlerdeki ilerleme, sermaye maliyetlerini önemli ölçüde azaltma ve ekonomik uygulanabilirliği iyileştirme potansiyeline sahiptir ve bu da CSP'yi yenilenebilir enerji alanında daha rekabetçi bir oyuncu olarak konumlandırır (Ferruzzi ve diğerleri., 2023; Libby ve Gould, 2022). Ayrıca, İspanya'da yerel istihdama destek ve ulusal veya bölgesel teşvikler aracılığıyla yüksek yerel içeriğin tanınmasıyla birlikte, sevk edilebilirliği uygun şekilde değerlendirmek için elektrik piyasası düzenlemelerinde yapılacak revizyonlar, ülkenin ticari CSP sektörünü büyük ölçüde teşvik edebilir ve ticari CSP tesislerinin kurulmasını hızlandırabilir.

Daha önce belirtilen zorluklara rağmen, İspanyol firmaları küresel olarak CSP projelerinde etkili olmaya devam ediyor ve bu da İspanya'nın sektöre olan önemli katkısını vurguluyor. Teknolojinin ve ekonomik koşulların devam eden evrimi, CSP sektörünün hem İspanya sınırları içinde hem de ötesindeki gidişatını etkilemeye devam edecek.

İspanya, Eylül 2024'te 2021-2030 Ulusal Enerji ve İklim Planını (NECP) güncelledi (Ekolojik Geçiş ve Demografik Zorluk Bakanlığı, 2024). Gözden geçirilmiş NECP, ülkenin karbonsuzlaştırma çabalarını ilerletmede CSP ve CST teknolojilerinin artan önemini vurguluyor. 2030 yılına kadar, operasyonel kurulu CSP kapasitesinin mevcut kapasitenin iki katından fazla artarak 4,8 GW'a ulaşması bekleniyor. Ayrıca, CSP tesislerinin aynı yıl toplam elektrik üretim karışımının %3'üne katkıda bulunması öngörülmüyor; bu oran mevcut %2. Bu büyüme, CSP teknolojilerinin İspanya'nın enerji dönüşümündeki stratejik rolünü yeniden teyit ediyor. Ek olarak, karbon nötr bir enerji sistemi, endüstriyel sektördeki enerji talebinin %30'undan fazlasını karşılamak için endüstriyel ısı (60-400°C aralığında) sağlayan CST sistemlerinin geliştirilmesini gerektiriyor. Endüstriyel Prosesler için Güneş Isısı (SHIP) sistemlerinden bazıları, pastörizasyon, kurutma, sterilizasyon, pişirme, buhar üretimi, damıtma ve biyokimya gibi birçok prosesin karbondan arındırılması için tarım-gıda sektöründe kullanılmıştır. Bu uygulamanın anlaşılmasını teşvik etmek için Enerji Çeşitlendirme ve Tasarruf Enstitüsü (IDAE), sistemlerin performansı ve maliyetleri hakkında bilgi ve dokümantasyon içeren ve Avrupa pazarında uygulanan başarılı vakaları sunan bir teknolojik rehber (IDAE Guía 033) yayınladı (Guía IDAE, 2022).

Bu nedenlerden dolayı, CSP enerji ihtiyaçlarını karşılamaya, Avrupa endüstrisi için yeni fırsatlar yaratmaya ve İspanya'nın karbonsuzlaştırma gündemini desteklemeye katkıda bulunan bir unsur olarak kabul edilmelidir. Bir SWOT (güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler) analizi, önemli güçlü yönlerine ve fırsatlarına rağmen, İspanyol CSP sektörünün zayıf yönleri olduğunu ve tehditlerle karşı karşıya olduğunu, bunlardan bazılarının ülkenin politik ve düzenleyici bağlamına özgü olduğunu ve İspanyol yönetiminin uygun desteğiyle üstesinden gelinebileceğini göstermektedir (bkz. Kutu 7).

Kutu 7 ■ İspanya'nın CSP sektörü için SWOT analizi: Endüstri, araştırma ve dağıtım perspektifleri

Güçlü yönleri

1. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) santrallerinin inşası ve işletilmesinde lider
2. İyi kurulmuş bir inşaat sektörünün ve uluslararası CSP projelerinin varlığı
3. Küresel standartlara uygun CSP bileşenlerinin üretimi ve bazı ihracatlar
4. Güçlü yerel CSP araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) çıktısı
5. Üst düzey CSP araştırma merkezleri ve üniversite grupları
6. Küresel ölçekte rekabetçi yerel üretim, özellikle otomotiv sektöründe
7. Güneş fotovoltaik ve rüzgarın, yenilenebilir enerjiye tamamen bağımlı olunan senaryolarda önemli penetrasyon oranlarına ulaşmasına yardımcı olan sevk edilebilir teknoloji

Fırsatlar

1. Avrupa'da CSP için ideal güneş kaynağı koşulları
2. CSP projelerinde yüksek yerel içerik için hükümet desteği
3. İspanyol elektrik sisteminde CSP gibi depolama ve dağıtılabılır yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacın artması
4. CSP teknolojisinin henüz yeni olması nedeniyle bu alanda liderlik yapma fırsatı
5. Güçlü güneş enerjisi kaynaklarına sahip yakınlardaki Orta Doğu ve Hispano-Amerikan ülkelerine ihracat potansiyeli
6. Uluslararası işbirliğine ve teknoloji transferine isteklilik
7. Fotovoltaik ve rüzgar enerjisinin kısıtlanmasının önüne geçmek için termal enerji depolamanın olası kullanımı

Zayıflıklar

1. CSP alanında Ar-Ge için güçlü ulusal desteğin eksikliği
2. Yerel endüstriyel Ar-Ge ve verimlilik, CSP'de lider olan diğer ülkelere göre daha düşük
3. Belirli CSP bileşenleri için malzemelerin yüksek genel maliyeti ve yerel maliyetleri
4. Sınırlı CSP'ye özgü beceriler ve eğitim programları
5. Yenilenebilir enerjiye yönelik istikrarsız siyasi taahhüt

Tehditler

1. Yabancı yatırımcıların yerleşik teknolojilere olan tercihi nedeniyle ortaya çıkan finansal zorluklar
2. Hükümet enerji planlarında düşük CSP kapasite tahsisi
3. Değer önerilerini destekleyen uygun piyasa sinyallerinin eksikliği
4. Artan uluslararası rekabet
5. Siyasi ve politik istikrarsızlık nedeniyle CSP'nin geleceğine ilişkin belirsizlik
6. Rekabetçi yenilenebilir teknolojilerde hızlı ilerleme ve maliyet düşüşü

Not: SWOT = güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler.

4.2 Güney Afrika örneği

İspanya'da olduğu gibi, Güney Afrika'da CSP dağıtımı, endüstrinin büyümesinde etkili olan doğal kaynak başışı, teknolojik ilerlemeler ve destekleyici hükümet politikalarının bir kombinasyonu tarafından desteklenmiştir. Aşağıdaki alt bölümler destekleyici faktörleri tartışmaktadır.

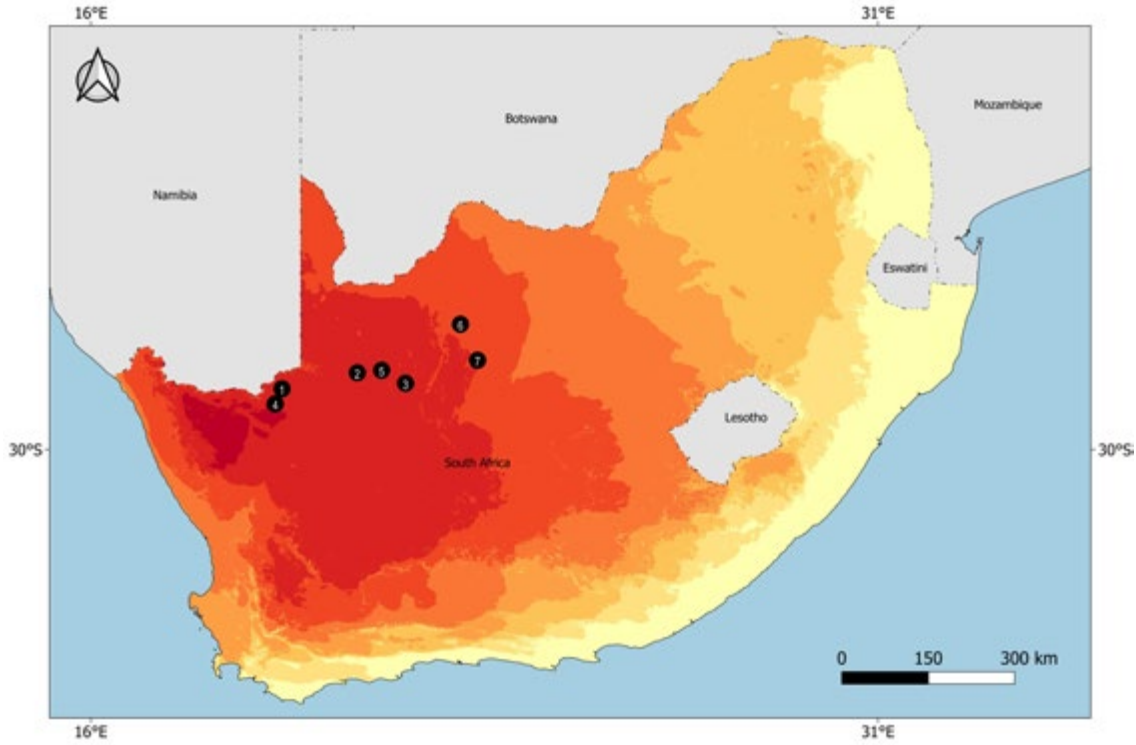
4.2.1 Güney Afrika'da CSP dağıtımını mümkün kılan faktörler

Kaynak başışı

Güney Afrika'nın Kuzey Burnu, dünyanın en fazla güneş kaynağına sahip bölgelerinden biri olduğunu iddia ediyor. Bölgedeki bol güneş ışığı, geniş yarı kurak araziler ve nispeten düşük nüfus yoğunluğu, CSP dağıtımını için ideal bir ortam yaratıyor.

Güney Afrika olağanüstü bir güneş kaynağına sahiptir. Yıl boyunca bol güneş ışığı alır. Ülkenin DNI cinsinden ölçülen güneş ışınımı, Solargis DNI haritasında gösterildiği gibi 1994 ile 2015 yılları arasında 1.460 - 3.287 kWh/m² arasında değişen uzun vadeli yıllık ortalamaları göstermektedir (Şekil 17). Bu, Avrupa Birliği içinde en yüksek güneş kaynağına sahip olan İspanya'dan belirgin şekilde daha üstündür.

Şekil 17 ■ Güney Afrika'daki doğrudan normal ışınım ve CSP projelerinin yerleri



Doğrudan normal ışınım kWh/m²

<= 1850	2050 - 2250	2450 - 2650	2850 - 3050
1850 - 2050	2250 - 2450	2650 - 2850	> 3050

CSP enerji santralleri

1 Kaxu 100 MW	4 Xina 100 MW	7 Kırmızıtaş 100 MW
2 50MW'lık	5 Ilanga 100 MW	
3 Bokpoort 50MW	6 Kathu 100 MW	

Kaynak: Doğrudan normal ışınım - Küresel Güneş Atlası (ESMAP, 2019). CSP enerji santralleri - (©) İleri Sürdürülebilirlik Çalışmaları Enstitüsü (IASS) ve diğerleri 2022. Veriler Lilliestam@IASS, Thonig@IASS, Zang@CAS, Gilmanova@CAS ve diğerleri tarafından verilmiştir. Temel harita: BM sınırları.

Notlar: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; MW = megawatt; kWh/m²= metrekaresine kilovatsaat.

Yasal Uyarı: BM sınırlarını kullanan harita yalnızca gösterim amaçlıdır. Gösterilen sınırlar IRENA tarafından onaylandığı veya kabul edildiği anlamına gelmez.

Destekleyici politikalar ve diğer ekonomik ve endüstriyel faktörler

Kömür merkezli enerji sektörü nedeniyle karbondioksit emisyonlarının Afrika kıtasındaki en yüksek seviyede olduğu düşünüldüğünde, Güney Afrika enerji kaynaklarını çeşitlendirme konusunda proaktif davranmıştır. Yenilenebilir Enerji Besleme Tarifesi, Entegre Kaynak Planı ve Yenilenebilir Enerji Bağımsız Güç Üreticisi Tedarik Programı, ülkeyi daha sürdürülebilir bir enerji politikası çerçevesine yönlendirmede temel olmuştur. Bu stratejik eksende, CSP umut vadeden bir bileşen olarak tanımlanmıştır (Pietersve diğerleri., 2014). Buna rağmen, örneğin finansal kısıtlamalar, düzenleyici belirsizlikler ve dikkat ve yatırım çeken diğer yenilenebilir teknolojilerin hızla evrimleşmesi nedeniyle, yeni CSP projelerine yönelik ivme 2019'dan sonra sürdürülemedi.

Güney Afrika'nın olgun otomotiv ve malzeme endüstrileri, elektromekanik ekipman ve hizmet sektörüyle birlikte, gelecekteki CSP gelişimi üzerinde önemli bir etki yaratmak için iyi bir konumdadır. Büyük ölçekli CSP kule tesisleri için bileşen değerinin yaklaşık %50-60'ı yerel olarak tedarik edilebilir; bu, önemli yerel değer katacak ve özellikle işsizliğin yüksek olduğu bölgelerde istihdam fırsatlarını teşvik edecektir. Bir tesisin değerinin yaklaşık %10'unu temsil eden temel bileşenlerin yerel üretimi, yerel imalatın ekonomik büyümeyi güçlendirmedeki kritik rolünü vurgular. Tablo 9, CSP teknolojisi için Güney Afrika'nın potansiyel mal ve hizmet tedarikçilerini tasvir ederek kapsamlı yerel üretim yeteneklerini vurgular (Craigve diğerleri., 2019).

Ancak, bu potansiyeli tam olarak kullanmak, CSP'de lider ülkelerle ortaklıklar kurmayı ve ülkenin Ar-Ge bütçesini artırmayı gerektirir. Bu tür stratejik işbirlikleri, yerel olarak ekonomik değeri artırmak ve iş yaratmayı teşvik etmek için önemlidir.

Tablo 9 ■ CSP mal ve hizmetlerinin potansiyel Güney Afrika tedarikçileri

Bileşen imalatı		Potansiyel tedarikçiler
Heliostatlar	Aynalar	Sarchwell (köpük enjeksiyonu)
		Rigifoam (köpük)
		PFG Bina Camı (gümüşleme)
		PFG Bina Camı (cam)
	Dişliler/tahrikler	Eylem
	Yapılar için çelik tedarikçileri	Macsteel, Aveng Trident, Dufenco ve Arcelormittal SA
	Kontroller	Helio 100 (zeka), Wirecon (kablolama) ve Reutech
İzleyiciler	Helio 100, Reutech	
Alıcı	John Thompson, savunma sanayi	
Kule	Brolaz, Macsteel, Trident, Dufenco, Kesitli Direkler ve Graffo	
Depolamak	Intertherm, çelik şirketleri ve EPC yüklenicileri (sadece depolama konteyneri)	
Güç bloğu	yok	
EPC hizmetleri	Beşinci Grup, Aveng ve Crowie İmtiyazları	

Kaynak: (WWF, 2015).

Notlar: CSP = yoğunlaştırılmış güneş enerjisi; EPC = mühendislik, tedarik ve inşaat; n/a = uygulanamaz.

Güney Afrika'daki CSP sektörünün görünümü, yerel endüstrilerin ekonomik değeri artırma ve istihdam yaratma konusundaki kabul görmüş potansiyelini son yılların gerçekleriyle dengelemelidir. Sektörün zorlukları ve gelecekteki beklentilerin gerçekçi bir değerlendirmesiyle bilgilendirilen dikkatli bir yaklaşım, ilerlemek için olmazsa olmazdır.

Teknoloji geliştirme

Güney Afrika'da CSP altyapısının geliştirilmesi önemli olmuştur. Ülke, 2016'dan 2019'a kadar nispeten kısa bir zaman diliminde, esas olarak PT teknolojisine dayalı olarak 500 MW'lık bir kurulu kapasiteye ulaşmıştır. Hızlı dağıtım, özellikle geleneksel elektrik üretiminin çevresel etkilerini hafifletmek için yenilenebilir enerji politikalarından destek alarak ülkenin daha fazla büyüme potansiyelini vurgulamaktadır.

Güney Afrika'nın CSP ilerlemesine olan bağlılığı, CSP dahil yenilenebilir teknolojilerde teknoloji transferini ve iş gücü eğitimini teşvik eden Güney Afrika Yenilenebilir Enerji Teknolojisi Merkezi gibi girişimlerle vurgulanmaktadır. Güney Afrika üniversiteleri, araştırma kurumları ve uluslararası ortaklar arasındaki iş birliği, CSP'de Ar-Ge için elverişli bir ortam yaratmıştır.

Daha önce tartışılan faktörler birlikte Güney Afrika'da CSP faaliyetinde önemli bir artışa yol açtı ve önemli kapasitenin hızlı kurulmasını sağladı. İspanya'nın CSP deneyimini yansıtan Güney Afrika, kanıtlanmış güvenilirlikleri ve kalifiye işgücünün mevcudiyeti nedeniyle PT sistemlerini tercih etti. TES'yi CSP projelerine entegre etmek şebeke istikrarını ve enerji dağıtımını artırarak CSP'nin Güney Afrika'nın enerji portföyündeki rolünü güçlendirdi.

4.2.2 Durum ve perspektifler

Özellikle yeterli su kaynaklarına duyulan ihtiyaç ve alternatif enerji biçimleriyle rekabet edebilmek için tarife oranlarını ayarlama zorunluluğu gibi zorluklar devam etmektedir. Ancak, önceki bölümde tartışılan faktörler tarafından oluşturulan sağlam temel, bölgede CSP teknolojilerinin sürekli büyümesi ve uygulanabilirliği için umut verici bir temel sunmaktadır.

Güney Afrika'nın endüstriyel sektörlerinin, özellikle otomotiv ve malzeme endüstrilerinin gücü, CSP endüstrisinin sunduğu potansiyel ekonomik iyileşme ve iş yaratma için zemin hazırlıyor. Bu sektörler özellikle yüksek işsizlik oranlarının olduğu bölgelerde hayati önem taşıyor ve endüstriyi canlandırmak ve enerji sektörünü çeşitlendirmek için fırsatlar sunuyor.

Güney Afrika'daki CSP manzarası karmaşık bir dizi zorluk ve fırsat sunmaktadır (bkz. Kutu 8). Sermaye yatırımı gereksinimleri, özellikle önemli sübvansiyonların yokluğunda önemli bir engel olmaya devam etmektedir. CSP için LCOE, küresel olarak CSP için sermaye maliyetlerindeki düşüşe rağmen diğer yenilenebilir enerji kaynakları için olanı aşmaya devam etmektedir. Güney Afrika'da, bunun nedeni kısmen CSP gelişiminin yeni başlamış olmasıdır.



Kutu 8 ■ Güney Afrika'nın CSP sektörünün SWOT analizi: Endüstri, araştırma ve dağıtım perspektifleri

Güçlü yönleri

1. Küresel ölçekte rekabetçi yerel üretim, özellikle otomotiv sektöründe
2. Büyük enerji santralleri inşa etme deneyimi
3. Küresel standartlara uygun yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) bileşenlerinin üretimi ve bazı ihracatlar
4. Güçlü yerel CSP araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) çıktısı
5. İyi kurulmuş bir inşaat sektörünün ve uluslararası CSP projelerinin varlığı

Fırsatlar

1. CSP için ideal güneş kaynağı koşulları
2. CSP projelerinde yüksek yerel içerik için hükümet desteği
3. CSP'yi mevcut güç altyapısıyla entegre etme potansiyeli
4. CSP teknolojisinin henüz yeni olması nedeniyle bu alanda liderlik yapma fırsatı
5. Güçlü güneş enerjisi kaynaklarına sahip diğer Afrika ülkelerine ihracat potansiyeli
6. Uluslararası işbirliğine ve teknoloji transferine isteklilik

Zayıflıklar

1. Ar-Ge, küresel liderlere kıyasla geride kalıyor
2. Yerel endüstriyel Ar-Ge ve üretkenlik, CSP'de lider olan diğer ülkelere göre daha düşüktür
3. CSP bileşenleri için malzemelerin yüksek yerel maliyetleri
4. Sınırlı CSP'ye özgü beceriler ve eğitim programları
5. İthal edilen bileşenler için maliyetli nakliye
6. Yenilenebilir enerjiye yönelik istikrarsız siyasi taahhüt

Tehditler

1. Yabancı yatırımcıların yerleşik teknolojilere olan tercihi nedeniyle ortaya çıkan finansal zorluklar
2. Yerel CSP teklifleri için kısıtlayıcı yeterlilik kriterleri
3. Hükümet enerji planlarında düşük CSP kapasite tahsisi
4. Daha az güneş enerjisi kaynağına sahip bölgelerdeki üreticilerin rekabeti
5. Siyasi ve politik istikrarsızlık nedeniyle CSP'nin geleceğine ilişkin belirsizlik
6. Rekabetçi yenilenebilir teknolojilerde hızlı ilerleme ve maliyet düşüşü

Not: SWOT = güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler.

CSP'nin dağıtılabilir enerji kapasitesi ve önemli yerel içerik üretimi olasılığı gibi içsel avantajları, Güney Afrika'nın enerji pazarında henüz keşfedilmemiş bir potansiyel sunmaktadır. Mevcut piyasa yapısı bu avantajları tam olarak tanımamış olsa da, teknolojik ve ekonomik manzaralar geliştikçe önemli bir entegrasyon potansiyeline sahiptirler.

CSP'nin ekonomik uygulanabilirliğini artırmak için Güney Afrika'nın, CSP'nin dağıtılabilirliğinin değerini daha doğru bir şekilde yansıtabileceği düzenlemeleri güncellemesi gerekebilir. Özellikle yerel iş yaratma ve endüstriyel kalkınmayı teşvik etme teşvikleri, yerel CSP pazarını canlandırmak için çok önemli olabilir. Bu tür önlemler, CSP tesislerinin daha hızlı kurulmasını ve büyümesini kolaylaştıracak ve karşılığında ülkenin enerji çeşitliliği ve güvenliği arayışına yardımcı olacaktır.

Güney Afrika işletmeleri, ülkenin kapsamlı güneş kaynaklarını kullanmak ve güçlü bir küresel varlık kurmak için CSP'de uzmanlık geliştirmek için iyi bir konumdadır. Teknolojik gelişmelerin yanı sıra elverişli coğrafi ve ekonomik ortamın, Güney Afrika'daki ve potansiyel olarak Afrika kıtası genelindeki CSP endüstrisinin gidişatını şekillendirmesi bekleniyor.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yenilenebilir enerjinin sosyo-ekonomik avantajları artık yaygın uygulanmasını savunmada merkezi bir husustur. Hükümetler yenilenebilir enerjinin sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı yönlendirme, iş yaratma ve stratejik yatırım yoluyla toplumsal refahı iyileştirme potansiyelini kabul etmektedir. Sürdürülebilir CSP dağıtımını desteklemek için bir dizi önlem esastır:

- **Yenilenebilir enerji hedeflerinin net olarak belirlenmesi.** Pazar geliştirme yörüngelerine ilişkin şeffaf ve uzun vadeli bir bakış açısı sağlanmalıdır. Uygun dağıtım politikalarıyla eşleştirildiğinde, bu hedefler istikrarlı ve öngörülebilir bir yatırım iklimi yaratır.
- **Sevk edilebilir yenilenebilir teknolojiler için özel hedeflerin tanımlanması.** Önceki hedeflere ek olarak veya bunlarla birlikte, yüksek yenilenebilir enerji penetrasyon oranlarına ulaşmak için konvansiyonel baz yük santrallerinin değiştirilmesi gerekecektir ve bu, uygulanabilir tam karbonsuzlaştırma senaryoları için olmazsa olmazdır.
- **Yerel içeriğin zorunlu kılınması ve yerli tedarikin teşvik edilmesi.** CSP projeleri için yerel kaynaklı malzeme ve işgücünün asgari bir yüzdesini şart koşan yerel içerik gereklilikleri, özellikle kadınlara ve toplumun diğer ayrımcılığa uğramış gruplarına odaklanarak endüstriyel büyümeyi ve iş yaratmayı teşvik eder. Bu gereklilikleri tamamlayan hükümet teşvikleri, örneğin yerel tedarikleri teşvik edebilir, örneğin yerel tedariki önceliklendiren firmalar için vergi indirimleri veya diğer avantajlar yoluyla.
- **Yerel tedarik zincirlerinin geliştirilmesi.** Yerel içerik şartlarını yerine getirmek, yerel tedarik zincirlerini güçlendirmeyi gerektirir. Örneğin, endüstriyel yükseltme ve tedarikçi geliştirme programları gibi yerel firmaların rekabet gücünü artıran müdahaleler bu bağlamda hayati öneme sahiptir. Bu önlemler, teknik yardım, finansal teşvikler ve teknoloji transferi için işbirlikleri ile desteklenmelidir.
- **Hedeflenen finansman ve yatırım teşvikleri.** İmtiyazlı krediler veya hibeler de dahil olmak üzere hükümetler tarafından sağlanan finansman seçenekleri, CSP sektörünün büyümesini teşvik etmek için önemlidir. CSP'ye yatırım yapan kuruluşlar için yatırım teşvikleri ve vergi indirimleri, yerel sektör gelişimini daha da teşvik eder.
- **İnovasyon ve Ar-Ge'yi teşvik etmek.** Yerel endüstrilerde inovasyon ve Ar-Ge'yi ilerletmek yerel değeri en üst düzeye çıkarır. Bu, sektöre özgü Ar-Ge için hükümet fonlaması ve araştırma enstitüleri ve kuluçka merkezleri aracılığıyla yerel inovasyon ekosistemlerinin yetiştirilmesini içerebilir. Bir örnek, şirketlerin Ar-Ge maliyetlerinin önemli bir kısmını vergilendirilebilir gelirlerinden düşmelerine izin veren Çin Ar-Ge vergi indirimi mekanizması olabilir.
- **Teknoloji transferini ve bilgi alışverişini kolaylaştırmak.** Yerel endüstrilerin CSP ilerlemelerinden haberdar kalabilmesi için aktif teknoloji transferi ve bilgi alışverişi gereklidir. Uluslararası kuruluşlarla işbirlikleri, yerel işgücünün kendi becerilerini geliştirmesine ve yerel firmaların teknolojik olarak güçlenmesine yardımcı olabilir.
- **Planlama ve karar alma süreçlerine toplumsal katılım.** Yerel toplulukların CSP proje planlamasına kapsayıcı katılımı, daha geniş desteği ve faydaların eşit dağıtımını teşvik eder. Hükümetler danışma mekanizmaları uygulamalı ve toplulukları CSP'nin faydaları ve riskleri konusunda eğitmelidir. Ayrıca, beceri eksikliklerinin giderilmesinde hayati önem taşıyan eğitim ve öğretimin, CSP sektörünün beceri talepleriyle uyumlu olması gerekir; böylece yerel istihdam beklentileri, özellikle kadınlar ve uzun süredir ayrımcılığa maruz kalan diğer gruplar için iyileştirilebilir ve sistemsel engeller ortadan kaldırılabilir; bu da daha fazla adalet ve kapsayıcılığın teşvik edilmesi ve herkes için eşit fırsatlar yaratılması anlamına gelir.

Özetle, CSP dağıtımı yerel değer yaratma açısından muazzam bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin gerçekleştirilmesi, yerel endüstri büyümesini besleyen, inovasyonu teşvik eden ve toplulukları dahil eden politikalar oluşturmaya bağlıdır. Bu tür stratejik politika oluşturma, CSP projelerinin sosyo-ekonomik faydalarının yaygın bir şekilde dağıtılmasını ve yenilenebilir enerji girişimlerinin uzun vadeli sürdürülebilirliğini destekleyebilmesini sağlayabilir. Ayrıca, daha önce belirtildiği gibi, ticari CST sistemlerinin proses ısı ve yakıt üretimi için kullanılma potansiyeli, vaat ettiği faydalarla birlikte, birçok ülkede henüz gerçekleştirilmemiştir.

KAYNAKLAR

Aalborg CSP (tarihsiz), "6,8 MWth güneş enerjisiyle çalışan bölgesel ısıtma santrali, Danimarka"

www.aalborgcsp.com/projects/district-heating-projects/68-mwth-solar-district-heating-combination-plant-denmark

Koronas, S., ve diğerleri. (2022), "İspanya'da Güneş Enerjisi Üretim Sektörünün 23 Yıllık Gelişimi:

"1998-2020 Döneminin Düzenleyici Bir Bakış Açısıyla Kapsamlı Bir İncelemesi", *Enerjiler*, cilt 15/4, 1593, <https://doi.org/10.3390/en15041593>

Craig, O., ve diğerleri (2019), "Güney Afrika'da yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin (CSP) yerel üretim kapasitesi, ekonomik ve ticari etkisinin analizi" AIP Konferans Bildirileri, Amerikan Fizik Enstitüsü Inc., Cilt 2126, <https://doi.org/10.1063/1.5117644>

Del Río, P. ve Mir-Artigues, P. (2019), "Güneş enerjisinin yoğunlaştırılması için ihalelerin tasarlanması"

Sürdürülebilir Kalkınma İçin Enerji, cilt 48, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.10.005>

Dersch, J., ve diğerleri (2020), "G20 ülkelerinde 2030 yılına kadar parabolik oluk ve güneş kulesi teknolojisinin LCOE azaltma potansiyeli" *Solarpaces 2019: Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi ve Kimyasal Enerji Sistemleri Uluslararası Konferansı*, Daegu, <https://doi.org/10.1063/5.0028883>

ESHAP (2019), "Küresel güneş atlası (veritabanı), Enerji Sektörü Yönetim Yardım Programı, Dünya Bankası", Küresel Güneş Atlası, Washington, DC, <https://globalsolaratlas.info> (3 Mart 2019'da erişildi).

Ferruzzi, G., ve diğerleri (2023), "Güneş Enerjisinin Yoğunlaştırılması: Son Durum, Araştırma Boşlukları ve Gelecek Perspektifleri" *Enerjiler*, cilt 16/24, <https://doi.org/10.3390/en16248082>

Frisari, G. ve Feás, J. (2014), *Kamu Finansmanının CSP'deki Rolü. İspanya'nın dünya lideri bir endüstriyi nasıl yarattığı ve ardından yatırımcı güvenini nasıl paramparça ettiği*, İklim Yatırım Fonları.

Gamarra, AR, ve diğerleri (2023), "Küresel değer zincirleri bağlamında Avrupa'da yoğunlaştırılmış güneş enerjisi dağıtımının sürdürülebilirlik etkilerinin değerlendirilmesi" *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*, cilt 171, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113004>

Gereffi, G. ve Dubay, K. (2008), "Güneş Enerjisinin Yoğunlaştırılması: Elektrik Şebekesi için Temiz Enerji", G. Gereffi, K. Dubay ve M. Lowe (editörler) tarafından yazılan 4. Bölüm, *Üretim İklim Çözümleri: Karbon Azaltıcı Teknolojiler ve ABD İşleri*, Duke Üniversitesi: Küreselleşme, Yönetişim ve Rekabet Merkezi.

IDAIE (2022), "Guía de Energía Solar Térmica para Procesos Industriales [Endüstriyel Prosesler için Güneş Termal Enerjisi Kılavuzu]", Guía No. 033, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid.

IRENA (2017), *Yenilenebilir enerjinin faydaları: Sosyo-ekonomiyi anlamak*, Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı, Abu Dabi, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Nov/IRENA_Sosyo_Ekonomiyi_Anlamak_2017.pdf

IRENA (2019), *Yenilenebilir enerji ihaleleri: Fiyatın ötesinde durum ve eğilimler*, Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı, Abu Dabi, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Dec/IRENA_RE-Auctions_Status-and-trends_2019.pdf

- IRENA (2022)**, *Yenilenebilir enerji istatistikleri 2022*, Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı, Abu Dabi, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Renewable_energy_statistics_2022.pdf
- IRENA (2023)**, *Dünya enerji dönüşümleri görünümü 2023: 1,5°C yolu*, Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı, Abu Dabi, www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023
- IRENA (2024)**, *2024'te yenilenebilir enerji üretim maliyetleri*, Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı, Abu Dabi, www.irena.org/Publications/2024/Sep/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2023
- IRENA ve ILO (2024)**, *Yenilenebilir enerji ve işler: Yıllık inceleme 2024*, Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı ve Uluslararası Çalışma Örgütü, Abu Dabi, www.irena.org/Publications/2024/Oct/Yenilenebilir_enerji_ve_isler-Yıllık_inceleme-2024
- Kis, Z. ve diğerleri (2018)**, "Elektrik üretim teknolojileri: Malzeme kullanımının karşılaştırılması, yatırımın enerji getirisi, iş yaratma ve CO emisyonlarının azaltılması", *Enerji Politikası*, cilt 120, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2018.05.033>
- Li, B., ve diğerleri (2022)**, "Spot Pazarına Katılmak İçin Termal Enerji Depolamalı Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi için İhale Stratejisi", İçinde: *2022 3rd Uluslararası İleri Elektrik ve Enerji Sistemleri Konferansı (AEES)*, IEEE, Lanzhou, <https://doi.org/10.1109/AEES56284.2022.10079418>
- Libby, C. ve Gould, W. (2022)**, "Yeni nesil yoğunlaştırılmış güneş enerjisi santralleri: Uluslararası pazarlara ilişkin perspektifler" *Solarpaces 2020'de: 26inci Uluslararası Güneş Enerjisi ve Kimyasal Enerji Sistemleri Konsantre Konferansı*, Freiburg, <https://doi.org/10.1063/5.0087100>
- Ihlamur, AJ, ve diğerleri (2014)**, *Avrupa Ekonomisi. Elektrik Tarife Açığı: AB'de Geçici mi Kalıcı mı Sorun?*, No. 534, Avrupa Komisyonu, Brüksel, https://ec.europa.eu/economy_finance/publications/ekonomik_paper/2014/pdf/ecp534_en.pdf
- Ling-zhi, R., ve diğerleri (2018)**, "Çin'de yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sektörünün ekonomik performansı" *Temiz Üretim Dergisi*, cilt 205, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.110>
- Martin, H., ve diğerleri (2015)**, "İspanya'da yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin (CSP) teşviki: 1998-2013 döneminin performans analizi" *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*, cilt 50, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.062>
- Ekolojik Geçiş ve Demografik Zorluk Bakanlığı, MITECO (2024)**, "Bütünleşik Ulusal Enerji ve İklim Planı. Güncelleme 2023-2030." Ekolojik Geçiş Bakanlığı ve Demografik Zorluk.
- Montmasson-Clair, G. ve Ryan, G. (2014)**, "Güney Afrika'nın yenilenebilir enerji düzenleme ve tedarik deneyiminden alınan dersler" *Ekonomi ve Finans Bilimleri Dergisi*, cilt 7/4, <https://doi.org/10.4102/jef.v7i4.382>
- Navarro, AA, ve diğerleri (2016)**, "Güneş Termal Elektrik Potansiyeli Metodolojilerinin Gözden Geçirilmesi ve Doğrulanması" *Enerji Dönüşümü ve Yönetimi*, cilt 126, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.070>
- Pieters, Ben, ve diğerleri (2014)**, "Güney Afrika Yenilenebilir Enerji Bağımsız Güç Üreticisi Tedarik Programı kapsamındaki projelerin mali kapanışının araştırılması" *Güney Afrika Endüstri Mühendisliği Dergisi*, cilt 25/3, <https://doi.org/10.7166/25-3-912>

Pihl, E., ve diğçerleri(2012), "Güneş termal enerjisini yoğunlaştırmak için malzeme kısıtlamaları" *Enerji*, cilt 44/1, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.057>

Polo, J. (2015), "İspanya'da jeostasyon uydularından elde edilen küresel yatay ve doğrudan normal güneş ışınımı haritaları", *Atmosfer ve Güneş-Dünya Fizikî Dergisi*, ciltler 130-131, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2015.05.015>

Şankar, A., ve diğçerleri(2024), "Depolama ile Güneş Enerjisi Santrallerinin Yoğunlaştırılması. Dağıtım Şimdi Önemlidir", (s. 77), *Enerji ve Kaynaklar Enstitüsü*, Yeni Delhi, www.teriin.org/sites/default/files/files/CSP_Raporu_2024.pdf

Güneş Uzayları (nd), "Dünya Çapında CSP Projeleri", www.solarpaces.org/worldwide-csp/csp-projects-around-the-world (28 Ocak 2025'te erişildi).

Thonig, R., Gilmanova, A. ve Lilliestam, J. (2023), "CSP.guru 2023-07-01 [Veri kümesi]", Zenodo, <https://doi.org/10.5281/zenodo.1318151>

Dünya Bankası (2021), *Güneş Enerjisini Yoğunlaştırma. Talep Üzerine Temiz Güç* 7/24, No. 202-473-1000, Washington, DC, <https://pubdocs.worldbank.org/en/849341611761898393/WorldBank-CSP-Report-Concentrating-Solar-Power-Clean-Power-on-Demand-24-7-FINAL.pdf>

WWF (Dünya Doğayı Koruma Vakfı) (2015), *Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Güney Afrika için stratejik bir endüstriyel kalkınma fırsatı*, http://awsassets.wwf.org.za/downloads/concentrated_solar_power_report_final.pdf

Zhang, N., ve diğçerleri.(2024), ""Yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek oranda kullanıldığı güç sistemlerinde yoğunlaştırılmış güneş enerjisi üretiminin optimum konfigürasyonu" *Yenilenebilir Enerji*, cilt 220, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119535>

Zurita, A., ve diğçerleri.(2020), ""Sevk optimizasyon algoritması kullanılarak spot piyasalar için optimum CSP tesis yapılandırılmalarının belirlenmesi - Şili için bir vaka çalışması", *Solarpaces 2019'da: Güneş Enerjisi ve Kimyasal Enerji Sistemlerinin Yoğunlaştırılması Uluslararası Konferansı*, Daegu, <https://doi.org/10.1063/5.0028964>



IRENA MERKEZİ

Posta Kutusu 236, Abu Dabi

Birleşik Arap Emirlikleri

www.irena.org

© IRENA 2025

