Türk-Alman Enerji Forumu
Deutsch-Türkisches Energieforum

Supported by:
Federal Ministry for Economic Affairs and Energy
on the basis of a decision by the German Bundestag

Dosya

"Yenilenebilir Isıtma ve Soğutma" Teknolojisine Genel Bakış

Türkiye'ye transferi için Almanya'nın deneyimlerine ait bir özet

dena
Alman Enerji Ajansı

Künye

Yayınlayan
Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin
Tel: +49 (0)30 66 777 - 0
Faks: + 49 (0) 66 777 - 699
E-posta: info@dena.de
İnternet: www.dena.de

Yazarlar
Oliver Buchnin
Heiner Wilkens

İşi veren
Dr. Karsten Lindloff, dena
Susanne Schmelcher, dena
Maike von Krause-Krohn, dena
Peter Pannier, dena

Revizyon: 03/2020
Tüm hakları saklıdır. Kullanımı dena'nın rızasına tabidir.

İçindekiler

İçindekiler ... 3
Kısaltmalar ... 5
Şekil dizini ... 6
Tablo dizini ... 7
1 Giriş ... 8
1.1 Arka plan ... 8
1.2 Dosyanın amacı ... 8
1.3 Türkiye'de yenilenebilir ısıtma ve soğutma ... 9
1.4 Teknolojiye genel bakış ... 9
1.5 Profillerin yapısı ve konseptlerin değerlendirilmesi ... 10
2 Profil: Binaya yakın çevre ısısıyla ısıtma ... 14
2.1 Çalışma prensibi ... 14
2.2 Sürdürülebilirlik ... 16
2.3 Dayanıklılık ... 16
2.4 Ekonomiklik ... 17
2.5 Aktarılabilirlik ... 17
2.6 Örnek uygulamalar ... 18
2.7 Değerlendirme matrisi ... 19
3 Profil: Atık ve çevre ısısıyla ısıtma ... 20
3.1 Çalışma prensibi ... 20
3.2 Sürdürülebilirlik ... 22
3.3 Dayanıklılık ... 22
3.4 Ekonomiklik ... 23
3.5 Aktarılabilirlik ... 23
3.6 Örnek uygulamalar ... 24
3.7 Değerlendirme matrisi ... 25
4 Profil: Biyokütle ve güneş enerjisi ile ısıtma ... 26
4.1 Çalışma prensibi ... 26
4.2 Sürdürülebilirlik ... 28
4.3 Dayanıklılık ... 28
4.4 Ekonomiklik ... 29
4.5 Aktarılabilirlik ... 29
4.6 Örnek uygulamalar ... 30
4.7 Değerlendirme matrisi ... 31
5 Profil: Güneş enerjisiyle soğutma ... 32
5.1 Çalışma prensibi ... 32

5.2 Sürdürülebilirlik 34
5.3 Dayanıklılık 35
5.4 Ekonomiklik 36
5.5 Aktarılabilirlik 37
5.6 Örnek uygulamalar 37
5.7 Değerlendirme matrisi 38
6 Profil: Jeotermal ısıtma ve soğutma 39
6.1 Çalışma prensibi 39
6.2 Sürdürülebilirlik 41
6.3 Dayanıklılık 41
6.4 Ekonomiklik 41
6.5 Aktarılabilirlik 42
6.6 Örnek uygulamalar 42
6.7 Değerlendirme matrisi 43
7 Profil: Güneş enerjisiyle soğutma 44
7.1 Çalışma prensibi 44
7.2 Sürdürülebilirlik 46
7.3 Dayanıklılık 47
7.4 Ekonomiklik 47
7.5 Aktarılabilirlik 48
7.6 Örnek uygulamalar 48
7.7 Değerlendirme matrisi 49
Kaynakça 50
Sözlük 51

Kısaltmalar

AHK	Alman-Türk Ticaret ve Sanayi Odası
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Federal Ekonomi ve İhracat Kontrolü Dairesi)
BHKW	Blok ısı santrali
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Federal Ekonomi ve Enerji Bakanlığı)
BWP	Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Federal Isı Pompaları Birliği)
CHP	Kombine ısı ve güç (İng. Combined heat and power)
COP	Performans katsayısı (İng. Coefficient of Performance)
dena	Alman Enerji Ajansı
EEG	Yenilenebilir Enerji Yasası
EEWärmeG	Yenilenebilir Enerji Isı Yasası
FKW, HFKW	Hidroflorokarbon, kısmen halojenli hidroflorokarbon
Fm	Metreküp
JAZ	Yıllık çalışma sayısı
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau (Alman Kalkınma Bankası)
MAP	Pazar teşvik programı
ORC	Organic Rankine Cycle (Organik Rankin Çevrimi)
PV	Fotovoltaik
SGK	Soğurmalı destekli iklimlendirme
WP	Isı pompası

Şekil dizini

Şekil 1 Türkiye'de ısı üretiminin yakıt kaynaklarına göre gelişmesi ... 9
Şekil 2 Türkiye'de elektrik tüketiminin gelişimi ... 9
Şekil 3 Teknoloji kombinasyonları ... 10
Şekil 4 Bir "Performans çarkı" örneği” ... 11
Şekil 5 Isı pompası sistemi, Hamburg GALAB firma merkezinde ... 14
Şekil 6 "Binaya yakın çevre ısısıyla ısıtma" konsepti için genel değerlendirme. ... 14
Şekil 7 Yapıya entegre ısı pompasında enerji akışlarının basitleştirilmiş gösterimi ... 15
Şekil 8 Isı pompası ve depolu ısıtma santrali ve bina cephesinde hibrit kolektörler ... 18
Şekil 9 Berlin-Lichtenberg'te büyük ısı pompası ... 20
Şekil 10 "Atık ısı ve çevre ısısıyla ısıtma" konsepti için genel değerlendirme ... 20
Şekil 11 Büyük ısı pompası enerji akışlarının basitleştirilmiş gösterimi ... 21
Şekil 12 Viyana Simmering enerji santralindeki büyük ısı pompasının bileşenleri ... 24
Şekil 13 Ağaç yongası yakma (arka plan) ve ağaç yongası deposu ... 26
Şekil 14 "Biyokütle ve güneş enerjisi ile ısıtma" konsepti için genel değerlendirme ... 26
Şekil 15 Biyokütle ve güneş enerjisi ile ısıtma sırasında enerji akışlarının basitleştirilmiş gösterimi ... 27
Şekil 16 Mengsberg Biyoenerji Kooperatifi kavramına bir örnektir ... 30
Şekil 17 Dessau'da Çevre Dairesinde güneş enerjisiyle soğurmalı soğutma sistemi ... 32
Şekil 18 "Güneş enerjisiyle soğutma" konsepti için genel değerlendirme ... 32
Şekil 19 Güneş enerjisiyle soğutma çekirdek bileşenleri ve enerji akışları basitleştirilmiş gösterimi ... 32
Şekil 20 Bir binada vakum tüplü güneş enerjisi kolektörleri ... 34
Şekil 21 Soğurmalı klima sistemleri için bir uygulama örneği olarak yüzme havuzu ... 35
Şekil 22 Dessau Federal Çevre Dairesinde güneş kolektörü alanı ... 38
Şekil 23 İzlanda Thingvellir'de Nesjavellir Jeotermal Enerji Santrali ... 39
Şekil 24 "Jeotermal ısıtma ve soğutma" konsepti için genel değerlendirme ... 39
Şekil 25 Jeotermal soğutma sırasında ana bileşenlerin ve enerji akışlarının basitleştirilmiş gösterimi ... 40
Şekil 26 Unterföhring jeotermal santrali enerji merkezi ve 2008 yılında yinelenen sondaj ... 43
Şekil 27 Fotovoltaik sistemi ve bir çatıda soğutma için split modül ... 44
Şekil 28 "Güneş enerjisiyle soğutma" konsepti genel değerlendirmesi ... 44
Şekil 29 Güneş enerjisiyle soğutmada ana bileşenler ve enerji akışlarının basitleştirilmiş gösterimi ... 45
Şekil 30 Proses teknolojisine dair uygulamada sıkıştırma soğutma sistemi ve split cihazlar ... 45

Tablo dizini

Tablo 1 "Binaya yakın çevre ısısıyla ısıtma" için değerlendirme matrisi 19
Tablo 2 Isı pompalarının tipik sıcaklık seviyeleri 21
Tablo 3 "Atık ısı ve çevre ısısıyla ısıtma" için değerlendirme matrisi 25
Tablo 4 "Biyokütle ve güneş enerjisi ile ısıtma" için değerlendirme matrisi 31
Tablo 5 Soğurmalı soğutma sistemlerinde tipik sıcaklık seviyeleri 34
Tablo 6 "Güneş enerjisiyle Soğutma" için değerlendirme matrisi 38
Tablo 7 "Jeotermal ısıtma ve soğutma" için değerlendirme matrisi 43
Tablo 8 "Güneş enerjisiyle soğutma" için değerlendirme matrisi 49

1 Giriş

Türk-Alman Enerji Forumu 2012 yılında her iki ülkenin hükümetleri tarafından kuruldu. O zamandan beri, Alman Enerji Ajansı (dena), Federal Almanya Ekonomi ve Enerji Bakanlığı (BMWi) için yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, enerji altyapısı ve sektör bağlantısı alanlarında her iki ülkeden çok sayıda siyasi ve ekonomik aktör ile çalışıyor ve taraflar arasında yapılandırılmış bir bilgi ve tecrübe alışverişi olmasını sağlıyor. Bu çalışma gruplarında eş başkan olarak, T.C. Enerji Bakanlığı temsilcileriyle birlikte ve Alman-Türk Ticaret ve Sanayi Odası Odası (AHK) ile işbirliği içinde dena tara-fından yürütülen üç çalışma grubundaki konularda çalışmaktadır.

1.1 Arka plan

Türk-Alman Enerji Forumu çalışma gruplarının amacı, enerji politikası güncel konularında enerji dönüşümünün temel konuları üzerinde yoğun bir alışveriş olmasını sağlamak ve Türk enerji sektörünün modernleşmesi ve artan katma değer zinciri için merkezi hareket alanlarında çaba sarf etmektir. Türkiye'de yenilenebilir enerjilerin büyük potansiyelinin daha da geliştirilmesi, tüm tüketim sektörlerinde enerji verimliliği için önemli potansiyeller, enerji altyapısının düzenlenmesi ve yenilenebilir enerjilerin enerji piyasasına entegrasyonu, Türk hükumetinin enerji hedeflerinin tutturulmasında önemli bir katkı anlamına geliyor. Her iki ülkeden şirket ve kurumların, Çalışma grupları tarafından desteklenen her aktivasyonu ve katılımı, geniş bir paydaş grubunun fikirlerinin bütünleştirilmesini ve uzmanlık ve pratik deneyimlerinin dikkate alınmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

Isıtma ve soğutma için yenilenebilir enerjilerin kullanım potansiyeli çok büyüktür. Bunun için Almanya'da hâlihazırda başarıyla kullanılan çeşitli teknolojiler mevcuttur. Soğutma özel bir zorluk teşkil ediyor: Bugün Türkiye'de elektrik tüketiminin yüzde 16'sı soğutma için kullanılıyor. Güneş enerjisiyle soğutma yapılarak enerji tüketiminde yüzde 60'a kadar tasarruf sağlanabilir. Bu alanda da başlangıç durumuna bağlı olarak anlamlı olan pek çok farklı teknoloji bulunuyor. Güneş enerjisiyle soğutma güneşli bölgelerde büyük bir potansiyele sahiptir, çünkü soğutma buralardaki enerji tüketiminde daha büyük bir paya sahiptir.

Ülkenin büyüklüğü nedeniyle, Türkiye'de çok sayıda farklı iklim bölgeleri vardır. Kıyı bölgelerinde Akdeniz iklimi hâkimdir. Ilıman ve yağışlı kışların yanı sıra uzun ve sıcak yazlar hâkimdir. İç Anadolu'da kışlar soğuk ve kurak geçer. Yağışlar da yine bölgelere göre büyük farklılıklar gösterir; güneydoğuda 250 mm ve kuzeydoğu ve dağlık bölgelerde 2.500 mm'ye kadar ulaşır. Ayrıca Türkiye'nin pek çok bölgesinin deprem riski altında olduğu da dikkate alınmalıdır.

Bu dosya, yenilenebilir soğutma ve ısıtma alanındaki teknolojileri ve potansiyellerini derlemek, bunları belirli iklim bölgeleri altında düzenlemek ve Almanya'da belirli uygulamalar konusunda yürürlükte olan belirli düzenlemeler ve piyasa durumu hakkında bilgi vermek amacıyla hazırlandı.

1.2 Dosyanın amacı

Dosyanın amacı, yenilenebilir ısıtma ve soğutma teknolojileri hakkında gerekli bilgileri bir bütün halinde sağlamaktır. **Teknoloji** terimi, bu dosyada teknik bileşenler veya teknik sistemler şeklinde hayata geçirilen enerji dönüşümü bilgisini tanımlıyor. Teknolojilere örnek olarak, güneş ışınlarını ısıtma maddelerine ileten güneş enerjisi sistemleri veya soğuk su sağlamak için sıcak su akışını kullanan soğurmalı soğutma sistemleri verilebilir.

Bir **enerji konsepti**, enerji hizmetleri sağlamak için uygun teknolojileri birleştirir. Enerji hizmeti, örneğin; odaların ısıtılması veya soğutulması, içme suyunun ısıtılması veya nemin alınması olabilir. Güneş enerjisiyle soğutma konsepti, güneş ışınları ile soğutmak için güneş enerjisi sistem teknolojisini, soğurmalı soğutma sistemi teknolojisi bir enerji konsepti içinde birleştirir. Yenilenebilir enerji konseptleri temel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanır. Standart teknolojilerle karşılaştırıldığında, bu konseptlerle CO_2 emisyonlarında önemli bir azalma sağlanır. Örneğin, "güneş ısısıyla soğutma" konsepti, "doğal gaz ile soğutma" alternatif konseptinin CO_2 emisyonlarının sadece yaklaşık %10'u ile uygulanabilir.

Örnek yenilenebilir enerji konseptlerinde anlamlı teknoloji kombinasyonları gösterilerek uygulama odaklı bir yaklaşım izlenmektedir. Altı konsept Profiller şeklinde açıklanmıştır. Seçilen sunum şekli, teknolojilerin **sürdürülebilirlik, dayanıklılık, bölgesellik** ve **ekonomiklik** açısından değerlendirilmesini mümkün kılıyor. Ayrıca konsept ve teknolojilerin Türkiye'ye **aktarılabilirliği** konusunda bilgiler de verilmektedir.

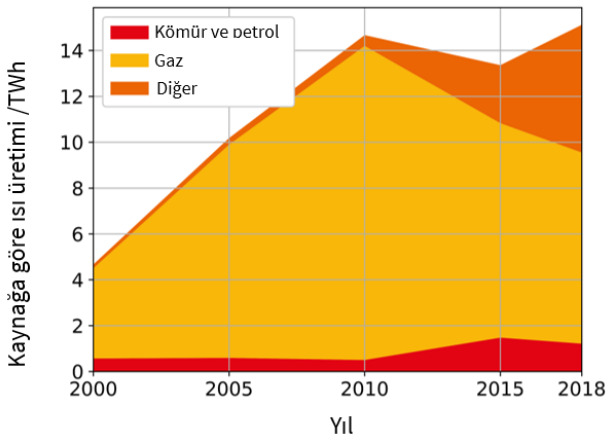
1.3 Türkiye'de yenilenebilir ısıtma ve soğutma

Enerji dönüşümü ile birlikte, giderek daha fazla teknoloji ve konsept, kullanımlarının hem enerjik hem de ekonomiklik açısından dikkate alındığı bir teknik gelişme olgunluğuna ulaşmaktadır. Yenilenebilir elektrik üretimi zaten yaygın olmakla birlikte, şu anda yenilenebilir ısı kullanımı da siyasetin odak noktasına giriyor. Coğrafi konumu nedeniyle, yenilenebilir enerjilerin kullanım potansiyelinin yüksek olduğu kabul ediliyor (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2013).

Ülke, Avrupa'nın güneydoğusunda 40. enlemde bulunuyor ve büyük bir kısmı Asya kıtasında. Kuzey sınırını Karadeniz, güney ve batı sınırını ise Akdeniz oluşturuyor. İstanbul ve Türkiye'nin kuzeyinde, Avrasya ve Anadolu levhaları birbirine komşu.

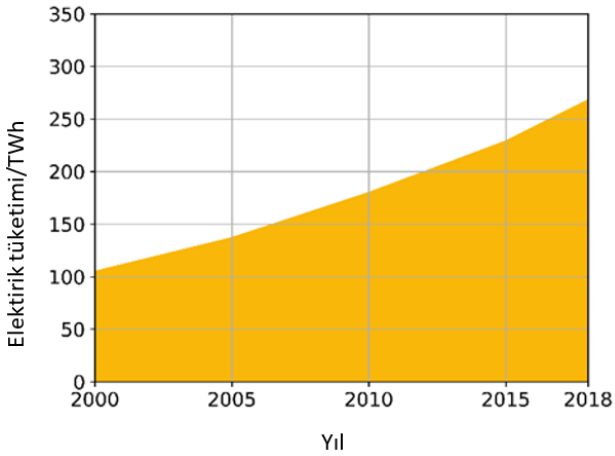
Ekvatora kuzey konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli ülkenin güneyinde kuzeye göre daha yüksektir. Yılda ortalama yaklaşık 1.300 kWh/m² olarak verilmektedir. Enerji bitkileri için potansiyel 75 PJ/a (yaklaşık 21 TWh/a) olarak tahmin edilmektedir. Jeotermal enerjiden ısı üretimi için teknik potansiyel 31.500 MW (276 TWh), olup kaynakların kaynakların büyük bir kısmının (tüm değerler, (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2013)) batıda bulunduğu tahmin edilmektedir.

Türkiye'nin nihai enerji talebi 2000 yılından bu yana arttı. 2000 yılında yaklaşık yıllık 4,5 TWh olan ısı talebi, 2010 yılında yaklaşık 14,5 TWh'ya yükselmiştir. 2010 yılından bu yana, ısı için diğer kaynakların payı (biyogaz, atık ısı, diğerleri), gaz ve fosil birincil enerji kaynakları (petrol, kömür) ile karşılaştırıldığında artmıştır. Kişi başı elektrik tüketimi sürekli artarak yaklaşık 2.311 kWh'dan (2010 yılı) 2.896 kWh'ya (2016 yılı) yükselmiştir. (Avusturya Ekonomi Odası, 2019).



Şekil 1 Türkiye'de ısı üretiminin yakıt kaynaklarına göre gelişmesi (kaynak); veri IEA.

IEA verilerine göre, dünyadaki elektrik ihtiyacının yaklaşık yüzde 6'sı iklimlendirmeye harcanıyor. Şu anda kullanılmakta olan teknolojilerin gelecekteki verimlilik iyileştirmeleri dikkate alınsa da, dünya çapında **2016'da 2.020 TWh'den 2050'de 6.200 TWh'e bir sıçrama** öngörülmektedir (konut ve konut dışı binalar). İklimlendirme için kullanılan elektriğin nihai enerji ihtiyacındaki payı, bölgeye bağlı olarak yüzde 10'dan neredeyse yüzde 16'ya kadar yükselebilir (OECD/IEA, 2020).



Şekil 2 Türkiye'de elektrik tüketiminin gelişimi; veri IEA.

Bu gelişmeler, ülkelerin çeşitli düzeylerde enerji arzı için bir sorundur. Güç şebekesini rahatlatmak ve tepe yüklerini azaltmak için yeni konseptler gereklidir. Isıtma ve soğutma için, pazar olgunluğu ve test aşamasında önemli ölçüde farklılık gösteren çeşitli konseptler aracılığıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi mümkündür.

1.4 Teknolojiye genel bakış

Dosyanın başlığında belirtildiği gibi, konseptler ısıtma ve soğutma alanlarına ayrılmaktadır. Bir diğer önemli ayırt edici özellik de yapılarla ilgili olandır. Eğer yenilenebilir kaynaklar yapının hemen yakınında elde ediliyorsa, bu konseptlere **yapıya entegre konseptler** denir. Yoğun yerleşim yapılarında, merkezi geliştirme teknolojileri daha verimli ve ekonomik açıdan daha büyük ölçekte uygulanabilir olduğundan, **şebeke tabanlı konseptler** genellikle daha avantajlıdır.

Seçilen konseptler yenilenebilir ısıtma ve soğutma için çekirdek teknolojileri içerir. **Binaya yakın çevre ısısıyla**, özellikle daha az yoğunluğa sahip yerleşim alanlarında, müstakil ve çok katlı evlere ısı ve içme suyu temini için yapıya entegre bir konsepttir. Isı pompası çekirdek teknolojisi, binalara yakın çevre ısısını değerlendirmeyi mümkün kılar. Bu nedenle ısı pompası ısı dönüşümü için anahtar teknoloji olarak kabul edilir ve ısı üretiminin yenilenebilir kaynaklara dayalı elektrik üretimiyle birleştirilmesine olanak sağlar. Profilde ısı pompalarının çeşitli türevleri ve güncel gelişmeler sunulmuştur.

Mevcut yerel ve bölgesel ısıtma şebekesine sahip yoğun yerleşim alanlarında, **atık ısı ve çevre ısısıyla ısıtma ve güneş termal enerjisinin entegrasyonu** var olan bölgesel ısıtma şebekelerinin daha sürdürülebilir kullanımı için uygun bir yaklaşımdır. Büyük ısı pompaları ile, enerji santrali ve endüstriyel proses-lerden elde edilen atık ısı veya nehir suyu ya da toprağın enerjisi, şebeke üzerinden büyük mahallelere ısı vermek için kullanılabilir. Aynı zamanda, fosil yakıtlı enerji santralleri daha verimli çalıştırılabilir.

Daha küçük yerleşim alanlarında, **biyokütle ve güneş enerjisi ile ısıtma** uygundur, çünkü genellikle ilgili tarımsal ve ormancılık yapıları mevcuttur. Burada da yerel ısıtma şebekeleri avantajlı şekilde kullanılabilir. Profil, şebeke tabanlı ısı beslemesi için büyükçe kazanlı tesislerde biyokütle kullanımına odaklanır.

Güneş enerjisiyle soğutma, güneş ısısı ve soğurma sistemlerinin kombinasyonu ile mümkün hâle getirilir. Bununla klima veya proses soğutması yenilenebilir bir şekilde sağlanabilir. Termal tahrikli soğutma üretimine dair teknoloji varyasyonları yapıya entegre konseptler için sunulmaktadır. İklimlendirmede yüksek nem alma miktarında, teknolojik olarak benzer yöntem olan soğurma destekli iklimlendirme (soğurmayla nem alma) de kullanılabilir. Bu konuda da Profil içinde açıklama mevcuttur.

Jeotermal ısıtma ve soğutma, Türkiye'de jeotermal aktif bölgelerde kullanılabilir. Büyük ölçekli teknoloji, yoğun yerleşim alanlarının şebeke tabanlı tedariki için uygundur. Profil, jeotermal teknolojilerin risklerine ışık tutar ve hangilerinin sürdürülebilir bir şekilde uygulanabileceğini gösterir.

Güneş enerjisiyle soğutma konsepti, hem şebeke tabanlı hem de yapıya entegre şekilde uygulanabilir olup son Profilde açıklanmıştır. Sıkıştırma soğutma sistemlerini çalıştıran fotovoltaik sistemler esas alınır.

Daha fazla teknoloji kombinasyonları mümkün olup dönüşüm teknolojilerinin çokluğu nedeniyle bu dosya bağlamında kapsamlı bir sunum yapmak mümkün değildir. Ancak bütünsel olması için, yenilenebilir kaynaklar ve dönüşüm teknolojileri alanında daha fazla kombinasyon gösterilecektir.

Yenilenebilir kaynak + yenilenebilir dönüstürücü	Doğrudan kullanım (kazan, güneş)	Isı pompası	Gaz soğurma ısı pompası	Sıkıştırma soğutma	Sorpsiyon soğutma	Soğurmayla nem alma	
Yenilenebilir elektrik	G / N			G / N			
Yüzeye yakın çevre ısısı	G / N	G					
Derin jeotermal enerji	N	N			G / N	G	
Endüstrivel atık ısısı	N	N					
Güneşisısı	G / N	G / N			G / N	G	
Biyokütle	N				G / N	G	
Biyogaz, hidrojen	N		G / N		G / N		
Biyogaz + Blok ısı Santrali	N	G / N		G / N	G / N	G	
Hidrojen + yakıt hücresi	N	G / N		G / N			

Şekil 3 Teknoloji kombinasyonları, G=yapıya entegre, N=şebeke tabanlı, Renkler: kırmızı=ısıtma, mavi= soğutma. Kalın çerçeveli kombinasyonlar dosyada ele alınmıştır.

Matristen de görüleceği gibi, Profillerde ilk altı kaynağın sağlanması için teknolojiler açıklanmıştır. Gaz soğurma ısı pompası hariç, tüm dönüşüm teknolojileri de karşılanmıştır. Bu teknoloji, doğal gazın daha verimli kullanımı için bir köprü teknolojisi olarak geliştirildi, ancak piyasada hâkim olamadı. Biyogaz ve hidrojen gibi yenilenebilir gazlar ve blok ısı santrali ve kojenerasyon teknolojisi olarak buna bağlı teknolojiler, diğer teknolojilerin Türkiye için daha ilginç olabileceğinden, bu dosyada ele alınmamıştır.

Tüm teknolojik konseptlerin temel ilkesi olarak, kullanıcı tarafında **enerji tasarrufunun** maksimize edilmesi bulunmalıdır. Bu, bir binanın ısı ve/veya soğutma gereksinimlerini **pasif önlemlerle** azaltmak için önlemlerin alınacağı anlamına gelir. Pasif önlemler diğerlerinin yanında bina yalıtımı, güneş enerjisinden faydalanma, gölgeleme, gece havalandırma, doğal konveksiyon ve gece ışınımdan yararlanmayı içerir. Birçok durumda, pasif önlemlerin uygun şekilde kombinasyonu sayesinde teknolojik enerji hizmetleri gerekmeyebilir.

1.5 Profillerin yapısı ve konseptlerin değerlendirilmesi

Profiller öncelikle çekirdek teknolojilerin nasıl çalıştığını açıklar. Bu, bir fonksiyon şeması, önemli bileşenler ve referans değerlerle ilgili açıklama ve işletmeyle ilgili sınırlar ve alternatif teknolojiler hakkında bilgi içerir.

Tüm Profiller, ana enerji akışlarını göstermek için basitleştirilmiş bir şema ile gösterilmiştir. Oklar enerji akışını gösteriyor. Okların yönü, soğutma sırasında soğutulmuş ortamdan soğutma teknolojisine, ısıtma sırasında ısıtma kaynağından tüketiciye, elektrik

kaynağında şebekeden tüketiciye doğru enerjinin akış yönünü sembolize ediyor. Okların kalınlığı taşınan enerji miktarının ölçek olarak büyüklüğüne işaret ediyor, böylece enerji miktarlarının oranları kolayca anlaşılabilir.

Okların renkleri ilgili sıcaklık düzeylerini sembolize ediyor.

- Kırmızı oklar, teknoloji kullanılarak dönüştürülebilen veya doğrudan ısıtma için kullanılabilen yüksek sıcaklıkları gösterir.
- Yeşil oklar, ısıtma veya soğutma için kullanılamayacak düşük sıcaklık seviyesini gösterir. Örneğin çevre ısısı ve atık ısı gibi.
- Mavi oklar soğutma için düşük sıcaklıklarda kullanılabilir enerji akışlarını gösterir.
- Sarı oklar bir elektrik akışını gösterir ve enerji şekli nedeniyle ayrıca bir yıldırım sembolü (↯) ile işaretlenir.

Hem somut pratik projeler hem de genel eylem konseptleri için, bir yaklaşımın değeri hakkında yüksek bir ifade sağlamak ve buradan elde edilecek bir öncelik sağlayacak bütünsel bir değerlendirme yapabilmek amacıyla, Likert ölçeği yardımıyla aşağıdaki beş değerlendirme grubunda bir değerlendirme yapılmıştır.

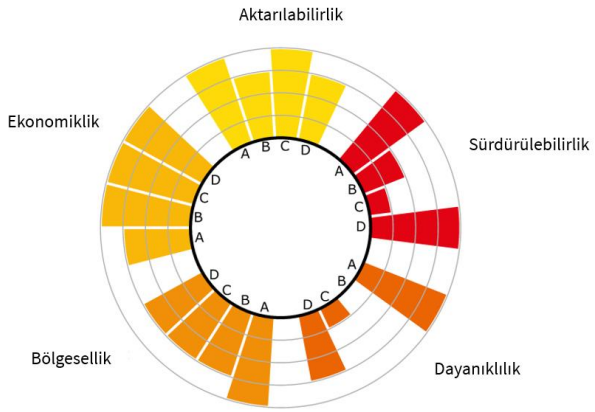
- **1. Grup: Sürdürülebilirlik**
- **2. Grup: Dayanıklılık**
- **3. Grup: Bölgesellik**
- **4. Grup: Ekonomiklik**
- **5. Grup: Aktarılabilirlik**

Bu değerlendirme gruplarının her biri, olumlu bir değerlendirme tezinin formüle edildiği dört farklı özelliği içerir. İfadenin değerlendirilmesi aşağıdaki ölçek bazında ölçülür ve puanlarla sınıflandırılır:

- **geçerli değil (0 puan)**
- **geçerli değil gibi (1 puan)**
- **hem geçerli hem değil (2 puan)**
- **geçerli gibi (3 puan)**
- **geçerli (4 puan)**

Bir değerleme grubunun özellikleri arasında ağırlıklandırma yapılmaz.

Toplanan bilgiler, dairesel bir çubuklu grafik olan "performans çarkı" ile net bir şekilde sunulur. Çubukların yüksekliği, gruplar içindeki münferit özelliklerin değerlendirilmesine karşılık gelir. Ayrıntılı değerlendirme tablosu Profillerin sonunda yer alır.



Şekil 4 Bir "Performans çarkı" örneği".

Beş kategoride değerlendirme temeli olarak aşağıdaki, daha ayrıntılı değerlendirme özellikleri kullanılır.

1.5.1 Sürdürülebilirlik

Aşağıdaki değerlendirme özellikleri kullanılır:

A - CO_2 nötr özelliği: "Konsept açıklandığı gibi CO_2 nötrdür."

Bu konsept bilanço limiti içinde CO_2 emisyonlarına neden olmaz. Önünde bulunan enerji üretim sisteminden kaynaklanan CO_2 emisyonları dikkate alınmamıştır.

B - Sera gazları: "Daha fazla sera gazı salınımı önlenir."

CO_2'ye ek olarak, konseptlerde (F gazları, metan, kükürt hekzaflorür) başka sera gazı açığa çıkmaz. F gazları, örneğin sıkıştırma soğutma sistemlerinde ve sıkıştırma ısı pompalarında kullanılır. Metan esas olarak biyogaz üretimi sırasında üretilir ve termal su nakli sırasında jeotermal enerji santrallerinde serbest bırakılabilir.

C - Sistem bağımsızlığı: "CO_2 azaltımı enerji sisteminden bağımsızdır."

Örneğin, değişen bir elektrik karışımı nedeniyle oluşan etkiler, önlemin CO_2 azaltma seviyesi üzerinde bir etkiye sahipse bir bağımlılık var demektir. Yenilenebilir bir tedarik konsepti (örneğin bir ısı pompası ile), enerji besleme sistemi dönüştürülerek tamamen CO_2 nötr hâle gelebilir.

D - Çevresel uyumluluk: "Konseptin çevre üzerinde zararlı bir etkisi yoktur."

Konseptin uygulanmasının, sera gazları dışında hiçbir olumsuz çevresel etkisi yoktur. Bileşenler ve teknik bileşenler mevcut altyapıya (bodrum, çatı) entegre edilebilir.

1.5.2 Dayanıklılık

Aşağıdaki değerlendirme özellikleri kullanılır:

A - Şebekeye uyum: "Enerji ihtiyacı veya sağlanması dış koşullara adapte edilebilir."

Esneklik seçenekleri, örneğin, diğer enerji altyapılarına zamansal yük kaydırması, kısa süreli enerji depolama veya enerji akışları kaydırma sayesinde mevcuttur. Bu sayede, mevcut enerji altyapılarının kullanımı iyileştirilebilir ve yenilenebilir enerjilerin payı arttırabilir.

B - Şebeke bağımsızlığı: "Sistem bir şebeke altyapısına muhtaç değildir."

Enerji kaynakları sistemin kendisi tarafından kullanılır (güneş enerjisi, çevre ısısı). Bu sayede, sistem yüksek bir kendini besleme oranına sahiptir. Şebeke altyapısı, işletme için gerekli değildir veya yalnızca çok küçük ölçüde gereklidir ve yedekleme sistemi olarak hizmet vermez.

C - Şebeke besleme: "Bu konsept şebekenin beslenmesini sağlar."

Yenilenebilir şekilde üretilen fazlalıklar şebekeye verilebilir. Böylece, enerji karışımı için fosil birincil enerji kaynaklarının kullanımını azaltılabilir.

D - Sağlamlık: "Bu teknoloji, daha az arıza verir ve daha az bakım gerektirir."

Bileşenler kullanım konusunda test edilmiştir ve çok az arıza verir. Teknoloji az bakım gerektirir ve aksi durumda basit yollarla tamir edilebilir.

1.5.3 Bölgesellik

Aşağıdaki değerlendirme özellikleri kullanılır:

A - Zararlı madde azaltımı: "Yerel olarak, hiçbir kirletici yayılmaz."

Bu konsept, örneğin partikül madde salınımını önleyerek yerel kirletici emisyonlarını azaltmaya yardımcı olur.

B - Kabul edilebilirlik: "Konsept yaygın olarak kabul edilir veya ek faydalar sayesinde uygulanabilir."

Konseptin sadece az sayıda olumsuz etkisi vardır ve bu nedenle de halk tarafından benimsenir. Söz gelimi gezi-inceleme platformuna sahip enerji santralleri, tecrübe alışverişi (ör. enerji tasarrufu) için kombine edilebilir. Isıtma veya soğutma şebekeler hata bağlı diğer altyapının genişletilmesiyle kombine edilerek oluşturulabilir.

C - Yerel bazda değer kazanımı: "Yerel yönetim ekonomisi bu konseptten yararlanır."

Yerel yönetimdeki katma değer artırılır. Bölgede istihdam yaratılır ve vergi gelirlerinin artması beklenir.

D - Üretim: "Yenilenebilir kaynaklar yerinde kullanılır."

Yenilenebilir kaynaklar, konsept için yerel olarak kullanılır. Enerji talebi yerinde hazırlanabilir ve sağlanabilir.

1.5.4 Ekonomiklik

Aşağıdaki değerlendirme özellikleri kullanılır:

A - Bağımsızlık: "Projenin ekonomiklik özelliği teşvik programlarından bağımsızdır."

Siyasal çerçeve koşulları, her türlü enerji dönüşümünün ekonomiklik derecesini belirler. Konseptin piyasada tutunabilmesi için ve maliyetlerin ölçek ekonomileri aracılığıyla düşürülmesi için ek finansman programlarına gerek yoktur.

B - Sürdürülebilirlik: "Değişen çevresel çerçeve koşullarında, nihai enerji fiyatı rekabetçi özelliğini korur."

Enerji arzında ortaya çıkan birçok dış maliyet, enerji fiyatına yansıtılmaz (CO_2 fiyatlandırması, nükleer atıkların nihai depolanması). Öncelikli olarak doğanın korunmasına hizmet edecek siyasi çerçeve koşullarının yaratıldığı varsayıldığında, bu projenin gelecekte de ekonomik açıdan uygun olacağını varsaymak mümkündür.

C - Yatırım güvenliği: "Konseptin uygulama riski düşüktür."

Konsept teknolojik olarak olgunlaşmış ve uygulamada denenmiş olup finansal riskler düşük düzeydedir.

D - Fayda değeri: "Konsept, kamu ekonomisi açısından enerji dönüşümü ve iklim koruma hedeflerine ulaşmak için avantajlıdır."

Bu konsept, karşılaştırılabilir bir enerji hizmeti sağlayan alternatif yenilenebilir konseptlere göre daha düşük CO_2 azaltma maliyetlerine neden olur. Yüksek maliyet verimliliği sayesinde olumlu bir makro ekonomik etkiye sahip olup enerji dönüşüm ve iklimi koruma hedeflerini destekler.

1.5.5 Aktarılabilirlik

Aşağıdaki değerlendirme özellikleri kullanılır:

A - Piyasa olgunluğu: "Kullanılan teknolojiler denenmiştir ve çok yönlü bir sağlayıcı temeli vardır."

Bu konsepti uygulamak için gereken teknolojiler (dünya çapında) piyasada bulunur ve gerekli onaylar mevcuttur. Konseptin geniş bir şekilde kullanılmasını sağlamak için çok çeşitli tedarikçiler ve yeterli bir tedarik potansiyeli vardır. Kullanılan teknolojiler yüksek düzeyde yatırım güvenliği sunar.

B - Kullanılabilirlik: "Bu konsept kısa ve orta vadede çeşitli yerlerde uygulanabilir."

Konsept farklı uygulama ortamlarında kullanılabilir. Yerel, jeolojik veya altyapıyla ilgili belirli ön koşullar yoktur. Konsept yerel özelliklere uyum sağlar. Fizibilite, kıt kaynaklara veya belirli özel izinlere veya uzun süren planlama prosedürlerine bağlı değildir.

C - İmalat: "İmalat ve üretim know-how'u mevcuttur."

Konsept için gerekli bileşenlerin büyük parçaları Türkiye içinde üretilebilir.

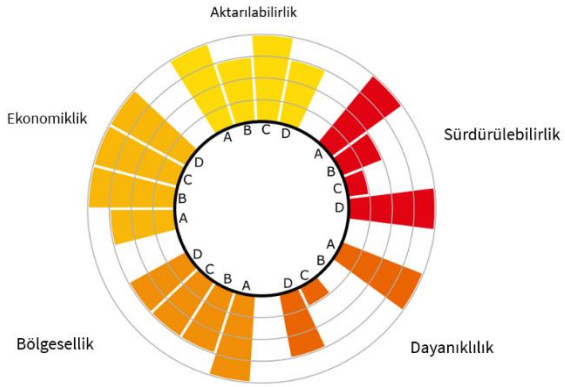
D - Coğrafya: "Coğrafi çerçeve koşulları konsept üzerinde yararlı bir etkiye sahiptir."

Bu konsept, Türkiye'deki coğrafi çerçeve koşulları nedeniyle Almanya'ya göre daha yüksek bir uygulama potansiyeline sahiptir. Bir transfer, sadece bu nedenle dahi avantajlıdır.

2 Profil: Binaya yakın çevre ısısıyla ısıtma

Isı pompaları, yapı sektöründe yenilenebilir ısı temini için çekirdek bir teknolojidir. Yapıya entegre konsept, ortam havası, toprak veya güneş kolektörlerini yerel ısı kaynakları olarak kullanır. Isı pompaları elektrik enerjisi ile çalıştırılır. Yenilenebilir olarak kabul edilmeleri için, bu nedenle şebeke içinde yüksek bir oranda yenilenebilir elektriğe bağlıdırlar. Isı pompaları tüm güç sınıfları için temin edilebilir. Dağıtım sisteminde mümkün olan en verimli ısı dağıtımına ve düşük bir sıcaklık seviyesi sağlamaya dikkat edilmelidir. Geri dönüşümlü ısı pompaları soğutma için de kullanılabilir. Türkiye'de daha düşük ısıtma enerjisi gereksinimi ve yüksek soğutma yüklerinin bulunduğu çerçeve koşulları nedeniyle bu tipler özellikle uygundur.

Şekil 5 Isı pompası sistemi, Hamburg GALAB firma merkezinde (©Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.).



Şekil 6 "Binaya yakın çevre ısısıyla ısıtma" konsepti için genel değerlendirme.

2.1 Çalışma prensibi

Isı pompasının çekirdek bileşeni elektrikle tahrik edilen bir kompresördür. Bu, düşük sıcaklık kaynağındaki enerjinin yüksek bir sıcaklık seviyesine getirilmesine olanak sağlar. Bu sayede, örneğin topraktan, havadan veya güneş ışınlarından alınan çevre ısısı kullanılabilir. Isı pompası iki temel bileşenden oluşur: bir kompresör modülü ve çevre ısısını absorbe eden bir **ısı kolektörü** (bkz. Şekil 7).

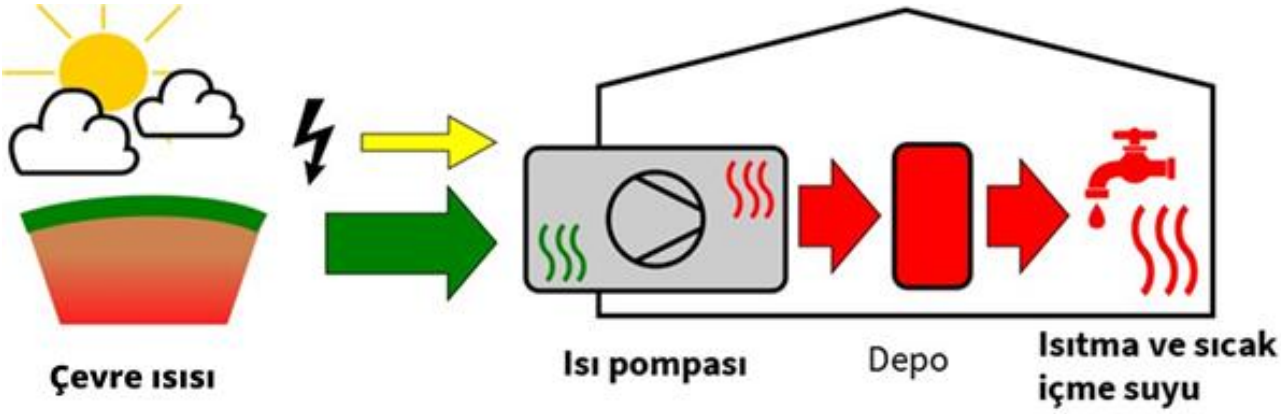
2.1.1 Isı pompaları

Isı pompası prosesinde, bir **işletme maddesi** (buhar veya sıvı halde bir madde) düşük basınç ve yüksek basınç seviyesinde kullanılır. Düşük basınç seviyesinde sıvı, düşük sıcaklıklarda çevre ısısını emebilir ve buharlaştırabilir, yüksek basınç seviyesinde ise buhar, ısıyı ısıtma devresine boşaltabilir ve bu sırada sıvılaşır. Elektrikle çalışan sıkıştırıcı (kompresör) buhar halindeki işletme maddesini düşük basınçtan yüksek basınca taşır. Isı pompaları çevre kaynağına ve ısıtma devresi sıvısına göre ayırt edilir. Yaygın kategoriler hava-su, su-su, tuzlu su-su ve hava-hava ısı pompalarıdır.

Bir **hava-su ısı pompasında**, dış hava ısı kaynağı olarak kullanılır. Bu ısı, dâhilî devre prosesi üzerinden yüksek sıcaklıkta su devresine aktarılır ve ısıtma için kullanılabilir. Teknik çaba açısından, dış hava kullanımı en kolay olanıdır, çünkü her yerde yeterince mevcuttur. Hava-su ısı pompaları bu nedenle yeni inşaatlarda en yaygın olarak kullanılan teknolojidir. Dezavantajı yıl boyunca dış hava sıcaklığındaki değişimidir ve muhtemel rahatsız edici gürültüdür. Dış sıcaklıkların düşmesiyle, ısı pompasının gücü ve enerji verimliliği azalırken, bina ısıtması için ısı gereksinimi artar. 0 °C'nin altındaki buharlaşma sıcaklıklarında, hava-ısı kolektöründe buzlanma oluşur. Bunun daha sonra düzenli olarak çözülmesi gerekir, bu da ek verimlilik kayıpları demektir.

Hava-hava ısı pompalarında, enerji doğrudan oda havasına aktarılır. Bu cihazlar ya merkezi havalandırma sistemine bağlıdır ya da merkezi olmayan şekilde sadece tek oda kliması için kullanılırlar. Bu sistemler sıcak içme suyu hazırlamak için kullanılamaz. Bu nedenle bu tür sistemler Almanya'da yaygın değildir. Ancak oda soğutmasında, bu termodinamik proses split klima olarak adlandırılan cihazlarda kullanılır.

Su-su ısı pompalarında ısı kaynağı olarak yer altı suyu kullanılır. Yer altı suyu kullanımı iki kuyu gerektirir, biri suyu çekmek, diğeri de geri aktarmak için. Yeraltı suları tüm yıl boyunca oldukça sabit sıcaklıkların bulunması avantajına sahiptir. Sonuçta ısı pompası verimliliği, hava-su ısı



Şekil 7 Yapıya entegre ısı pompasında enerji akışlarının basitleştirilmiş gösterimi. Çevre ısısı, elektrikle çalıştırılan ısı pompası tarafından yapıda ısıtma ve sıcak içme suyu için kullanılır.

pompalarına kıyasla daha yüksektir. Ancak transfer pompaları için ikincil akım tüketimi dikkate alınmalıdır.

Tuzlu su-su ısı pompalarında ısı kaynağı olarak toprak kullanılır. Bir ısı transfer maddesi (tuzlu su) bir toprak sondası veya toprak kolektörleri tarafından pompalanır ve toprağın ısısını emer. Toprağın sıcaklıkları yeraltı suyuna benzer, bu nedenle tuzlu su-su ısı pompaları da yüksek verimliliğe sahiptir. Daha yeni bir teknoloji; toprak altına kurulmuş veya entegre buz deposuna ya da güneş ısısı kolektörlerine sahip tuzlu su-su ısı pompalarıdır (daha ayrıntılı açıklama için bakınız örnek uygulama).

YILLIK ÇALIŞMA SAYISI (JAZ)

Yıllık çalışma sayısı bir ısı pompası sisteminin verimliliğini gösterir. Üretilen ısının (faydanın) bir yılda kullanılan elektrik enerjisine (harcamaya) oranıdır. Yıllık çalışma sayısına kaynak teknolojisi yoğun olarak etki eder. Kurulu tesislerin ortalama yıllık çalışma sayısı (JAZ) ve bant genişliği saha testlerinde belirlenmiştir (Miara & Günther, 2019):

- 3,0 (2,6...4,0) hava-su ısı pompası için
- 3,7 (3,2...4.6) su-su ısı pompası ve tuzlu su-su ısı pompası için

Rakamlar kompresör, kontrolör, ısı kolektörü (pompa veya fan) ve sonradan elektrik ısıtması için harcamayı dikkate alır. Büyük bant genişliği, bazı sistemler için hâla yüksek bir optimizasyon potansiyeli olduğunu göstermektedir.

2.1.2 Yapıya entegre elektrik üretimi

Elektrikle çalışan ısı pompaları fotovoltaik (PV) sistemleri ile makul bir şekilde kombine edilebilir. Özellikle yaz aylarında yüksek güneş enerjisi üretimi ile, örneğin, sıcak su ısıtma için elektrik kullanılabilir. Bu durumda, kendi kendine üreten, daha uygun fotovoltaik gücü kullanılabilir. Mantıklı bir regülasyon konsepti mevcut fazla elektriği dikkate almalıdır.

2.1.3 Diğer sistem bileşenleri

Özel sistem bileşenleri gerekli değildir. Özellikle ısı pompası sistemlerinde, periferik ısıtma dağıtım sisteminin verimlilik üzerinde belirleyici bir etkisi vardır. Isıyı düşük sıcaklığa aktarabilen ısıtma sistemleri avantajlıdır. Zemin ve yüzey ısıtıcıları, aynı zamanda fan destekli konvektör radyatörler de uygundur. Tüm radyatörlerin mümkün olan en düşük dönüş sıcaklıklarını sunması için radyatörleri hidrolik olarak eşitlemek önemlidir.

2.1.4 İşletmeyle ilgili sınırlar

Yapı alanındaki ısı pompaları düşük geri dönüş sıcaklıklarına muhtaçtır. Bu nedenle, ısıtma sisteminde sıcaklık seviyeleri genellikle daha düşük olduğu için, özellikle yeni binalar ve yenilenmiş binalarda kullanmak mantıklıdır. Çok yüksek ısı gereksinimleri ve yüksek akış sıcaklıklarına sahip yalıtımsız binalarda, genellikle makul verimlilik ile bir uygulama yapmak zordur. Ancak, sabit işletme sınırları da yoktur.

BİVALANS (İKİ DEĞERLİLİK) NOKTASI

Isı pompaları bölgesel olarak tipik sıcaklık aralıkları için tasarlanmıştır (Almanya'da yakl. -5 °C ila 5°C dış sıcaklık). Bu aralıkta çok verimli çalışırlar. Ancak özellikle soğuk kış günlerinde ısıtma kapasitesi artık yeterli değildir. Isı pompasının maksimum ısıtma kapasitesinin elde edildiği dış sıcaklığa bivalans noktası denir. Bu bivalans noktasının altında, kalan ısıtma yükünü ek bir ısıtma sistemi karşılamalıdır. Genellikle elektrikli rezistanslar, bir ocak (şömine) veya ısıtma kazanı kullanılır.

2.1.5 Alternatif yöntemler

Yapıya entegre konseptler için yenilenebilir bir alternatif olarak, odun veya pelet kazanları kullanmak da mümkündür. Bu durumda, ısıtma şebekesinden daha yüksek sıcaklıkların elde edilebilmesi avantajlıdır. Böylece mevcut binaları yüksek ön sıcaklıklarla donatmak daha olasıdır. Dezavantajı yakıtın depolanması, havaya ince küllerin salınması ve soğutma işlevinin olmamasıdır.

2.2 Sürdürülebilirlik

Isı pompaları, elektrik yenilenebilir kaynaklardan geldiğinde ısıtma ve soğutma için sürdürülebilir bir şekildir. Isı pompaları 2050 yılına kadar binalardaki düşük sıcaklık ısısının yaklaşık yüzde 90'ını sağlayabilirler (Henning & Palzer, 2015). Burada özellikle mevsim faktörü dikkate alınmalıdır. Elektrik karışımındaki yenilenebilir pay esas olarak güneş enerjisinden kazanılıyorsa, ısı talebi ile bir eşzamanlılık yoktur. Fazla sayıda ısı pompasının devreye alınması, diğer elektrik kaynaklarının kullanılması suretiyle dengelenmelidir. Almanya'da, ısı pompaları ile yenilenebilir ısıtma özellikle (offshore) rüzgar enerjisi potansiyeline, güneş enerjisinin mevsimsel depolanmasına (örneğin Carnot piller veya büyük sıcak su depolama tankları yoluyla) veya atık ısısına bağlıdır.

Sera gazlarının salınımı referans teknolojisinde olandan (ör. doğal gaz kazanları) daha düşükse, ısı pompaları ile ısıtma avantajlıdır. Almanya'da, CO_2 için enerji miktarına bağlı ortalama emisyon faktörü bir kilovat saat elektrik için yaklaşık 500 g CO_2'dir (Icha, 2019). Bir ısı pompası ile, bir enerji birim elektrikten yaklaşık 3 ila 4 birim ısı üretilir. Aynı miktarda ısı için, dönüşüm kaybı olmadan doğal gazla en az 600-800 g CO_2 salınması gerekir. Isı pompası teknolojisi 50 g CO_2 ile, sera gazı potansiyeli açısından şimdiden hafif bir avantaja sahiptir ve gelecekte şebekede yenilenebilir elektrik payını daha da artırarak ve daha verimli ısı pompaları ile bunu daha da geliştirecektir.

Şu anda, ısı pompaları neredeyse sadece florlu soğutucularla (FKW, HFKW) çalıştırılıyor, bunlar sızıntı veya bertaraf yoluyla atmosfere karıştığında çok yüksek bir sera gazı potansiyeline sahiptir. Yeni ısı pompaları hermetik kapalı kompresörler ve daha düşük dolum hacimleri ile bu riski azaltabilir. Florlu soğutuculara alternatifler; amonyak, CO_2 gibi doğal soğutucular ve propan, propen ve izobütan gibi hidrokarbürlerdir. Bunlar iklime daha az zararlıdır, ancak patlama ve yüksek basınç riski gibi teknik sorunlara sahiptirler (Müller, Paatzsch, & Rölling, 2016). Bazı üreticiler zaten doğal soğutucularla çalışıyor, ancak daha ziyade daha büyük performans sınıfı ısı pompaları ile (örneğin Frigopol, Johnson Controls).

2.3 Dayanıklılık

Isı pompaları nispeten durgun uygulamalar için ısı (ve gerekirse soğukluk) üretir. Bu ataletten yararlanarak yükler zamansal olarak kaydırılabilir. Bir yandan, daha sonraki bir tarihte şebekede daha fazla yenilenebilir enerji beklendiğinde ısı pompaları kapatılabilir, ya da bu sayede fosil enerji santrallerinin çalışması azalacak ise açılabilirler. Şebekenin istikrarı bu serbestlik derecesi ile arttırılır. Kontrolü, şebeke işletmecisi tarafından gerçekleşir. Isı pompalarını kontrol etmek için ilgili standartlar geliştirilmiş ve ısı pompalarının büyük bir bölümüne uygulanmıştır. Şebekede kullanılan ısı pompaları SG-Ready veya VHPready veya EEBUS etiketi ile işaretlenir.

SMART-GRID READY LABEL

Bu etiket, elektrik şebekesini destekleyebilen ısı pompalarını tanımlar. Şebeke işletmecisi tarafından dört işletim durumu denetlenebilir:

1. depolama şarjlı normal işletim,
2. opsiyonel güçlendirilmiş işletim,
3. güçlendirilmiş işletim ve
4. blokaj işletimi (maksimum 2 saat).

2. ve 3. işletim durumu ile, yenilenebilir elektrik fazlaları yük artırılarak kullanılabilir, yani yenilenebilir enerjilerin regüle edilmesi gerekmez. 4. işletim durumu, şebekedeki yükü azaltmaya ve fosil yakıt tüketimini azaltmaya hizmet eder.

Bu etiket, 2013 yılında Almanya'daki Federal Isı Pompaları Birliği (BWP) tarafından uygulamaya alındı. Şimdilerde 40'tan fazla üreticiye ait 1.100'den fazla ısı pompası modeli temsil edilmektedir.

2.4 Ekonomiklik

Yatırım maliyetleri kaynağın oluşturulması maliyetlerinden güçlü şekilde belirlenmekte: en pahalısı toprak sondaları ve toprak kolektörleri, en ucuzu hava üretimidir. Ancak, ısı pompalarının yatırım maliyetleri doğal gaz kazanlarına (yoğuşmalı kazanlar) göre daha yüksektir ama benzer yenilenebilir teknolojilere göre daha düşüktür. Yeni binada, hava-su ısı pompaları artık en yaygın kullanılan ısıtma teknolojisidir.

İşletme maliyetleri verimlilik tarafından belirlenir ve bu nedenle kaynak ve çukur sıcaklık seviyelerinden etkilenir. Toprak sondaları, toprak kolektörleri ve yer altı suyuyla çalışan ısı pompaları, hava ile çalışan ısı pompalarından çok daha verimli oldukları için daha düşük işletme maliyetlerine sahiptir. Verimli tesis çalışması için ayrıntılı planlama, uygun inşaat ve devamında yapılacak denetim önemlidir (Miara & Günther, 2014). Planlama yazılım destekli olduğundan, normal çalışma koşullarında tesis teknolojisi için düşük planlama çabası gerekir. Yanma teknolojileri ile karşılaştırıldığında, atık gaz demetinin düzenli kontrolü artık gerekli olmadığı için, tesis teknolojisinin bakım gereksinimleri de düşük olarak değerlendirilecektir.

Isı pompalarının maliyet etkinliği bu nedenle ısı pompası verimliliği ve kaynak türüne bağlıdır. Bu, ayrıntılı bir planda saptanmalıdır. Doğal gaz ve elektrik arasındaki çok yüksek fiyat farkı şu anda Almanya'da yaygın kullanımı için bir dezavantajdır. Fiyat oranları 1:4 iken (ısı pompası tarifesinde gaz için 5,5 ct/kWh ve elektrik için 22 ct/kWh) ekonomik açıdan verimli bir işletim ancak 4'ten büyük bir performans rakamında elde edilebilir.

2.4.1 Almanya'da mevzuat, düzenleme ve teşvik araçları

Şu anda ısı pompası pazarı için önemli bir teşvik aracı Federal Hükümetin Piyasa Teşvik Programı'dır (MAP). Bu teşvik programı fosil ısı jeneratörleri ve ısı pompası teknolojisi arasındaki yatırım açığının azaltılmasını desteklemektedir. Teşvik, ısı kaynağına bağlı olarak tanımlanan minimum verimlilik gereksinimlerine tabidir.

Belirli aralıklarla, bu minimum gereksinimler uyarlanır. Diğer şeylerin yanı sıra, izleme için bir elektrik sayacı ve en az bir ısı miktarı sayacının monte edilmesi gerekir. Yıllık çalışma sayısı (JAZ) VDI normu VDI 4650 1 kullanılarak hesaplanmalıdır ve en az 3,8 olmalıdır (hava-su ısı pompası 3,5'tir). Isıtma devreleri hidrolik olarak eşitlenmeli ve ısıtma eğrisi benzer ayarlanmalıdır.

ÜRETİCİ

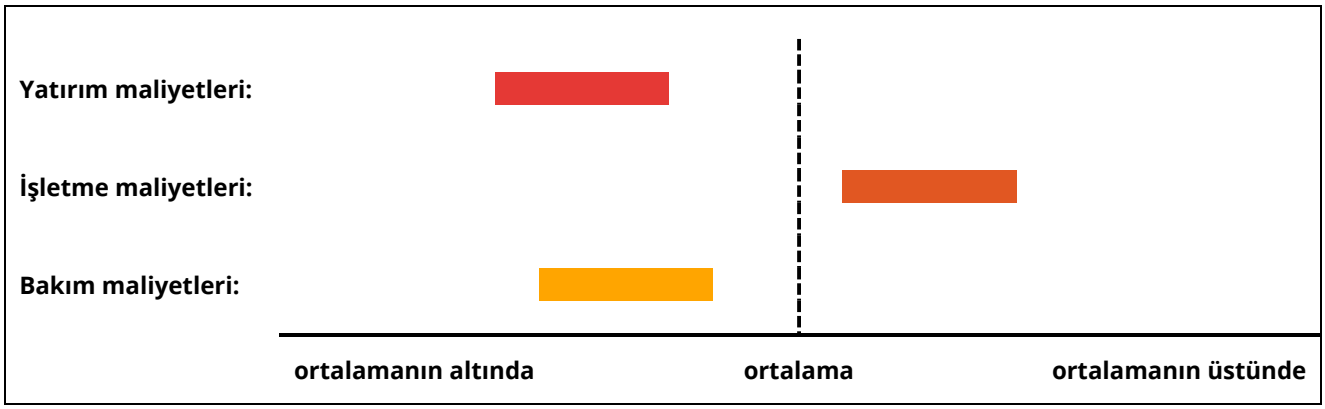
Almanya'da, ısı pompaları ısıtma pazarındaki tüm büyük üreticileri tarafından sunulmaktadır. Üreticilerle ilgili listeye Bundesverband Wärmepumpe (Federal Isı Pompaları Birliği)'nin web sitesinde bulabilirsiniz:

www.waermepumpe.de/verband/unsere-mitglieder

Üreticiler genellikle hem hava-su, su-su ve tuzlu su-su ısı pompaları üretiyor. Başlıca üreticiler arasında Stiebel Eltron, Viessmann ve Bosch Thermotechnik yer alıyor.

2.5 Aktarılabilirlik

Isı pompalarının Türkiye'ye transferi için gerekli koşullar çok iyi olarak değerlendiriliyor. Geri dönüşümlü ısı pompalarının kullanımı için bir avantaj, Almanya'ya göre daha yüksek soğutma gereksinimidir. Burada zaten yüksek bir yaygınlıkta kullanılan ve ısıtma fonksiyonuna da sahip hava-hava klima üniteleri (split modülleri) ile karşılaştırmak mümkündür. Kısıtlamalar daha çok Türkiye'de daha düşük olma eğiliminde olan, ısıtma sıcaklıklarıyla ilgili olabilir.



AVANTAJLI UYGULAMA ALANLARI

Isı pompaları kullanımı yeni binalarda ve yenilenmiş mevcut binalarda bir avantajdır. Merkezi olmayan teknoloji olarak, müstakil ve çok katlı konutlar için tasarlanmışlardır. Daha büyük ısı pompaları, yerleşim alanları dışında ve mahallelerde de kullanılabilir (bakınız Büyük ısı pompası profili). Ancak, sürdürülebilir bir etki için yenilenebilir enerji santrallerine dayalı bir elektrik şebekesi gereklidir.

2.6 Örnek uygulamalar

2.6.1 Kiebitzberge açık yüzme havuzu

Ulusal İklim Girişimi çerçevesinde, Berlin'in güneyindeki Kiebitzberge açık yüzme havuzunda bir ısı pompası sistemi kuruldu. Berlin çevresinde 25-30 yıllık ısıtma teknolojisine sahip ve dönüşüm bekleyen birçok müstakil katlı ev bulunmaktadır. Sistem 7 kW'lık nominal bir güç ile daha büyük bir müstakil evde kullanılabilir. Projenin amacı, tesis teknolojisini daha geniş bir kitleye ulaştırmak ve sürdürülebilir ısıtma konusunda farkındalık yaratmaktır. Bu amaçla yılda birkaç kez, ilgi duyan çok sayıda katılımcı ile rehberli turlar düzenlenmektedir. Sistem teknolojisi, bu eğlence merkezini ziyaret edenler tarafından her zaman açık bir "showroom" şeklinde görülebilmekte ve ziyaretçiler tarafından çok olumlu karşılanmaktadır.

Sistem teknolojisinin bir özelliği, **küçük bir buz depolama tankının** ve güneş kolektörlerinin ısı kaynağı olarak **entegrasyonudur**. Bir yandan geleneksel modeller gibi, bir soğurucu ile **güneş ısısını** absorbe edebilirler, diğer yandan ise içinden dış ortam havası geçirilebilir ve bunu bir ısı kaynağı olarak kullanabilirler. Fotovoltaik ve güneş termal enerjisini birleştiren hibrit toplayıcılar, PVT toplayıcıları olarak da kullanılabilir. Bu teknoloji aynı zamanda elektrik sağlamayı da mümkün kılacaktır. Yüksek oranda ışına maruz kaldığında, ısı doğrudan depolama tankına iletilir ve ısıtma ve sıcak içme suyu hazırlama için kullanılır ve elektrik tesisleri işletmek için kullanılabilir veya bina veya kamu şebekesi beslenir.Düşük oranda ışında ile, solar ısı, hala ısı pompasının bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Güneş ışını yoksa, hava akımı bir ısı kaynağı olarak kullanılır. Donma noktasının altındaki dış sıcaklıklardan itibaren, buz deposu, ısı kaynağı olarak hizmet verir ve donmuş buz aracılığıyla enerji sağlar. Geleneksel tuzlu su-su ısı pompaları ile karşılaştırıldığında, bu teknolojinin, toprak kolektörleri ve toprak sondaları için yüksek bir inşaat zahmetine gerek olmaması gibi bir **mali avantajı** vardır. Hava-su ısı pompalarına nazaran avantaj **yüksek verimliliktir** ve sessizliktir.

2.6.2 Başka örnekler

Avrupa genelinde, artık birçok farklı performans sınıfında ve obje tipinde birçok ısı pompası sistemi bulunuyor. Uygulama örneklerini içeren kapsamlı bir veri tabanı Bundesverband Wärmepumpe e. V.'den temin edilebilir:

www.waermepumpe.de/presse/referenzobjekte/bwp-datenbank

Şekil 8 Kiebitzberge açık havuz kompleksinde ısı pompası ve depolu ısıtma santrali (solda) ve bina cephesinde hibrit kolektörler (sağda) (© Oliver Buchin).

2.7 Değerlendirme matrisi

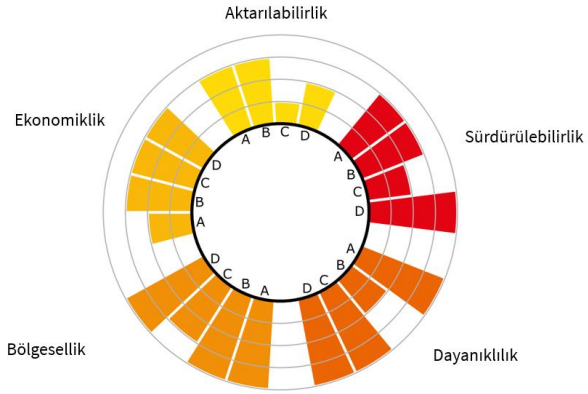
A	B	C	D
Sürdürülebilirlik			
CO_2 nötr özelliği (4/4)	Sera gazları (2/4)	Sistem bağımsızlığı (1/4)	Çevresel uyumluluk (4/4)
Dayanıklılık			
Şebekeye uyum (4/4)	Şebeke bağımsızlığı (0/4)	Besleme (1/4)	Sağlamlık (3/4)
Bölgesellik			
Zararlı madde azaltımı (4/4)	Kabul edilebilirlik (3/4)	Katma değer (3/4)	Üretim (3/4)
Ekonomiklik			
Bağımsızlık (3/4)	Geleceğe uyum (4/4)	Yatırım güvenliği (4/4)	Fayda değeri (4/4)
Aktarılabilirlik			
Piyasa olgunluğu (4/4)	Kullanılabilirlik (3/4)	İmalat (4/4)	Coğrafya (3/4)

Tablo 1 "Binaya yakın çevre ısısıyla ısıtma" için değerlendirme matrisi

3 Profil: Atık ve çevre ısısıyla ısıtma

Yerel ve bölgesel ısıtma şebekeleri ile ısıtma, atık ve çevre ısısının değerlendirilmesini ve merkezi olarak entegre edilmesini mümkün kılar. Özellikle büyük ısı pompaları bu amaç için uygundur. Burada yaklaşık 95 °C'ye kadar olan sıcaklıklara ulaşılabilir. Büyük ısı pompaları olarak genellikle 100 kW_{th} değerinden 1.000 kW_{th} değeri üstüne kadar güç aralığındaki ısı pompaları adlandırılır. Daha büyük ısı pompaları nadirdir, ancak 45 MW_{th}'ye kadar olan tesisler de üretilmiştir. Konutların veya semtlerin ısıtılması için mevcut ısıtma sistemleri en az 500 kW_{th} büyüklüktedir (Bundesverband Wärmepumpe e. V., 2017, (Federal Isı Pompaları Birliği, 2017)).

Şekil 9 Berlin-Lichtenberg'te büyük ısı pompası, (© Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.).



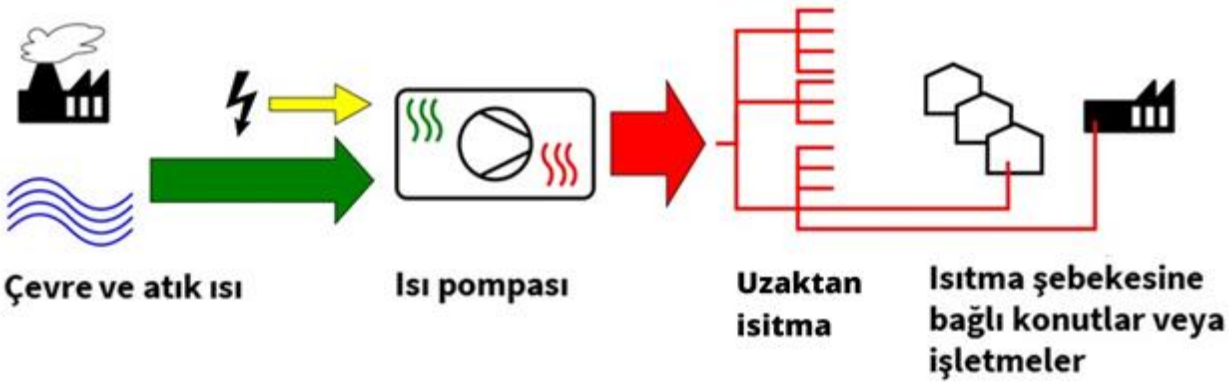
Şekil 10 "Atık ısı ve çevre ısısıyla ısıtma" konsepti için genel değerlendirme.

3.1 Çalışma prensibi

Sanayide ve enerji santrallerinde, çevreye salınan ve düşük sıcaklık seviyesinde çokça **atık ısı akımları** mevcuttur. Isı pompaları, ısıtma sağlamak için daha yüksek bir sıcaklık seviyesine getirmek amacıyla bu enerji miktarlarını değerlendirebilir. Büyük ısı pompaları olarak, binaya yakın ısı pompası gibi benzer bir termodinamik prensibe göre çalıştırılır: Bir soğutucu, düşük sıcaklık seviyesinde ısıyı emer ve bir basınç artışı sonrasında daha yüksek bir sıcaklıkta verir. **Çevre ısısı** da kazanılabilir. Daha büyük ölçekte kullanılabilir çevre ısısı için tipik kaynaklar, nehirler, büyük göller veya toprak kazıklarıdır. Yüksek sıcaklıklar daha iyi değerlendirilir, çünkü onlarla ısı pompaları verimliliğini artar.

3.1.1 Isı pompalarının dâhilî devre prosesi

Devre prosesi dört bileşenden oluşur ve iki basınç düzeyinde çalışır. Dâhilî işletme maddesi düşük sıcaklık ve düşük basınçta buharlaştırılır. Buhar daha sonra elektrikle çalışan bir kompresör ile daha yüksek bir basınç seviyesine getirilir. Kondansatördeki yüksek basınç nedeniyle daha yüksek bir sıcaklık seviyesi oluşur. Kondansatörde buhar sıvılaştırılır. Yoğuşma sırasında açığa çıkan ısı, bir ısı eşanjöründe taşıma maddesine (ısıtma suyu) aktarılır. Bir kelebek aracılığıyla sıvı soğutucu, yeniden düşük basınç seviyesine getirilir ve düşük sıcaklıklarda tekrar buharlaştırılabilir. Isı pompaları farklı kompresörlerle üretilebilir. Küçük ısı pompalarında genellikle Scroll kompresörler kullanılırken, büyük ısı pompalarında piston veya turbo kompresörler kullanılır. Bunlar alanında uzmanlaşmış firmalar (örneğin Bitzer, Bock) tarafından üretilen bileşenlerdir.



Şekil 11 Büyük ısı pompası enerji akışlarının basitleştirilmiş gösterimi.

3.1.2 Isı pompası sistemlerinin regülasyonu

Kompresörlerin gücü minimum ve maksimum devir içinde ayarlanır, yani modülasyonlu bir şekilde çalıştırılırlar. Isı pompaları **modülasyon aralığının** altında termal güç sağlayamaz. Bu nedenle, ısı depolama sistemleri genellikle bir ısı sistemi içine ısı pompası entegre etmek için kullanılır. Isı pompası, ısı şebekesinde toplam ısı kaynağı için sadece küçük bir katkı yapıyorsa, bir depolama tankı kullanılmayabilir. Bu durumda, gerekli ısı birincil besleme ünitesinin regülasyonu ile kontrol edilir. Çok sayıda sistemin birbirine bağlı olduğu büyük ısı pompaları ve ısı pompası sistemlerinde, şebeke bir depo olarak kullanılabilir. Sistemin güç gereksinimleri modülasyon sınırının altındaysa, ısı pompası verimli bir modülasyon aralığında çalışabilir. Bu süre zarfında, ısı deposu (veya ısı şebekesi) ısıtma sayesinde yüklenir. Belirli bir sınır sıcaklığından sonra, ısı enerjisi depolama tankları soğutularak sağlanır. Modern regülasyon stratejileri, ör. hava durumu ve kullanım etkilerine ilişkin tahminleri dikkate alarak, şebekenin yük değişikliklerini tahmini (öngörülü) şekilde dikkate alır. Ayrıca, negatif regülasyon enerjisi ile elektrik şebekesindeki yük dalgalanmalarını da telafi edebilirler.

ISI POMPALARININ PERFORMANS KATSAYISI

Isı pompalarının etkinliğini tanımlamak için COP, Coefficient of Performance (performans katsayısı) tanımlanmıştır. Bu, fayda ve çaba oranını tanımlar. Çaba genellikle kompresör elektrik motoru için tahrik enerjisidir. Isı pompasının faydalı gücü, kondansatörden alınır ve ısıtma gücü olarak adlandırılır.

3.1.3 Diğer sistem bileşenleri

Diğer şebeke bileşenleri, kısmen önemli olmayan miktarda elektrik tüketimine neden olan besleme pompalarıdır. Isının beslenen objelere aktarılması için aktarım istasyonları öngörülmelidir. Bunlar arkasında bağlı ısıtma devrelerine ayrı bir regülasyon sağlar ve hesaplama amaçları (ve gerektiğinde izleme) için bir ısı miktarı sayacı ile donatılmıştır.

3.1.4 İşletmeyle ilgili sınırlar

Isı pompalarının dâhilî işletme sınırları işletim maddesi ile verilir. Burada işletim maddesinin çeşitli özellikleri dikkate alınmalıdır. Akış için ulaşılabilir sıcaklık seviyesi, işletim maddesinin kaynama sıcaklığına ve dolayısıyla basınç seviyesine de bağlıdır.

	Tipik sıcaklık seviyeleri
Isıtma suyu	60 ila 95°C
Kaynak sıcaklığı	-5 ila 25°C

Tablo 2 Isı pompalarının tipik sıcaklık seviyeleri.

Yaygın olarak kullanılan bir soğutucu R410a'dır. Bu, yüzde 50 R-32 (difloromet an) ve yüzde 50 R125 (pentafloroetan) karışımıdır. Yüksek buhar basıncı sayesinde soğutucu, bileşenlerin daha küçük üretilebilmesini sağlayacak şekilde yüksek hacimsel bir güce sahiptir. Sıvılaşma sıcaklığı 50 °C'ye kadar çıkabilir. Daha yüksek sıcaklıklar elde edilecekse, genellikle soğutucu R134a ile bir kombinasyon kullanılır.

R134a (1,1,1,2-tetrafluroetan) bir hidroflorokarbondur. Yaklaşık 21 bar basınçta, kaynama sıcaklığı 70 °C'dir. Bu, soğutucuyu yüksek sıcaklık ısı pompalarında kullanıma uygun hale getirir. Buharlaşma entalpi bu durumda 120 kJ/kg ile düşüktür.

Amonyak (R717) iyi termodinamik özellikleri nedeniyle 100 yılı aşkın bir süredir soğutucu olarak kullanılmaktadır. Yüksek buharlaşma entalpisi (0 °C'de

yaklaşık 1.200 kJ/kg) ve iyi bir ısı transferine sahiptir. Yaklaşık 56 bar basınçta, kaynama sıcaklığı 95 °C'dir.

3.1.5 Alternatif yöntemler

Düşük sıcaklıklı bir şebekenin çalıştırılması bir atık ısı akımının sıcaklığı seviyesinde de, güneş ısısı dâhil edilerek mümkündür. Güneş enerjisinin entegrasyonu için olumlu örnekler Danimarka'da olduğu gibi ve Almanya'da da var, ör. B. Münih'te. Merkezi olmayan ısı pompaları ile, yapıya entegre ısı üretimi (bkz. Profil: "Binaya yakın çevre ısısıyla ısıtma") yapılabilir. Bu konsept, şebeke kayıplarının daha düşük olması nedeniyle, seyrek yerleşik alanlarında avantajlı olabilir.

Isı pompaları ısı ile de çalıştırılabilir. Bu durumda mekanik bir kompresör yerine, soğutma ve işletme maddesinden oluşan bir işletme maddesi çifti kullanılır. Amonyak-su sistemlerinde amonyak soğutucudur ve amonyak-su ise işletim maddesidir. Düşük basınç seviyesinde, amonyak-su, yüksek basınç seviyesinde ısının katılmasıyla atılan amonyak buharını emer.

Endüstriyel proseslerde, atık ısı da kısmen prosese yeniden entegre edilebilir. **Isı transformatörleri**, ısıyı prosese geri iletmek için atık ısı ve soğutma akımı ile çalışır. Amaç, örneğin, 130 °C'den daha az atık ısıyı tekrar kullanılabilir hale getirmektir. Bu amaçla, soğutucuyu yoğuşturmak ve ardından atık ısının bir kısmıyla buharlaştırmak için ek bir soğutma akımı kullanılır. Bu oran (maksimum yüzde 50) daha yüksek bir sıcaklık seviyesine "dönüştürülebilir" (Cudok, Ziegler, & Kononenko, 2013).

3.2 Sürdürülebilirlik

Elektrikle çalışan büyük ısı pompaları sürdürülebilirlik açısından, yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payına bağlıdır. Yalnızca yenilenebilir kaynaklardan bir elektrik beslemesi mümkün olduğunda, CO_2 içermeyen bir ısı beslemesi garanti edilebilir. Bu nedenle büyük ısı pompaları kullanımı iki uygulama senaryosu altında önemlidir: Yeni inşa edilen sürdürülebilir konseptlerde doğrudan çevre ısısının büyük bir kısmı kullanılabilir. Fosil tedarik teknolojileri, örneğin gaz kazanları veya blok ısı santrallerinin kurulması gerekmez. Mevcut, fosil yakıtlı şebekeler söz konusu olduğunda, fosil oranı azaltılabilir. Büyük ısı pompaları bu ısıtma şebekelerinin yenilenebilir şekilde işletilmesine katkıda bulunabilir. Büyük ısı pompaları, fosil enerji santralinin gücü, örneğin yenilenebilir elektrik fazlası nedeniyle, azaltılması zorunlu olduğunda, sıcak su vermeyi sürdürebilir. Aynı zamanda, sistemden toplam CO_2 emisyonu azalır. Isı kaynağına bağlı olarak, transfer pompaları için elektrik gereksinimleri genel bilançoya dâhil edilmelidir. Bu amaçla, örneğin, tüm sistem ve sadece ısı pompası için bir yıllık çalışma sayısı tanımlanabilir.

Sistemlerden sızan işletim maddesi çevreye zararlı olabilir. F gazları çok yüksek sera gazı potansiyeline sahiptir. Yaygın olarak kullanılan tetrafloroetan (R134a) CO_2'den 1.000 kat daha yüksek sera gazı potansiyeline sahiptir. Sera gazı potansiyeli kayda değer olmayan doğal soğutucular şimdiden kullanımda. Dezavantajları telafi etmek için teknolojik olarak gelişmiş bir uygulama gerektiriyorlar (amonyak toksiktir; hidrokarbonlar yanıcı; CO_2 sadece yüksek basınç altında kullanılabilir). Ancak, daha karmaşık bu sistemlerle başa çıkmak için tam da merkezi tesis inşası uygundur.

3.3 Dayanıklılık

Geçiş dönemi için ara depolama öngörüldüğü takdirde elektriksel tepe yükler ısı pompaları kullanımı ile kesilebilir. Buna ek olarak, elektrik fazlalığı ısı olarak depolanabilirse yenilenebilir enerji santrallerinin sınırlanması önlenebilir. Şebekelerin, binaların ve varsa depoların termal ataleti, ısı pompalarının şebeke içinde kullanılabilir bir şekilde çalıştırılmasını mümkün kılar.

Büyük ısı pompaları da mahalleleri beslemek için temel yük ısı jeneratörleri olarak yerel ısıtma şebekelerinde kullanılabilir. Bu durumda, bu ısı şebekeleri özerk görülmeli ve bölgesel ısıtma şebekelerine besleme yapılmaz.

Aşağıdaki örneklerde anılan büyükçe ısı pompa sistemleri, şu ana kadar projelere özgü olarak planlanmış olduklarından, şebekeye bağımlılıkları açısından da münferiden incelenmelidir.

3.4 Ekonomiklik

Büyük ölçekli ısı pompası sistemlerinin ekonomikliği farklı çerçeve koşullarına bağlıdır. **Elektrik üretim maliyetleri** öncelikle işletme maliyetleri için değerlendirilmelidir. Yatırım maliyetleri, kullanılan kaynağı geliştirmek için gereken çabaya göre değişir. Bir mahalle için çözüm aranıyorsa, ısıtma şebekelerinin döşenmesi ve konut bağlantılarının kurulumu dikkate alınmalıdır. Isı pompası sistemleri yenilenebilir elektrik üretiminde esneklik seçenekleri sağlar. Böylece, daha az etkili ısı üretim sistemler devre dışı bırakılabilir. Mevcut atık ısı akışlarına bağlandığında, düşük işletme maliyetleri olacağı varsayılmalıdır.

3.4.1 Almanya'da mevzuat, düzenleme ve teşvik araçları

BAFA, 2017 yılından bu yana "Isı şebekesi sistemleri 4.0" programı ile ısı pompalarını ve ısı şebekelerini teşvik ediyor. Sistemler, yüksek oranda yenilenebilir enerji, atık ısı kullanımı ve daha düşük şebeke sıcaklıkları ile alışıldık ısı şebekesi sistemlerinden farklı olmalı. Öncelikle teşvike uygun maliyetlerin yüzde 60'ına (Teşvik modülü I) sahip fizibilite çalışmaları desteklenir ve ikinci adımda uygun proje maliyetlerinin yüzde 50'sine (Teşvik modülü II) sahip bir 4.0 ısıtma şebeke sisteminin teşviki gerçekleştirilir. Teşvik miktarı fizibilite çalışmaları için 600.000 Euro'ya, ısıtma şebekesi 4.0'ın hayata geçirilmesi için 15 milyon Euro'ya kadar çıkabilir.

ÜRETİCİLER

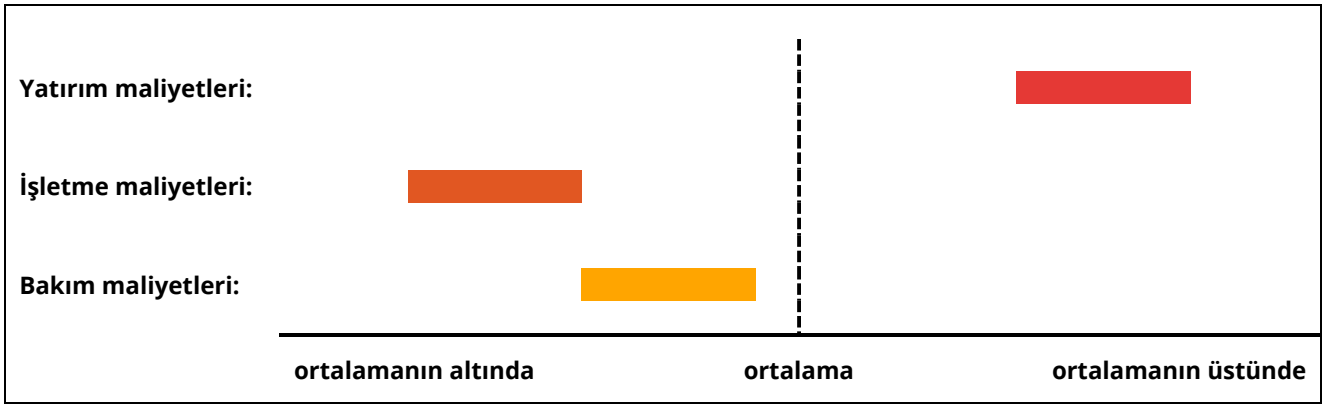
- Viessmann, Ochsner (Hepsi Almanya)
- CTA-AG (İsviçre), Heliotherm (Avusturya)

3.5 Aktarılabilirlik

Türkiye'de pek çok büyük enerji santrali bulunmaktadır. Ancak, ısıtma şebekeleri aracılığıyla atık ısı kullanımı sadece yüksek ısı talebi olan alanlarda anlamlıdır. Düşük ısı gereksinimleri olan bölgelerde, ısı şebekeleri ve bu nedenle de büyük ısı pompaları pek avantajlı değildir.

AVANTAJLI UYGULAMA ALANLARI

Yüksek güç aralıklarındaki büyük ısı pompaları kaynak, kullanım ve tahrik tarafında avantajlı koşullar altında kullanılır. Kaynak tarafında nehir, büyük göl veya jeotermal enerji gibi bir rezervuar olmalıdır. Kullanım tarafında, sabit bir ana yük avantajlıdır. Bu durum, örneğin, endüstriyel kullanıma (ör. kurutma prosesleri ile) veya yüzme havuzlarına sahip kentsel alanlarda yaz aylarında da geçerli olabilir. CO_2 emisyonlarının azaltılması yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile önemli ölçüde azalır. İdeal olarak bu, hidroelektrik veya pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerinde olduğu gibi sürekli olarak gerçekleşir.



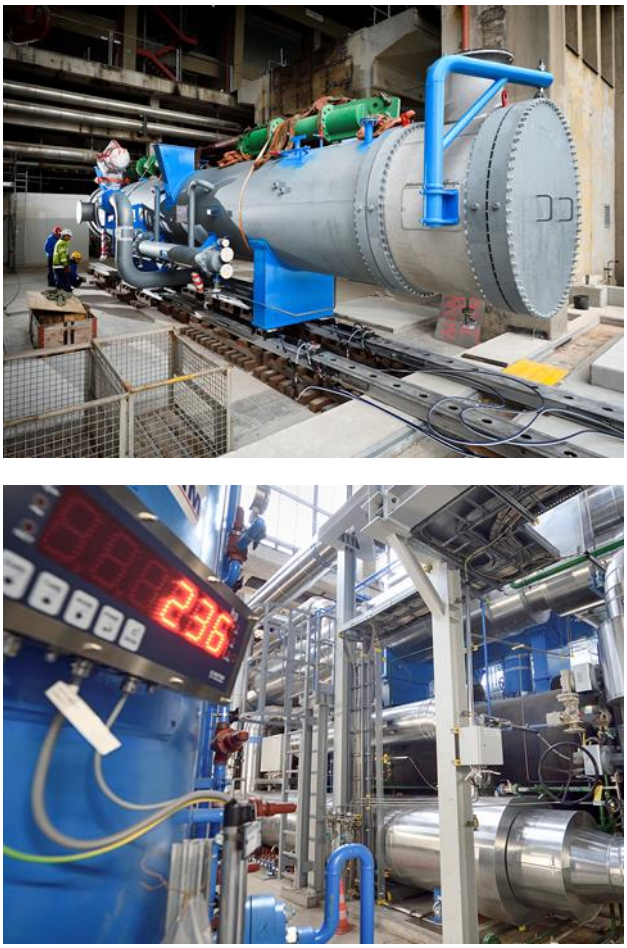
3.6 Örnek uygulamalar

3.6.1 Viyana Simmering büyük ısı pompası

Simmering'teki büyük ısı pompasında ısı kaynağı olarak, kojenerasyon santrallerinde artık kullanılmayan ısının aktarıldığı güç santrallerinin soğutma suyu kullanılır. Buna ek olarak, yakındaki Tuna Kanalı'nın ortam ısısı da ısı kaynağı olarak kullanılabilir.

Büyük ısı pompası aynı yapıda iki ısı pompasından oluşur, her birinin kendi içinde kapalı bir soğutucu devresi vardır. Bu soğutucu bir eşanjör ile atık ısıyı emer ve elektrik ile çalışan bir kompresör tarafından sıkıştırılır ve ısıtılır. Son olarak, soğutucu tekrar sıvılaştırılır ve bu sırada ortaya çıkan atık ısı bölgesel ısıtma suyuna verilir.

Termal enerji için modülasyon aralığı 27,2 ile 40 MW arasındadır. Yatırım tutarı 15 milyon Euro boyutunda gerçekleşti. Wiener Stadtwerke (Viyana Belediyesi Altyapı Hizmetleri Kurumu), bu enerji dönüşüm sistemindeki büyük ısı pompası sayesinde CO_2'de yılda yaklaşık 40.000 t'luk CO_2 azalması olduğunu belirtiyor. 25 yıllık bir hizmet ömrü üzerinden hesaplanan yatırım, ton başına 15 Euro'luk bir CO_2 azaltımı anlamına geliyor. Isı pompasından toplam yaklaşık 25.000 hane yararlanmaktadır.



Şekil 12 Viyana Simmering enerji santralindeki büyük ısı pompasının bileşenleri (© Wien Energie / Zinner).

OPTİMUM BÖLGESEL ISITMA KULLANIMI İÇİN AKILLI DAĞITIM SİSTEMİ

Son derece karmaşık tesis içindeki teknoloji, ısının çok düşük sıcaklıklarda dahi elde edilebilmesini sağlar. 6 °C ve üstü sıcaklıklarda dahi ısı pompası yardımıyla 95 °C'lik ısı üretilebilir. Bu ısı da Viyana bölgesel ısı ana hatları için düşük sayılabilecek bir sıcaklık olduğundan (ortalama 100 ila 150 °C), akıllı bir dağıtım sistemi, suyun bölgesel şebekede en uygun şekilde kullanılabilmesini ve gerekli sıcaklıkların daha düşük yerlerde devreye alınmasını sağlar. (Wien Energie)

3.6.2 Diğer örnekler

- Drammen, Norveç, Drammen Fjernvarme KS, kurulu güç: 45 MW
- Dollnstein, Bavyera, Kommunalunternehmen Energie Dollstein AdÖR, kurulu güç: 1 MW
- Frankfurt am Main, Hessen, Quartier am Henninger Turm GmbH & Co. KG, kurulu güç: 1,4 MW

3.7 Değerlendirme matrisi

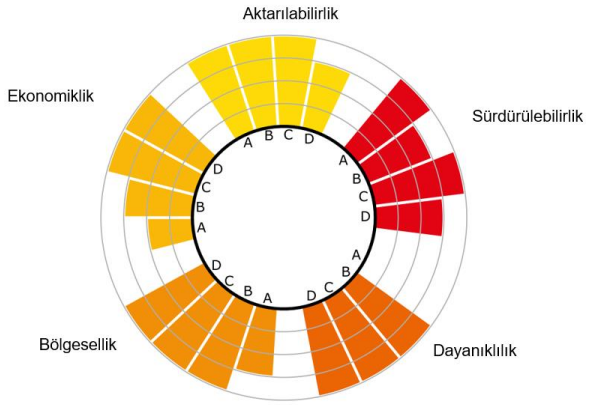
A	B	C	D
Sürdürülebilirlik			
CO_2 nötr özelliği (3/4)	Sera gazları (3/4)	Sistem bağımsızlığı (2/4)	Çevresel uyumluluk (4/4)
Dayanıklılık			
Şebekeye uyum (4/4)	Şebeke bağımsızlığı (2/4)	Besleme (4/4)	Sağlamlık (4/4)
Bölgesellik			
Zararlı madde azaltımı (4/4)	Kabul edilebilirlik (4/4)	Katma değer (3/4)	Üretim (4/4)
Ekonomiklik			
Bağımsızlık (2/4)	Geleceğe uyum (3/4)	Yatırım güvenliği (3/4)	Fayda değeri (3/4)
Aktarılabilirlik			
Piyasa olgunluğu (3/4)	Kullanılabilirlik (3/4)	İmalat (1/4)	Coğrafya (2/4)

Tablo 3 "Atık ısı ve çevre ısısıyla ısıtma" için değerlendirme matrisi

4 Profil: Biyokütle ve güneş enerjisi ile ısıtma

Kırsal yerleşim alanlarındaki ısı dönüşümü için biyokütleye dayalı çözümler mümkündür. Büyük güneş enerjisi sistemleri ile birlikte, substrat gereksinimi (örneğin ağaç) özellikle yaz aylarında azaltılabilir. Büyük tesisler için yerel ısıtma şebekeleri gerekli olacaktır. Biyokütle aynı zamanda, örneğin ağaç yongası kazanları gibi biyokütle kazanları ile yapıya entegre bir şekilde ısıtma için de kullanılabilir. Büyük güç gerekli olduğunda ısı santralleri de kurulabilir. Temel olarak, bu strateji diğer yerleşim alanlarında da uygulanabilir ancak o zaman biyokütle oraya taşınmalıdır.

Şekil 13 Ağaç yongası yakma (arka plan) ve ağaç yongası deposu (ön plan).



Şekil 14 "Biyokütle ve güneş enerjisi ile ısıtma" konsepti için genel değerlendirme.

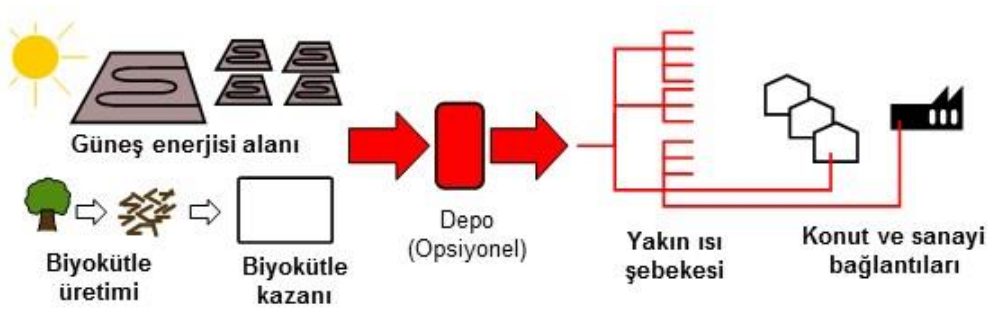
4.1 Çalışma prensibi

Isı beslemesi iki jeneratör bileşeni ile gerçekleştirilir. Isıtma yükü, esas olarak **ağaç yongaları** veya diğer katı biyokütlelerin **katı madde kazanında** yakılmasıyla karşılanır. Hava koşullarına bağlı güneş enerjisi ısı kaynağı temel yükü karşılamak için yaz aylarında kullanılır. Buna ek olarak fazla ısı, tarım işletmelerinde kullanılabilir, örneğin besi işletmelerinde.

4.1.1 Biyokütle

Biyokütle kavramıyla, organik kökenli maddeler, doğada yaşayan veya büyüyen maddeler ve yaşayan ve ölü canlılara ait atık maddeler kastedilmektedir. Dönüşüm prosesleri yoluyla biyokütleden de oluşan fosil enerji kaynakları genellikle biyokütle olarak adlandırılmaz (Quaschning, 2019).

Enerji kullanımı için biyokütle genellikle işlenir. Tipik olarak, enerji bitkileri (ormancılık, mısır) biyogaz, yakacak odun, ağaç yongası ve/veya pelet şeklinde işlenir. Bu biyokütle enerji taşıyıcıları, fosil birincil enerji taşıyıcıları ile benzer şekilde termal enerjiye ve enerji santrallerinde elektrik enerjisine, ve en nihayetinde motorlar aracılığıyla da kinetik enerjiye dönüştürülebilir.



Şekil 15 Biyokütle ve güneş enerjisi ile ısıtma sırasında enerji akışlarının basitleştirilmiş gösterimi.

Biyokütle olarak ahşap kullanımı için ağaçlar, **kesilmiş odun** veya **ağaç yongaları** şeklinde işlenir. Kesilmiş odun, belirli bir uzunlukta kesilmiş kütüklerdir. Odun kazanları tam veya yarı otomatik olarak yüklenebilir. Yarı otomatikte, kazanlar dikey depolama alanı sağlamak için tasarlanmıştır. Bu şekilde, kesilmiş odunlar kontrollü bir şekilde yanmaya verilebilir, arkadan gelen odunlar da kurutulur.

Ağaç yongaları boyutlarına göre spesifik kazanlarda yakılır. Tane büyüklüğüne dair bir spesifikasyon minimum yakıt standartlarının tanımlanmasını mümkün kılar. Her kategorideki ince tane grubu (toplam kütlenin yüzde <5'i) 1 mm'den az olmalıyken, kaba tane grubunda yakıt sınıfına bağlı olarak > 45, > 63, > 100 veya > 200 mm boyutundaki ağaç yongaları ile kütlenin en fazla yüzde 1'ine sahip olmalıdır (CENT/TS 14961). Ağaç yongası kazanları tam otomatik olarak yüklenebilir, sadece yükleme yeri düzenli olarak doldurulmalıdır.

Ahşap peletler çok homojen olduğu için küçük ısı üreticileri için daha uygun yakıttır.Peletler silindirik olarak preslenmiş biyokütlelerdir ve çapı bir santimetreden azdır. Bu biyokütle türü taşınır ve depolanabilir ve son kullanım için uygun olduğundan kullanılır. Peletler tanker kamyonlarında taşınabilir ve basınçlı sistemler ile depolama tesislerine yerleştirilir.

4.1.2 Geniş yüzeyli güneş enerjisi

Büyük güneş enerjisi alanları münferit kolektörlerle kurulur (açıklama için bakınız Profil "Güneş enerjisiyle soğutma"). Çok sayıda kolektör ayrıntılı hidrolik planlama gerektirir. Regülasyon konsepti de aynı zamanda ana üreticiye uyarlanmalıdır. 2018 yılı sonunda Senftenberg, Brandenburg'da 8.300 m^2 kolektör alanına (Management, 2018) sahip Almanya'nın en büyük tesisi, 85 ile 105 °C arasında nominal akış sıcaklığı ile mevcut bölgesel ısıtma şebekesine entegre edilmiştir. Kullanılan hidrolik entegrasyon ve bu amaçla programlanmış kontrol sistemi, genel güneş verimi artacak şekilde (ve fosil girdisinin azaltılabilmesi için) şebekenin çevriminin yükseltilmesine olanak sağlar.

AĞACIN ISIL DEĞERİ

Ağacın ısıl değeri **kuruma derecesine** bağlıdır. Farklı ağaçları karşılaştırmak için, bu nedenle eşit bir kurutma derecesi olduğu varsayılır. Farklı ağaçların kütlesel ısıl değeri neredeyse hiç farklı değildir. Kayın, huş ağacı, çam ve ladin 5,0 ila 5,2 kWh/kg aralığındadır (ağacın içinde yüzde 0 su içeriği olduğunu varsayarak). Taşıma önemli bir rol oynadığından, ısıl değer de hacimler ile ilgilidir. Hava kuruluğundaki koşullarda (su içeriği = yüzde 15), ladin 1.930 kWh/Fm, kayın 2.720 kWh/Fm'dir. Bir **metreküp** (Fm), bir metreküplük kapalı bir yerde serbest şekilde dökülen ağacın kütlesi anlamına gelir.

4.1.3 Diğer sistem bileşenleri

Aktarılacak ağaç miktarları büyüktür, bu nedenle uygun **depolama alanları** tutulmalıdır. Bu depoların temel koşulu, yakıtın kuru depolanmasıdır, yani basit olabilirler. Kesilmiş odun ve ağaç yongaları büyük termik santrallere damperli yükleyiciler ile taşınabilirken, daha küçük ölçekte bir otomasyon kabiliyeti gerekmektedir. **Pelet depoları** genellikle toz geçirmez şekilde kapalı tutulması gereken mahzenlerdir. Depo alanının zemini, peletlerin depolama alanı boşalırken helezon taşıyıcıya taşınacağı diklikte bir eğime sahip olmalıdır. Depo alanı, doldurma işlemi için bir üfleme ve emme tertibatı ile donatılmış olmalıdır. Bunlar, teslimatın yapılabildiği duvar açıklıklarıdır. Peletler depo içine basınç altında taşındığından, basma ağzının karşısındaki duvara bir çarpma koruması monte edilmelidir, bu da peletlerin zarar görmeden taşınmasına olanak sağlar.

Helezon taşıyıcı Arşimed'e ait bir vida prensibine dayanır. Helezon şeklinde bir spiralin sarıldığı bir şafttan oluşurlar. Şaft bir motor tarafından tahrik edilir. Dönme hareketi sayesinde katı maddeler taşınabilir. Helezon taşıyıcı, peletleri doğrudan pelet kazanına veya bir emiş istasyonuna iletir. İkinci yöntem, kapalı hatlar

için tercih edilecektir, çünkü burada peletler hava basıncı ile taşınmasıdır.

4.1.4 İşletmeyle ilgili sınırlar

Biyokütle üretimi için alan gereksinimi büyüktür, bu nedenle yerleşim yoğunluğu için bir sınır oluşturabilir. Biyokütle çok uzun mesafelerde taşınırsa, taşıma çabası CO_2 bilançosu üzerinde olumsuz etki eder. Güneş enerjisi için alan gereksinimi de büyüktür ve nadas alanlar kullanılamadığı takdirde sınırlayıcı bir etkiye sahip olabilir. Kullanım konusunda tarım ekonomisi ile çatışma yaşanabilir. Ancak alanların paralel işletilmesi olasılığı da vardır (güneş enerjisi uygulamaları ve tarım ekonomisi). Bu, örneğin güneş modülleri altına, toprağın kalitesini yükseltecek yonca ekerek bir sonraki yılın mahsul verimini arttırmakla gerçekleştirilebilir.

4.1.5 Alternatif yöntemler

Biyogaz tesisleri fermantasyon yoluyla biyogaz üretir. Biyokütle olarak arıtma çamuru, gübre, yemek atıkları veya bitkilerin değerlendirilmeyen bölümleri kullanılır. Ayrıca bitkiler, sadece enerji kullanımı için de yetiştirilebilir (örneğin mısır). Biyogaz, ör. ek olarak elektrik üreten **blok ısı santrallerinde** (CHP) kullanılabilir.

Güneş enerjisi kolektör tarlaları ve elektrikli ısı pompalarına sahip konseptler de mümkündür. Kışın yüksek rüzgar enerjisi kullanılabildiği için bu konseptler, özellikle Danimarka'da yaygındır. Ancak bunun için büyük termal depolama tankları (şimdiye kadar çoğunlukla sıcak su depoları, ancak geleceğe yönelik olarak artan bir şekilde daha çok henüz ortaya çıkmamış veya termokimyasal depolar) gerektirir.

ÖRNEK

Hirtenwiesen'de (Baden-Württemberg) bir mahalleye ısı sağlamak için yaklaşık 5.000 m^2 kolektör alanı kurulmuştur. 480 ve 100 m^3 depolama hacmine sahip iki depo kötü hava koşullarında kısa vadeli yedekleme sağlamaktadır. Uzun vadeli depo olarak 39.000 m^3 büyüklüğündeki toprak sondası ısı deposu kullanılmaktadır. Kışın, depolanan enerji ısı pompaları tarafından kullanılabilir.

4.2 Sürdürülebilirlik

Biyokütlenin değerlendirilmesi, biyokütlenin, bitkilerin büyümesi sırasında bağlı olduğu CO_2 miktarı kadar yanması (tüketimi) ölçüsünde CO_2 nötrdür. Ancak, çevre bilançosu dolaylı emisyonları dikkate almalıdır. Bunlar, örneğin, ormancılıkta, işlenmemiş ve işlenmiş ham maddelerin taşınmasında ve dönüşüm sırasında oluşur. Buna ek olarak, biyokütlenin yanması sırasında, uygun filtre tertibatları tarafından tutulabilen zararlı maddeler oluşur. Filtreler, örneğin partikül madde ayırıcıları, uzmanlaşmış üreticiler (örneğin Kutzner ve Weber, Schrader) tarafından sağlanmaktadır.

Biyokütle potansiyeli, ormancılıktan elde edilen ve enerji açısından kullanılabilir orman odunlarını, ve sadece enerjisel değerlendirilebilir odunların kullanılmak üzere ekildiği **kısa rotasyonlu araziler** olarak adlandırılan alanları içerir. Çok yüksek bir kereste talebi sürdürülemez bir orman yönetimine yol açabilir. Ormanlardan, geri yetişenden daha fazla biyokütlenin alınmaması ve türlerin çeşitliliğini sağlamak için ormanda yeterli biyokütlenin bırakılmasını sağlamak gereklidir.

Yalnızca enerji amaçlı kullanım için öngörülmüş biyokütle üretimi, genellikle gıdadan daha az çevresel koşullara tabidir. Biyokütle ısı geçişi için bir enerji kaynağıdır. Ancak, enerji üretimi için biyokütle gıda üretimi ile rekabet eder. Bu nedenle, önce maliyet-fayda tahmin edilmeli ve daha sonra çiftçiler ve tarım kooperatifleri ile işbirliği içinde bir arazi kullanım planı hazırlanmalıdır.

Özellikle biyogaz üretimi için başlangıç malzemelerinin üretiminde olmak üzere pestisitlerin artan kullanımı, daha fazla çevre kirliliğine yol açabilir.

4.3 Dayanıklılık

Güneş enerjisi ve biyokütle yoluyla ısı beslemesi bölgelerüstü şebekelerden bağımsız olarak yapılabilir. Başka bir yakıta dayalı yedek bir ısı kazanı kullanılırsa, biyokütle kazanının arızaları da savuşturulabilir. Biyokütle kazanları sağlam olarak sınıflandırılmalıdır. Acil durumlar için rezervler enerji kaynağından bağımsız olarak tutulabildiği için şebeke bağımlılığı düşük olarak kabul edilmelidir. Yüksek özerklik derecesi nedeniyle, sistem mevcut diğer şebekeler için uygun değildir. Başka şebekelere besleme genellikle yoktur.

4.4 Ekonomiklik

Üreticiden bağımsız altyapıdaki yüksek yatırım maliyetleri (yerel ısıtma şebekesi, konut aktarım istasyonu) nedeniyle, bu konseptlerin finansmanı teşviklere bağlıdır. Ancak devreye alınmasından sonra, akaryakıt fiyatlarında büyük bir değişiklik beklenemez. Bunlar, yakıt üretimi için personel maliyetlerinden ileri gelir ve bu nedenle daha çok genel fiyat artış oranına dayanma eğilimindedir. Jeopolitik durumun değişmesi nedeniyle yakıt maliyetlerinde bir değişiklik beklenmemelidir.

Yakacak odun fiyatları şu anda fosil yakıt fiyatlarından daha düşüktür. Örneğin, Mengsberg Vatandaş Kooperatifi için üretilen her kWh ısısının işçilik fiyatı 10,5 ct/kWh'dir (net fiyat, 2016 için). Tedarik şebekesine yüksek bağlantı oranı, düşük işçilik fiyatlarının ön koşuludur. Ayrıca, orantılı ısı kayıplarını minimumda tutmak için, her metre şebeke uzunluğu için ısı gücü

mümkün olduğunca yüksek boyutlandırılmalıdır.

Teknolojilerin bakım maliyetleri ortalama olarak sınıflandırılmalıdır. Örneğin, kısmi gölgeleme nedeniyle verimlilik kaybını önlemek için güneş enerjisi

alanları temizlenmelidir. Temizlik fiili kirlenmeye bağlı olarak yapılmalıdır.

Konseptten menfaat sağlayacaklar, yerel ısıtma şebekesine bağlı konutlar veya işletmelerdir. Biyoenerji taşıyıcılarının üretimi ve işlenmesi bölgesel olarak yapılır.

4.4.1 Almanya'da mevzuat, düzenleme ve teşvik araçları

Isıtma ve soğutma için 100 kW'dan fazla nominal güce sahip yenilenebilir bir enerji santraline yatırım yapan yerel yönetimler, BMWi'nin "Yenilenebilir ısı" pazar teşvik programından yararlanabilir ve ana para geri ödeme yardımı içeren düşük faizli teşvik kredisi alabilirler. Güneş enerjisi kolektörlerinde, kredi tutarının en fazla yüzde 70'ini geri ödemek zorundadırlar; ısı pompaları ve biyokütle tesislerinde ana para geri ödeme desteği şu anda her bir tesis için 50.000 Euro'ya, özellikle inovatif tesisler için 100.000 Euro'ya kadardır.

Yenilenebilir enerjilerden beslenen ısı şebekeleri ve büyük ısı depolama sistemlerinin yanı sıra işlenmemiş biyogaz boru hatlarının inşası ve genişletilmesi de teşvik ediliyor. Kredi vadesi, değişkenlik göstererek, 20 yıla, kredi tutarı ise 10 milyon Euro'ya kadar belirlenebilir.

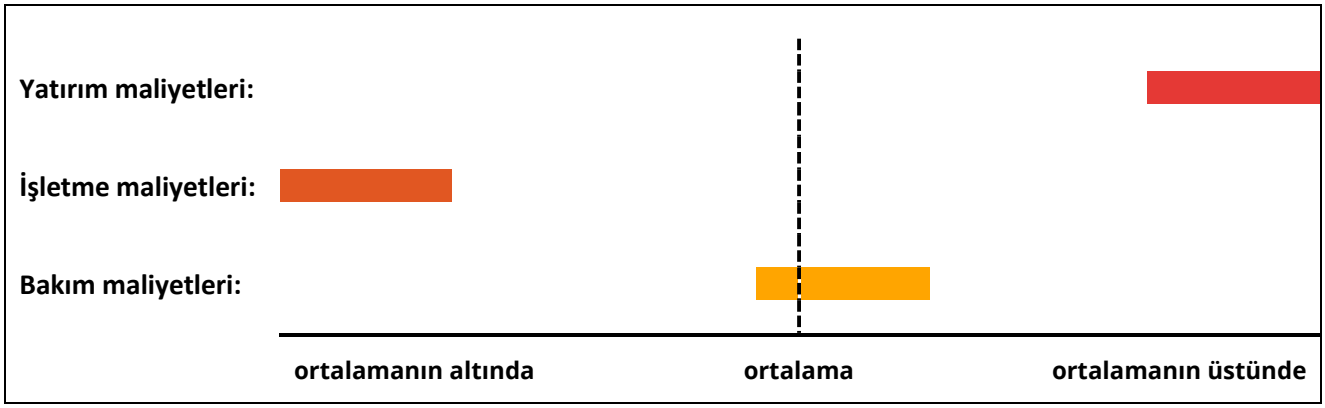
Şebeke altyapısı KfW'nin (Alman Kalkınma Bankası) "Erneuerbare Energien - Premium" (Yenilebilir Enerji-ler - Premium) adlı programı çerçevesinde teşvik edilmektedir. Bu teşvik, konuta aktarma istasyonlarının kurulması dâhil, diğer hususların yanı sıra, bir ısı şebekesinin kurulması ve genişletilmesini içerir.

4.5 Aktarılabilirlik

Almanya'da yenilenebilir ısıtma şebekeleri şu anda yoğun sübvansiyonlarla teşvik ediliyor. Teşvikler, jeneratör kurulumu, ısıtma şebekelerinin dönüşümü ve yeni yapılanmasını, ayrıca konut bağlantılarının kurulumunu içeriyor. Rekabet edebilir **ısı üretimi maliyetleri** elde etmek için benzeri teşviklerin gerekli olduğu varsayılabilir.

Kullanılan farklı teknolojilerin karmaşıklığı düşük olarak sınıflandırılır. Biyokütle geri kazanımı için kazanlar, tıpkı güneş enerjisi kolektörleri ve ilgili depolama tankları çeşitlerinde olduğu gibi piyasada mevcuttur. Bir ısıtma şebekesinin genişletilmesi ve konut bağlantılarının kurulumu artık standarttır. Sistemin kontrolü ve izlenmesi biraz daha karmaşık olarak sınıflandırılacaktır.

Biyokütle yakıtlarının üretimi bölgesel olarak sağlanabilir. Türkiye'de başta odun olmak üzere yenilenebilir biyokütle potansiyeli mevcuttur. Aynısı güneş termal enerjisi kullanımı için de geçerlidir (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2013).



Türkiye'de ısı talebi birçok bölgede Almanya'ya göre önemli ölçüde daha düşüktür. Bu durumda, şebeke altyapısı yeterince kullanılmadığından merkezi yapılar daha az uygundur. Bu koşullar altında, daha çok merkezi olmayan konseptler tercih edilmelidir.

4.6 Örnek uygulamalar

4.6.1 Mengsberg Biyoenerji Köyü

Şekil 16 Mengsberg Biyoenerji Kooperatifi kavramına bir örnektir (© Shutterstock/Peteri).

Mengsberg sakinlerine bir ağaç yongası ısıtma tesisi ve 3.000 m^2 büyüklüğünde bir güneş enerjisi alanı ile CO_2 nötr şekilde ısı sağlanıyor. Yerel ısıtma şebekesi 2018 yılında faaliyete alındı ve o dönemde 150 konut bağlantısına sahipti. Güneş enerjisi alanı bağlı hanelerin toplam ısı talebinin yüzde 18 ila 20'sini karşılıyor. Odun kazanları yaz aylarında kapalı kalıyor, bu da kazanların yıllık bakımını kolaylaştırıyor.

Kullanılan teknik:

- 1,1 MW kapasiteli ağaç yongası kazanı
- Yedek kazan olarak biyo-propan bazlı düşük sıcaklık kazanı
- 3.000 m^2 brüt kolektör alanına sahip güneş enerjisi tarlası
- Her biri 150 m^3 iki tampon depo

TEŞVİK İHTİYACI

Mengsberg Biyoenerji Köyü, Projesi Alman Kalkınma Bankası'nın (KfW) teşvikleri ve hibeleri ile desteklendi. Özellikle yüksek verimli büyük güneş enerjisi sistemleri için, 2016 yılından bu yana, yatırım maliyetlerinin yüzde 65'ine (tampon depolama dâhil kolektör tarlası) kadar hibe sağlayan verimliliğe bağlı bir teşvik olmuştur. Şebeke ve verimsiz ısı kazanlarının değiştirildiği konuta aktarma istasyonları da, APEE bonusu (enerji verimliliği teşvik programı) çerçevesinde desteklenerek gerçekleştirilebilir. Bunun, projenin ekonomikliği ve uygulanabilirliği üzerinde önemli bir etkisi vardı.

4.6.2 Başka örnekler

- Liggeringen Güneş Enerjisi Köyü, Radolfzell kentinin semti, Baden-Württemberg
- Randegg Güneş Enerjisi Köyü, Gottmadingen belediyesinin semti, Baden-Württemberg
- Breklum Güneş Enerjisi Köyü, Schleswig-Holstein
- Ellern Güneş Enerjisi Köyü, Rheinböllen belediyesinin semti, Rheinland-Pfalz

4.7 Değerlendirme matrisi

A	B	C	D
Sürdürülebilirlik			
CO_2 nötr özelliği (4/4)	Sera gazları (3/4)	Sistem bağımsızlığı (4/4)	Çevresel uyumluluk (3/4)
Dayanıklılık			
Şebekeye uyum (0/4)	Şebeke bağımsızlığı (4/4)	Besleme (4/4)	Sağlamlık (4/4)
Bölgesellik			
Zararlı madde azaltımı (3/4)	Kabul edilebilirlik (4/4)	Katma değer (4/4)	Üretim (4/4)
Ekonomiklik			
Bağımsızlık (2/4)	Geleceğe uyum (3/4)	Yatırım güvenliği (4/4)	Fayda değeri (4/4)
Aktarılabilirlik			
Piyasa olgunluğu (4/4)	Kullanılabilirlik (4/4)	İmalat (4/4)	Coğrafya (3/4)

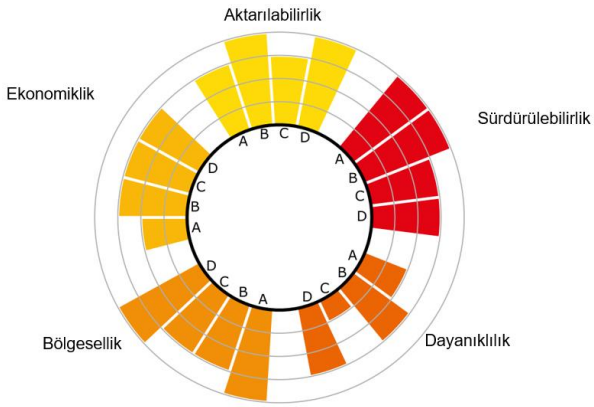
Tablo 4 "Biyokütle ve güneş enerjisi ile ısıtma" için değerlendirme matrisi

5 Profil: Güneş enerjisiyle soğutma

Güneş enerjisiyle soğutma, soğurmalı soğutma sistemleri ve güneş enerjisi sistemleri ile gerçekleştirilir. Her ikisi de, kombine edildiğinde enerji sistemini sürdürülebilir şekilde iyileştirebilecek pazara hazır sistemlerdir. Yenilenebilir şekilde üretilen ısı kullanılır. Elektrik şebekesi, sıkıştırma soğutma sistemleri tarafından, aksi taktirde gerekli olacak tepe yüklerinden azaltılmış olur.

Şekil 17 Dessau'da Çevre Dairesinde güneş enerjisiyle soğutmanın çekirdek bileşeni olarak soğurmalı soğutma sistemi (© TU Berlin/FAkS).

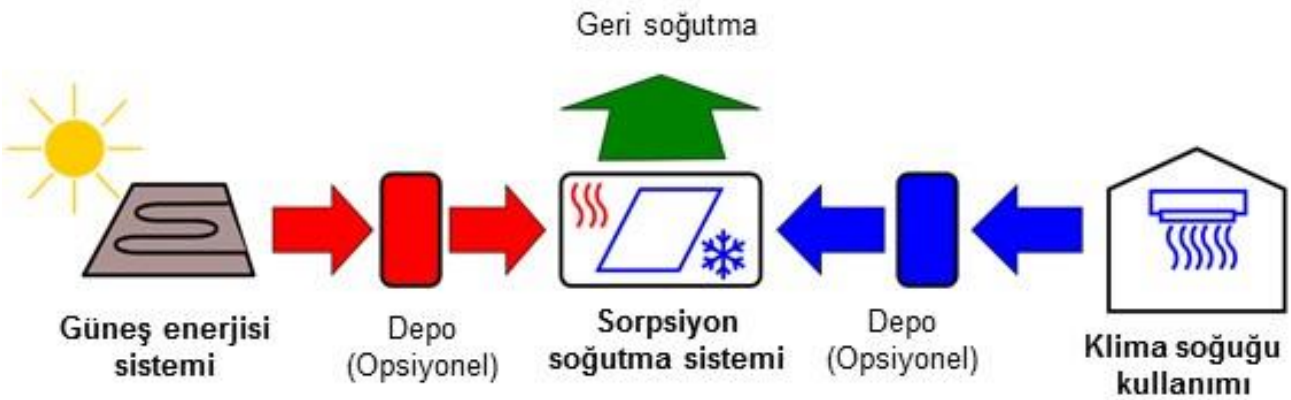
Özellikle daha geniş alanların, alışveriş mağazalarının veya otellerin soğutulması gibi yüksek soğutma yüklerine sahip alanlarda, düşük işletme maliyetlerinden ekonomik avantajlar oluşturulabilir. Türkiye'de daha yüksek soğutma yükleri, daha uzun yıllık çalışma süreleri bulunması ve güneş enerjisi ısı teknolojisinin kullanılıyor olması nedeniyle Türkiye'ye aktarımın iyi olması bekleniyor.



Şekil 18 "Güneş enerjisiyle soğutma" konsepti için genel değerlendirme.

5.1 Çalışma prensibi

Güneş enerjisiyle soğutma sistemlerinin çekirdek bileşeni, bir soğutma devresini çalıştıracak ısı akışının kullanıldığı soğurmalı soğutma sistemleridir. Soğuk, bir soğuk su şebekesinde bina soğutma ve/veya nem alma için kullanılır. Isı akışı güneş kolektörleri tarafından sağlanır. Soğuk, bir yerel soğutma şebekesine de verilebilir.



Şekil 19 Güneş enerjisiyle soğutma çekirdek bileşenleri ve enerji akışları basitleştirilmiş gösterimi. Güneş enerjisi sisteminden gelen ısı soğuk sağlamak için soğurmalı soğutma sisteminde kullanılır.

5.1.1 Termal soğutma

Soğurmalı soğutma sistemleri ısı ile çalıştırılır. Modern sistemler, güneş enerjisi ısısı gibi yenilenebilir ısı kaynaklarının yanı sıra enerji santrali proseslerinden gelen jeotermal enerji veya atık ısıyı da kullanır. En yaygın uygulamalarda fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan ısı kullanılır. Entegre yanma odaları (gaz) ile tasarımlar da piyasada mevcuttur. Bunlar doğrudan ateşlenen sistemler olarak soğutma şebekesine entegre edilir. Sistemlerin hidrolik bağlantısı sıcak su boru hatları üzerinden, soğutma için kullanlan soğuk su ile yapılır. Atık ısı, bir soğutma devresi ile çevreye salınır. Burada kuru **yeniden soğutma üniteleri**, **ıslak soğutma kuleleri** veya hibrit tasarımlar kullanılabilir.

Isıtma maddesi, sorpsiyon soğutma işleminde soğutucuyu bir sorpsiyon maddesinden çıkartmak (desorpsiyon) ve böylece bir soğutma devresini çalıştırmak için kullanılır. Soğutucu, ısı verilerek sıvılaştırılır ve daha sonra düşük basınçta soğutma için buharlaştırılabilir. Buharlaşan soğutucu bir sorpsiyon maddesine bağlanır (soğrulur; emilir). Soğutucunun mekanik olarak sıkıştırılması gerekli olmadığından işlemi için elektrik gerekmez. Sadece pompalar, regülatörler ve yeniden soğutma cihazları elektrikle çalıştırılır.

pompaları ve vakumun korunması için daha yüksek teknolojik gereksinimler vardır. Bu nedenle soğurmalı soğutma sistemleri genellikle sadece daha büyük soğutma kapasiteleri (>50 kW) için kullanılır.

Soğurmalı soğutma sistemleri 30 kW'a kadar olan küçük güç aralığında daha yaygındır ve modüler devreleme sayesinde büyük soğutma kapasiteleri de sağlayabilir.

5.1.2 Güneş enerjisiyle ısı üretimi

İklimlendirmede, soğutma yükü özellikle güneş ışınlarına bağlıdır ve güneş ısısı soğutma işlemi için avantajlı şekilde kullanılabilir. Güneş enerjisi kolektörleri olarak düzlemsel kolektörler veya vakum tüplü kolektörler kullanılabilir. Düzlemsel kolektörler birçok üretici tarafından yerleşik bir teknoloji olarak sunulmaktadır, ve düşük maliyetli olup az bakım gerektirir. Almanya'da en yaygın olarak kullanılan kolektör tipidir. Güneş ışınları, ısıyı sıvı akan bir boru ızgarasına aktaran özel kaplı bir bakır levha olan bir soğurucu levhasını ısıtır. Kolektörler ısı kayıplarını azaltmak için arkadan yalıtımlıdır. Vakum tüplü kolektörlerde yalıtım vakum ile gerçekleştirilir. Bu tasarımda, daha düşük kayıplar olur ve bu nedenle daha verimlidir ve daha yüksek sıcaklık seviyeleri için kullanılabilir. Çok sayıda tahliye edilen cam tüplere ve

SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN GÜÇ KATSAYISI

Termal soğutma sistemlerinin verimliliği güç katsayısı (COP) ile tanımlanır. Termal COP, üretilen soğutma gücünün (fayda) ve kullanılan ısı çıkışının (çaba) oranını açıklar.

$$Katsayı = COP = \frac{\text{Üretilen soğutma gücü } (Fayda)}{\text{Kullanılan ısı gücü } (Çaba)}$$

Soğurmalı soğutma sistemleri nispeten yüksek ısı verimliliğine sahiptir. Her enerji birimi için kullanılan ısı başına yaklaşık 0,75 enerji birimi soğukluk (COP = 0,75) elde edilir. Çok aşamalı sistemler COP = 1,2 gibi daha yüksek verimlilik sağlayabilir. Soğurmalı soğutma sistemleri sürekli olarak çalıştırılır ve bununla bağlantılı dâhilî proses yönetimi nedeniyle biraz daha düşük verime sahiptir (COP = 0,65).

Soğurmalı soğutma sistemi için çaba hesaplanmasında, kullanılan ısıya ek olarak, elektrik gereksinimi de dikkate alınmalıdır. İyi tasarlanmış sistemlerde, 1 kWh elektrik ile yaklaşık 15-20 kWh soğukluk üretilebilir.

Soğurma ile ilgili olarak, iki tip ana tesis vardır: **Soğurma soğutma sistemlerinde** sıvı bir soğurma maddesi kullanılır, ör. suyumsu bir lityum bromür çözeltisi. **Adsorpsiyon soğutma sistemlerinde** katı bir sorpsiyon maddesi kullanılır, ör. higroskopik bir mineral olan zeolit.

Soğurmalı soğutma sistemleri söz konusu olduğunda, proses sürekli olarak çalıştırılabilir, ancak proses

arka tarafı yansıtıcılı sac yapısına sahip kolektörler yaygındır. Her iki tip kolektörde ısı transfer sıvısı olarak, su veya dona dayanıklı glikol bazlı güneş enerjisi sıvısı kullanılabilir.

Şekil 20 Bir binada vakum tüplü güneş enerjisi kolektörleri (©Shutterstock/INDUKAS).

5.1.3 Diğer sistem bileşenleri

Stabil çalışan bir besleme konsepti sağlamak için güneş enerjisi ısısı için bir depolama imkânı (ör. büyük bir tampon depo) gereklidir. İsteğe bağlı olarak, güneş ışınları olmadığı zamanlarda çözüm sağlamak için çok büyük depolama tanklarında soğuk su da yedeklenebilir. Depolama kapasitesi sıcak tarafta daha yüksektir, bu nedenle birçok durumda bu seçenek favori bir çözümdür.

Yeniden soğutma merkezi bir rol oynar. Soğuğa dönüştürülen her enerji miktarı, ısı miktarının yaklaşık iki katı olarak dağıtılmalıdır. Evaporatif soğutucular veya hibrit yeniden soğutma üniteleri, ortam havası seviyesinin altında yeniden soğutma sıcaklıkları sağlayabilir ve bu nedenle avantajlı olarak kullanılabilir. Kuru soğutucular Almanya'da en yaygın soğutma teknolojisidir, çünkü sistemler daha ucuzdur ve buharlaşma döngüsünde hijyenik bir sorun (lejyonella) oluşmaz.

Tepe yükleri veya olası bir gece soğutma gereksinimi, genellikle ek sıkıştırma soğutma sistemleri tarafından birçok sistemde sağlanmaktadır. Bu, soğurmalı soğutma sisteminin tasarım performansının optimize edilmesine olanak tanır. Sistem periferisi - yani pompalar, borular ve üstündeki regülasyon - sistem verimliliğini önemli ölçüde etkiler, bu yüzden ayrıntılı olarak planlanması gerekir.

5.1.4 İşletme sınırları

Soğurmalı soğutma sistemlerinin dâhilî kullanım sınırları, çalışma maddesi veya soğutucunun kristalizasyon limitleri ile belirlenir. Soğurmalı soğutma sistemleri soğutucu olarak su kullandığından 0 °C altında bir soğukluğun sağlanması mümkün değildir.

Isıtma suyunun (tahrik), soğutma suyunun (soğutma) ve soğuk suyun (yarar) sıcaklık düzeyleri tesislerin verimliliğini (kapasitesini) belirler. Bu nedenle, son derece değişken sıcaklık seviyeleri ve/veya termal olarak dalgalanan yük gereksinimlerinde tesis kontrolü zahmetlidir. Özellikle, yeniden soğutma sıcaklık seviyesi ulaşılabilir kapasite için belirleyicidir. Sıcaklık seviyeleri için tipik aralıkları yandaki Tablo 5 gösteriyor.

	Tipik sıcaklık seviyeleri
Isıtma suyu	60-120 °C
Soğutma suyu	25-40 °C
Soğuk su	5-20 °C

Tablo 5 Soğurmalı soğutma sistemlerinde tipik sıcaklık seviyeleri

Yeniden soğutma, tesisin kapasitesini etkileyen ortam sıcaklıklarına karşı gerçekleşir. Bu nedenle çok yüksek dış sıcaklıklarda, buharlaştırıcı etkiye sahip soğutucular avantajlıdır. Kurak bölgelerde, suyun sınırlı kullanılabilirliği kullanımı engelleyebilir.

Bir yandan güneş enerjisi devresinin zarar görmesini önlemek ve diğer yandan soğutma sisteminde aşırı yüksek sıcaklıkları önlemek için ısıtma suyu sıcaklıklarını sınırlamaya dikkat etmek gerekir.

5.1.5 Alternatif yöntemler

Termal soğutma için alternatif konseptler; ör. buhar jeti soğutma veya Vuilleumeur prosesidir, ancak bunlar düşük verimlilikleri nedeniyle sadece örneğin uzay yolculuğu gibi özel uygulamalarda kullanılır.

Güneş ısısına alternatif olarak başka yenilenebilir ısı kaynakları kullanılabilir. Örneğin, proses atık ısısı, jeotermal ısı ve bölgesel ısıtma olabilir.

Ayrıca, güneş enerjisiyle soğutmaya alternatif olarak sıkıştırma soğutma sistemleri kullanılabilir.

Soğuğun sadece bir binanın soğutulması için değil, aynı zamanda nem alma için de kullanıldığı durumlarda, **soğurmalı iklimlendirme yöntemleri** (soğurmalı iklimlendirmeye ilişkin aşağıdaki bilgi kutusuna bakınız) bir alternatiftir.

5.2 Sürdürülebilirlik

Teknoloji, ısı kullanır ve bu nedenle birincil ısı kaynağının emisyonlarına bağlıdır. Jeotermal ısı, teknolojilere bağlı olarak çok yüksek sera gazı emisyonları üretebilirken (bkz. Profil "Jeotermal Isıtma ve Soğutma") güneş enerjisiyle soğutma neredeyse emisyonsuzdur. Konvansiyonel enerji santrali proseslerinden elde edilen ısı, CO_2 nötr değil olarak değerlendirilmelidir. Ancak, sistem verimliliği sıradan sistemlere göre iyileştirilebilir. Bu nedenle fosil

yakıtlarla üretilen ısıya dayalı konseptler geçiş teknolojileri olarak anlaşılmalıdır.

İşletim için ikincil elektrik tüketimi, fosil enerji üretimi için CO_2 emisyonlarının ana kaynağıdır, bu nedenle devreye alma sırasında iyi düşünülmüş bir regülasyon konseptine ve özenli tesis bakımına dikkat edilmelidir.

Klimalı soğutma için sistemlerde soğutucu olarak sıkça su kullanılır. Böylece, soğutucu nedeniyle ek bir sera gazı potansiyeli oluşmaz. Arazi kullanımı veya zararlı madde emisyonları gibi başka çevresel etkiler yoktur.

5.3 Dayanıklılık

Sıcak bölgelerde, elektrik şebekesindeki en tepe yükü ve böylece santral boyutlandırması soğutma ihtiyacından önemli ölçüde etkilenir. Bunun nedeni geleneksel şekilde kullanılan elektrikli sıkıştırmalı soğutma sistemleridir. Güneş enerjisiyle soğutma sistemleri sayesinde üretilen yenilenebilir ısı kullanılarak, elektrik şebekesi rahatlatılabilir. Bu nedenle bu konsept, şebekeye uygun olarak kabul edilmelidir. Ancak, düşük elektrik tüketimi nedeniyle, yük bağlantısı veya kapatma şeklinde bir dengeleme enerjisi kullanılamaz. Avantajı, sistemin ek bir ısı besleme altyapısına dayanmamasıdır. Yenilenebilir olarak üretilen soğukluk, yerel soğutma şebekelerinde bile taşınabilir ve diğer teknolojilerle birlikte yedek fazlalığını artırabilir.

Soğurmalı soğutma ve güneş enerjisi ısı sistemleri sağlam teknolojilerdir. 50 yılı aşkın hizmet ömrüne sahip soğurmalı soğutma sistemleri vakaları bilinmektedir. Güneş kolektörleri de olgunlaşmış olup ve en az 20 yıllık bir hizmet ömrüne sahiptir.

SOĞURMALI İKLİMLENDİRME

Çiy noktası altına düşüldüğü konvansiyonel iklimlendirmede, havada buhar şeklinde bulunan su çok soğuk yüzeylerde yoğuşur. Bu işlem 6 - 9 °C arasındaki düşük sıcaklıklar nedeniyle nispeten verimsizdir. Soğurmalı proseslerde, soğurmalı soğutma sistemlerinde olduğu gibi bir soğurma maddesinin su çekme özelliğinden yararlanılır. Hava, buhar şeklindeki suyu emen gözenekli bir katı madde içinden geçirilir. Alternatif olarak, havaya püskürtülen özel tuz çözeltilerine sahip prosesler de kullanılır.

Katı maddeden su veya tuzlu çözeltisini çıkarmak için güneş ısısı kullanılabilir. Bunlar basit hava kolektörleri ile de elde edilebilir. Sıcak hava, soğurma maddesindeki suyu alır, desorpsiyon yapılır. Su emme ve almaya dair sürekli bir proses gerçekleştirmek için, katı maddeler rotorlara monte edilir. Sıvı soğurma maddeleri pompalanabilir ve havalandırma sisteminin başka bir yerinden dışarıya atılabilir.

Şekil 21 Soğurmalı klima sistemleri için bir uygulama örneği olarak yüzme havuzu. (©Shutterstock/ Arsel Özgürdal).

Avantajlı uygulamalar, örneğin yüzme havuzları veya konferans mekanları gibi yüksek nem alma yüküne sahip yerlerdir. Ayrıca, yeterli yenilenebilir ısı potansiyeli olmalıdır.

Örnekler:

- Berlin Teknik Üniversitesi Volkswagen Kütüphanesi (katı madde soğurma)
- Freiburg Üniversitesi Hastanesi (sıvı madde soğurma)

Üreticiler:

- Rotasyonlu soğurucuya sahip SGK iklimlendirme teknolojisi: robatherm GmbH + Co.KG
- Sıvı sorbentinli SGK iklimlendirme teknolojisi: Menerga GmbH

5.4 Ekonomiklik

Ekonomiklik için, yatırım hacmi ve standart teknolojilere fiyat farkı (sıkıştırmalı soğutma) belirleyicidir. Tesis teknolojisinin yüksek oranda kullanımı ve düşük tepe yükü gereksinimi avantajlıdır. Yatırım hacmi tesisin büyüklüğüne göre belirlenir ve bu nedenle soğuk suyun sıcaklık seviyeleri ve yeniden soğutma ile belirlenir. Bu nedenle, iyi ölçekli tesisler için ayrıntılı planlama önemlidir ve tesis teknolojisi için planlama çabası yüksek olarak sınıflandırılmalıdır.

Güneş enerjisiyle çalıştırılan soğurmalı soğutma sistemlerinin yatırım maliyetleri, diğer teknolojilere göre daha yüksektir, ancak işletme maliyetleri daha düşüktür. Somut maliyetler, gerekli soğutma gücüne ve soğutma gereksinimine son derece bağlıdır. Büyük tesisler (>2 MW) soğurmalı soğutma teknolojisi için her kW başına 50 - 100 Euro gibi spesifik yatırım maliyetleri içerir. Daha küçük tesis boyutlarında (yaklaşık 100 kW), soğurmalı soğutma teknolojisi için her kW başına spesifik yatırım maliyeti 400 - 600 Euro arasındadır (Gebhardt, 2002). Bu teknoloji için maliyet azaltma konusu, sistemleri optimize ederek ve üretim prosesinde ısıyla çalıştırılan soğutma makinelerinin verimliliğini artırarak maliyetleri azaltmak isteyen pek çok ulusal ve uluslararası araştırma projesinin konusudur.

İşletme maliyetleri ısı maliyetlerine bağlıdır ve bir güneş enerjisi kaynağı olması durumunda oluşmazlar. Cari işletme maliyetleri, regülasyon teknolojisi, pompalar ve yeniden soğutma için ikincil elektrik tüketimi için gerekli çabaya azalır. İyi tasarlanmış sistemlerde bu maliyetler 1 kWh elektrik başına veya üretilen her 15-20 kWh soğukluk için 8 Cent kadardır.

Tesis teknolojisinin bakım ihtiyacı ortalama olduğu şeklinde değerlendirilebilir. Ancak özellikle devreye alma aşamasında yüksek bir uyarlama çabası avantajlıdır. Teknoloji için bir dezavantaj, niş ürün olan soğurmalı soğutma sistemine bakım yapacak gerekli kalifiye bakım personeli eksikliğidir.

5.4.1 Almanya'da mevzuat, düzenleme ve teşvik araçları

Soğutma teknolojileri, Avrupa Binaların Toplam Enerji Verimliliği ve Enerji Verimliliği Direktifi (AB 2018/844) tarafından düzenlenmektedir. Federal Almanya Yenilenebilir Enerji-Isı Yasası (EEWärmeG), yenilenebilir enerji girdileri için minimum gereksinimleri tanımlar. Sonuç olarak, güneş enerjisi ısı sistemleri de yenilenebilir kaynak teknolojisi olarak giderek daha çok kullanılmaktadır. Güneş enerjisi teknolojisi için şimdiye kadar EEWärmeG içinde alternatif PV sistemlerinin makul görülmemiş olması bir avantajdır. Güneş enerjisiyle soğutma sistemleri teşvike uygundur, özellikle F-Gazları-Yönetmeliğinin hayata geçirilmesi hedefiyle. Halojensiz soğutucularla çalıştırılan sabit soğutma ve iklimlendirme sistemleri (yeni kurulumda en azından soğutma ünitesi) teşvik edilir. “Ulusal İklim Koruma Girişimi” içinde, 5 ila 600 kW güç aralığındaki soğurmalı soğutma sistemleri desteklenir (Soğuk Klima Direktifi). Güneş enerjisi sistemleri için ön koşul ikincil elektrik tüketiminin 12,5 kWh soğukluk başına 1 kWh'den az olmasıdır. Bu sayede, yüksek verimli sistemler teşvik edilir. Teşvik miktarı kurulu soğutma kapasitesine bağlıdır, örneğin 100 kW'lık bir sistem yaklaşık 35.000 Euro ile desteklenir. Teşvik, kW başına teşvik edilen tesisin kapasitesiyle orantılı degresyonu içeren förmüllere dayanır. Genel formül:

$$F = (A * P^B + C) * P$$

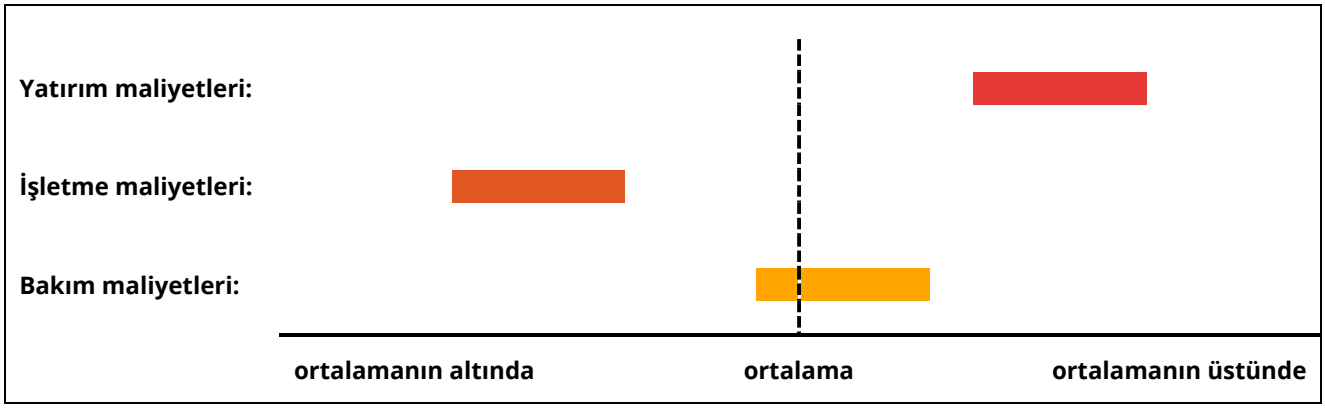
Soğutma ve iklimlendirme direktifine göre, soğurmalı soğutma sistemleri için aşağıdakiler geçerlidir:

$$A = 1448{,}38$$

$$B = -0{,}2682$$

$$C = -74{,}31$$

100 kW'lık bir sistem için 346 Euro/kW ödenir, yani toplam 35.000 Euro 'nun altındadır. Isı değiştirici veya depolama tankları gibi yardımcı üniteler de desteklenir. Maksimum finansman 150.000 Euro ve maliyetlerin yüzde 50'sidir.



ÜRETİCİLLER

Almanya'da daha ziyade küçük soğutma sistemleri (500 kW'a kadar) geliştirilmekte ve üretilmektedir. Soğurmalı soğutma sistemleri üreticileri arasında W. Bälz & Sohn GmbH & Co. ve EAW Energieanlagenbau GmbH Westenfeld bulunmaktadır. Soğurmalı soğutma sistemleri, Invensor GmbH ve Fahrenheit GmbH tarafından üretilmektedir.

Uluslararası tedarikçiler özellikle çok büyük tesisler üretmektedir: ör. Broad Group (Çin), Johnson Controls (İrlanda), LG (Güney Kore), Shuangliang (Çin) ve Thermax (Hindistan)

5.5 Aktarılabilirlik

Soğutma gereksinimi yüksek ve yüksek bir yenilenebilir ısı potansiyeli olduğu için ısı tahrikli soğurmalı soğutma teknolojisini Türkiye'ye aktarılabilme önkoşulları çok iyi olarak kabul edilir. Bölgeye bağlı olarak, konsept örneğin, jeotermal ve güneş enerjisiyle ısı üretilen şebekelere de uygulanabilir. Buna ek olarak, örneğin sanayi veya uzak ısıtmadan atık ısı entegrasyon mümkündür.

Ülke çapında yeterli güneş ışınım koşulları vardır. Akdeniz kıyıları boyunca, güneş enerjisi ısısı için en yüksek potansiyel beklenebilir. Uygun kolektör teknolojisi, örneğin vakum tüplü kolektörler ile, zayıf güneş ışınlarında bile bu teknoloji kullanılabilir. Yoğun nüfuslu alanlarda, güneş enerjisi kolektör tarlası için arazi durumu kontrol edilmelidir.

500 kW'den büyük soğurmalı soğurma soğutma sistemleri kapılardan geçmez ve mevcut binalara sadece belirli koşullar altında monte edilebilir. Yaklaşık 35 °C'nin üstündeki çok yüksek dış hava sıcaklıklarında yeniden soğutma sadece yüksek enerji tüketimi ile gerçekleştirilebilir. Çok yüksek dış hava sıcaklıklarında, yer altı suları veya nehirler gibi ısı emicileri, soğutmaya yardımcı olur.

AVANTAJLI UYGULAMA ALANLARI

Soğurmalı soğutma sistemlerinin kullanımı için, yaklaşık olarak sabit bir taban yükü avantajlıdır. Bu, örneğin veri işlem merkezlerinin soğutulması için veya tıbbi laboratuvarlarda ortaya çıkabilir. Seminer salonlarında, otellerde veya mağazalarda da sürekli soğutma yükleri de mevcuttur. Yeniden soğutma için kuru dış hava avantajlıdır.

5.6 Örnek uygulamalar

5.6.1 Dessau Federal Çevre Dairesi

Dessau Federal Çevre kapalı çatı yüzeylerinde (inşa yılı 2005) - "yılan şeklindeki ofise" - ısı sağlayan vakum tüplü kolektörler entegre edildi. Güneş enerjisiyle soğutma konsepti, bir araştırma projesinin bir parçası olarak bir soğurmalı soğutma sistemi ve eşlik eden sistem optimizasyonu kurulumu ile 2011 yılında kapsamlı şekilde iyileştirilmiştir. Güneş enerjisinin termal veriminin bir kısmı, 9 °C akış sıcaklığına sahip bir soğutma şebekesinin çalışması için bir soğurmalı soğutma sisteminde kullanılır. Bir sunucu odası, bir konferans salonu ve bir kağıt deposu soğutuluyor.

Soğurmalı soğutma sisteminin yardımıyla, yaklaşık 100 gün boyunca tam yükte bir güneş enerjisi işletimi gerçekleştirilir ve bu süre zarfında 50 kW'a kadar soğuğa dönüştürme sağlanır. Gerekli maksimum 60 kW'lık ısı gücü, güneş enerjisi ısı sistemi üzerinden sağlanmaktadır. Güneş enerjisi yeterli değilse (ör. bulutlu havada), makineye yedek olarak bölgesel şebeke ısısı sağlanır. Sistem 7 °C dış sıcaklıktan itibaren çalışır ve altında serbest soğutma kulesi çalışır ve bu da sistemin verimliliğini daha da arttırır. Tesis 2011 yılından beri faaliyette.

Şekil 22 Dessau Federal Çevre Dairesinde güneş kolektörü alanı (© TU Berlin/FAkS).

5.6.2 Başka örnekler

- Deutsche Telekom AG, işletim konumu Rottweil, 680 kW soğutma kapasitesi
- Berufliche Schule Butzbach, Düşük enerjili binalar, 20 kW soğutma kapasitesi
- Friedrich Boysen GmbH & Co. KG, Altensteig, 150 kW soğutma kapasitesi

5.7 Değerlendirme matrisi

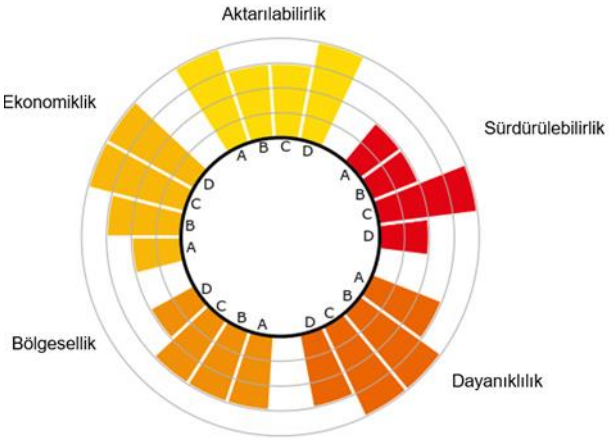
A	B	C	D
Sürdürülebilirlik			
CO_2 nötr özelliği (4/4)	Sera gazları (4/4)	Sistem bağımsızlığı (3/4)	Çevresel uyumluluk (3/4)
Dayanıklılık			
Şebekeye uyum (2/4)	Şebeke bağımsızlığı (3/4)	Besleme (1/4)	Sağlamlık (3/4)
Bölgesellik			
Zararlı madde azaltımı (4/4)	Kabul edilebilirlik (3/4)	Katma değer (3/4)	Üretim (4/4)
Ekonomiklik			
Bağımsızlık (2/4)	Geleceğe uyum (3/4)	Yatırım güvenliği (3/4)	Fayda değeri (3/4)
Aktarılabilirlik			
Piyasa olgunluğu (3/4)	Kullanılabilirlik (4/4)	İmalat (3/4)	Coğrafya (4/4)

Tablo 6 "Güneş enerjisiyle Soğutma" için değerlendirme matrisi

6 Profil: Jeotermal ısıtma ve soğutma

Jeotermal ısıtma ve soğutma, jeotermal ısıtma tesisleri ve soğurmalı soğutma sistemleri ile yapılmaktadır. Her ikisi de, kombine edildiğinde enerji sistemini sürdürülebilir şekilde iyileştirebilecek pazara hazır sistemlerdir. Yenilenebilir ısı kullanılır ve yerel veya bölgesel ısıtma şebekelerinde dağıtılır. Jeotermal enerji ek olarak elektrik üretiminde de kullanılabilir ve bu nedenle şebeke dostu olarak görülebilir. Isıtma santrallerinde ve enerji santrallerinde, mümkün olduğunca düşük CO_2 emisyonu olan ikili proseslerin kullanıldığı unutulmamalıdır.

Şekil 23 İzlanda Thingvellir'de Nesjavellir Jeotermal Enerji Santrali (©Wikimedia Commonsy/Gretar Ivarsson).



Şekil 24 "Jeotermal ısıtma ve soğutma" konsepti için genel değerlendirme.

6.1 Çalışma prensibi

Jeotermal soğutmanın temel bileşenleri, jeotermal ısıtma tesisi veya jeotermal ısı santrali ve soğurmalı soğutma sistemleridir. Isı topraktan çıkarılır, bir yerel ısıtma şebekesine dağıtılır ve bina soğutması ve/veya nem almak için soğukluk sağlamak amacıyla soğurma tesisinde tesisi kullanılır.

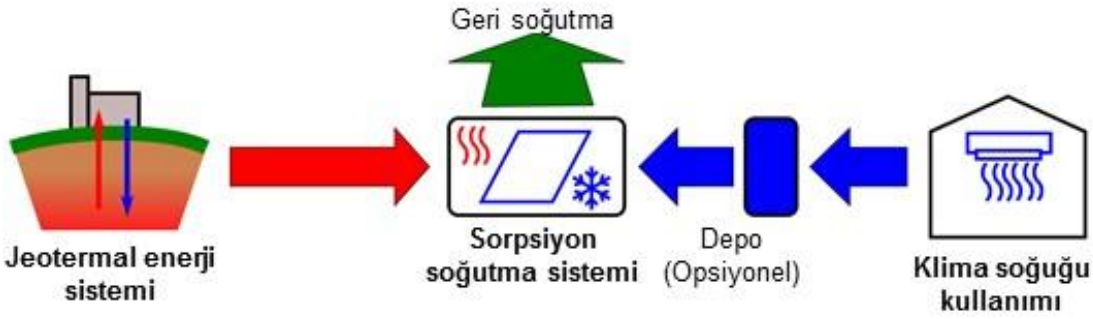
6.1.1 Jeotermi

Jeotermal tesisler topraktan gelen ısıyı kullanırlar. Isı, dünyanın iç yüzeyindeki radyonüklitlerin çürüme proseslerinden gelir ve sıvı yer çekirdeği ve toprak yoluyla yüzeye taşınır. Yaklaşık 400 m'ye kadar olan ve yıllık ortalama açık hava sıcaklığının hemen üzerinde sıcaklıklara sahip olan yakın yüzey jeotermal enerji ile önemli ölçüde daha yüksek sıcaklıklara sahip derin jeotermal enerji arasında bir ayrım yapılır. Ortalama olarak, dünyanın en üst katmanlarındaki sıcaklık değişimi 100 m'de 3 °C'dir, ancak bölgesel termal anomaliler oluşabilir. Bu bölgelerde çok sıcak sıvılar (magma, su, buhar) dünya yüzeyine ulaşabilir. Bunlar yer yer 100 °C'nin üzerinde sıcaklıklara da ulaşır. Bu Profil, daha büyük bir ölçekte kullanılabilir olan bu gibi "sıcak" jeotermal kaynakları konu edinir.

Uygun bir jeotermal prosesin seçimi için gerekli ısı miktarı, gerekli sıcaklık seviyesi ve yer altı kaya formasyonları esastır. Sıcak termal su rezervuarları veya kaynakları varsa, bunlar doğrudan alınabilir (hidrotermal yöntemler). Aksi takdirde, su veya ısı transfer sıvısı önce kayalar içine taşınmalıdır ve kaya kısmen çatlatılmalıdır (petrotermal yöntem). Sıcak sıvı, bir üretim sondajından çıkarılır ve bir enjeksiyon sondajı ile yeniden akifer veya kaya tabakası içine geri preslenir.

Düşük sıcaklıklar (80 °C'ye kadar) olduğunda, ısı doğrudan düşük sıcaklık ısısı olarak ısıtma (veya termal soğutma) için kullanılır. Taşınan termal suyun ısısı bir ısı aktarıcısı ile ısı şebekesine aktarılır. Daha yüksek sıcaklıklar varsa, ek olarak santral proseslerinde elektrik üretilebilir. Ortalama sıcaklıklarda organik çalışma maddelerine (**Organic Rankine Cycle - ORC**) veya madde karışımlarına (Kalina prosesi) sahip prosesler uygundur. Yüksek sıcaklıklarda tipik santral prosesleri (buhar türbinleri) kullanılabilir. Bu proseslerden kaynaklanan atık ısı, ek olarak ısıtma (ve soğutma) için bir ısıtma şebekesinde kullanılabilir.

Enerji santralinin türü CO_2 emisyonları için önemlidir. Elektrik üretmek için, buhar bir türbinden geçirilir. **Kuru buhar santrallerinde** buhar doğrudan türbin üzerindeki sondaj deliğinden akar, **flaş buhar santrallerinde** sıcak, basınçlı termal su rahatlatılır ve **ikili santrallerde** termal su sadece bir enerji santrali devresini ısıtmak için kullanılır ve daha sonra tekrar toprağa pompalanabilir. İlk iki tip enerji santrali uygulandığında, Türkiye koşullarında büyük miktarda CO_2 salınır. Zamanla ömürde azalma mevcut olmakla



Şekil 25 Jeotermal soğutma sırasında ana bileşenlerin ve enerji akışlarının basitleştirilmiş gösterimi. Jeotermal tesisinden gelen ısı, soğuk sağlamak için soğurmalı soğutma tesisinde kullanılır. Soğutulan yüzeyler, soğurmalı soğutma sistemine düşük sıcaklık seviyesinde ısı verir. Jeotermal ısıtmada ısı, şebeke üzerinden doğrudan binaya taşınır.

birlikte sadece marjinaldir (Layman, 2017). Sürdürülebilir bir etki elde etmek için konseptte mutlaka ikili santraller tercih edilmelidir.

6.1.2 Termal soğutma üretimi

Soğurmalı soğutma sistemleri, soğukluk sağlamak için merkezi tesislerde yerleşmiş teknoloji olarak ısı ile işletilmektedir (bkz. Profil "Güneş enerjisiyle soğutma"). Atık ısı, bir soğutma devresi ile çevreye salınır. **Kuru soğutma üniteleri**, **ıslak soğutma kuleleri** veya hibrit tasarımlar kullanılabilir.

DÜNYA ÇAPINDA JEOTERMAL BÖLGELER

Jeotermal aktif bölgeler çoğunlukla kıta plakalarının sınırlarında, yani volkanik olarak aktif alanlarda yer alır. Jeotermal enerji santrallerinin de kullandığı yüksek kaynak sıcaklıklarına sahip bölgeler Kaliforniya (ABD), Endonezya, İzlanda, Yeni Zelanda ve Türkiye'de bulunmaktadır. Almanya'da jeotermal santraller öncelikle Kuzey Almanya Havzası, Ren Çukuru ve Molasse Havzası'nda (Bavyera) ısıtma amacıyla işletilmektedir. Türkiye'nin ilk jeotermal enerji santrali 1983 yılında Kızıldere'de kuruldu. Anadolu'daki Türk enerji santralleri 230 °C'ye kadar sıcaklıkta işletilmektedir.

6.1.3 Diğer sistem bileşenleri

Prosesin verimliliği de transfer pompaları tarafından belirlenir. Bunlar, sondaja ek olarak, bunlar belirleyici maliyet faktörleri arasında yer alıyor. Dar sondaj çukurundaki termal suya sokulabilen ve yüksek sıcaklık ve basınçların yanı sıra tuz ve kireçli suyu da tolere edebilen özel pompalar gereklidir. Yatakların tasarımı sorun yaratıyor, çünkü suyun bileşimi nedeniyle bununla ilişkili tortular ve sürtünme ısısına maruz kalırlar. Bu yüzden pompa milinin aşınabilir veya motoru aşırı ısınabilir.

Isı üretim maliyetinin hesaplanmasında pompa için elektrik de eklenmelidir. Pompaların payı ısı çıkışının yaklaşık yüzde 2'sini oluşturuyor. İyi tasarlanmış tesislerde, bir enerji ünitesi elektrik ile yaklaşık 15 ila 20 enerji ünitesi soğutma üretilebilir.

Kısmen kimyasal olarak agresif termal su, pek çok durumda bir plakalı ısı aktarıcısı tarafından soğutulur ve ısı, ısıtma şebekesine aktarılır. Isı aktarıcıları korozyona dayanıklı malzemelerden (örneğin titanyum) imal edilmeli ve temizlik amacıyla kısmen yedekli olarak muhafaza edilmelidir.

6.1.4 İşletmeyle ilgili sınırlar

Termal suyun sıcaklık seviyesi ve bileşimi bazı bileşen-lerin kullanımını sınırlayabilir.

Çok özel bileşenler gerekiyorsa, ekonomik nedenler jeotermal kullanımı sınırlayabilir. Teknolojik olarak maksimum akış hacmi, sistemin maksimum gücünü sınırladığı için, başka bir çalışma limiti daha teşkil eder. Zorlu hava koşullarında (yüksek ısı gereksinimlerine sahip aşırı soğuk kış günleri) ilave tepe yükü kazanları gereklidir.

Taşınan suyun kimyasal özellikleri çekirdek bileşenleri üzerinde ömür azaltıcı bir etkiye sahip olabilir.

6.1.5 Alternatif Yöntemler

Derin jeotermal ısı üretimi için alternatif olarak ısı pompası prosesleri mevcuttur. Bunlar yüzeye yakın jeotermal enerjiyi kullanılabilir hâle getirebilir. Ancak bu durumda, soğutma için termal olarak çalıştırılan bir tesis kombinasyonu değil, aksine doğrudan elektrikle çalışan bir soğutma prosesi kullanılmalıdır. Jeotermal

enerji alternatifleri veya bunun tamamlayıcısı olarak yenilenebilir başka ısı kaynakları kullanılabilir. Örneğin, proses atık ısı veya güneş enerjisi ısısı söz konusudur.

Konsept olarak, PV sistemleri ve sıkıştırma soğutma sistemleri benzer şekilde kullanılabilir.

6.2 Sürdürülebilirlik

Jeotermal ısıtma ve soğutma hiçbir şekilde emisyonsuz değildir. Teknolojilere bağlı olarak, çok yüksek miktarda sera gazı emisyonları oluşabilir. Soğutma teknolojisi jeotermal ısı kullanır ve bu nedenle birincil ısı kaynağının emisyonlarına bağlıdır.

Araştırmalar, Türkiye'de jeotermal enerji üretiminin çok yüksek CO_2 emisyonlarına yol açtığını göstermektedir. En düşük spesifik emisyon 400 g/kWh, en yüksek 1.800 g/kWh olarak verilmiştir (Aksoy, 2015). Bu emisyon seviyeleri **linyit kömürüyle çalışan enerji santralleri** ile karşılaştırılabilir ve dünyanın en yüksek değerleri arasındadır. Bu nedenle bu proseslerden kaynaklanan jeotermal ısının emisyon değerleri de yüksek olarak derecelendirilebilir. Sera gazı emisyonları, taşıma sırasında sızan çözünmüş gazlardan (CO_2, metan) kaynaklanır. Taşınan suyun buharlaşmadığı ikili santral prosesleri seçilerek, prosesler prensipte daha düşük sera gazı emisyonları ile de çalıştırılabilir.

Termal soğurma tesislerinin işletimi için ikincil elektrik tüketimi, fosil elektrik üretiminde prosesin CO_2 emisyonlarının ana kaynağıdır. Bu nedenle devreye alma sırasında iyi düşünülmüş bir regülasyon konseptine ve özenli tesis bakımına dikkat edilmelidir. Soğurmalı sistemlerdeki soğutmada soğutucu madde olarak sıkça su kullanılır. Bu nedenle, soğutucu nedeniyle ek bir sera gazı potansiyeli yoktur. Tesis teknolojisinin neden olduğu başka çevresel etkiler (toprak, hava veya su üzerinde) yoktur.

6.3 Dayanıklılık

Sıcak bölgelerde yük tepe noktası ve böylece enerji santrali parkı boyutlandırması soğutma uygulamalarıyla birlikte belirlenir. Yenilenebilir ısı kullanılarak, güç şebekesi rahatlatılabilir. Jeotermal konseptlerinde elektrik atık ısı soğutmada kullanılır. Bu nedenle bu konsept, şebekeye uygun olarak kabul edilmelidir. Böylece jeotermal kaynağın kullanımı ısıtma sezonu dışında da mümkün kılınmakta ve yerel kaynakların kullanımını arttırmaktadır. Soğutma teknolojisinin düşük güç tüketimi nedeniyle, yük bağlantısı veya kapatması şeklinde bir dengeleme enerjisi sağlanamaz. Yenilenebilir olarak üretilen soğukluk, yerel soğutma şebekelerinde taşınabilir ve diğer teknolojiler ile birlikte yedekler artırabilir.

Soğurmalı soğutma sistemleri ve jeotermal sistemler sağlam teknolojilerdir. Soğurmalı soğutma sistemlerinin 50 yıla kadar ömrü vardır. Jeotermal santraller de olgunlaşmıştır ve birçok ülkede kullanılmaktadır.

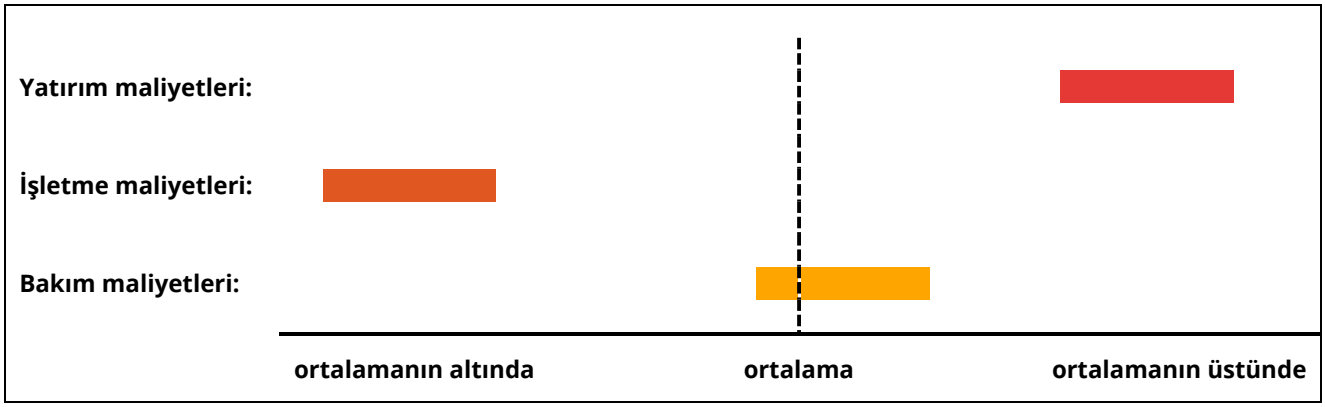
6.4 Ekonomiklik

Sıcaklık ve taşınabilen su miktarı jeotermal istihsalin ekonomik verimliliği için belirleyici kriterlerdir. Uygun bölgelerin araştırılması, bilinmeyen bölgelerin ıslahı durumunda yüksek bir finansal risk barındırabilir. Bu nedenle jeotermal ısıtma tesisleri, özellikle planlama aşamasında finansal desteğe tabidir.

Güneş enerjisiyle çalıştırılan soğurmalı soğutma sistemlerinin yatırım maliyetleri, "Güneş enerjisiyle soğutma" Profilinde belirtildiği gibi başka teknolojilere göre daha yüksektir; ancak işletme maliyetleri daha düşüktür.

İşletme maliyetleri, ısı maliyetine bağlıdır ve jeotermal bir kaynak olması durumunda ortadan kalkar. Cari işletme maliyetleri, regülasyon teknolojisi, pompalar ve yeniden soğutma için ikincil elektrik tüketimi için gerekli çabaya azalır.

Tesis teknolojisinin bakım ihtiyacı ortalama olarak tahmin edilmektedir. Ancak prensip olarak, daha karmaşık tüm teknolojilerde olduğu gibi, uzun vadeli verimli çalışma sağlamak için devreye alma aşamasında daha fazla izleme ve optimizasyon çabası planlanmalıdır. Teknoloji için bir dezavantaj, niş ürün soğurmalı soğutma sistemine bakım yapacak ve işletecek kalifiye uzman personelin bulunamamasıdır.



6.4.1 Almanya'da mevzuat, düzenleme ve teşvik araçları

Yenilenebilir enerji kaynakları tarafından sağlandığı takdirde, ısı şebekelerinin ve büyük ısı depolama sistemlerinin kurulması ve genişletilmesi, örneğin düşük faizli kredilerle teşvik edilebilir. Şebeke altyapısı KfW "Yenilenebilir Premium" programı kapsamında destekleniyor. Bu teşvik, diğer şeylerin yanı sıra konut transfer istasyonlarının kurulumu da dâhil olmak üzere bir ısıtma şebekesinin geliştirilmesini içerir.

Arama, sondaj ve enerji santralinin kurulması da elbette teşvik edilebilir, ancak yine de teşvik edenlerle doğrudan görüşülmelidir.

Soğutma teknolojisinin teşviki için bkz. Profil "Güneş enerjisiyle soğutma“.

ÜRETİCİLER

Almanya'da jeotermal santraller, Jena Geos Ingenieurbüro GmbH gibi uzmanlaşmış planlama ofisleri tarafından geliştirilir. Ayrıca sondaj için uzmanlaşmış şirketler gereklidir. Bu alanda, özellikle petrol ve gaz sektöründe de çalışan uluslararası şirketler faaliyet gösteriyor. Üreticilerle ilgili listeye Bundesverband Geothermie web sitesinde bulabilirsiniz:

www.geothermie.de/firmen

Soğutma teknolojisi için bkz. Profil "Güneş enerjisiyle

6.5 Aktarılabilirlik

Soğutma gereksinimi yüksek ve yüksek bir jeotermal ısı potansiyeli olduğu için ısı tahrikli soğurmalı soğutma teknolojisi için önkoşullar çok iyi olarak kabul edilir. Isıtma tesislerinin merkezi soğutma şebekeleri ile birlikte potansiyeli özellikle Türkiye'de yüksek olarak kabul edilmelidir. Merkezi ısıtma şebekesine bağlı soğurmalı sistemlerinin merkezi olmayan şekilde kullanımı da makul görülebilir. Alışveriş merkezleri ve veri merkezleri gibi büyük soğutma müşterileri uygundur.

6.6 Örnek uygulamalar

6.6.1 Unterföhring jeotermal santrali

Unterföhring jeotermal santrali 2008 yılında kurulmuş ve 2009 yılından bu yana Münih (Bavyera) bölgesindeki Unterföhring'deki bölgesel ısıtma şebekesine ısı sağlamaktadır. Sondaj hattı 87 °C'ye kadar sıcaklıklara ulaşır ve titanyum plakalı ısı eşanjörü ile bölgesel ısıtma şebekesine ısı veriyor. Yaklaşık 20 km'lik hat uzunluğuyla çok sayıda kamu ve ticari binalara ve 2.800 haneye ısı tedarik ediyor.

Sondaj hattı 2.124 m derinliğine ve 300 m³/h basma debisine ulaşıyor. İkincil kaynaklar olarak da bir kesintiyi aşabilecek iki tepe yük kazanı kuruludur. 2018'de kullanma kapasitesi yüzde 98'in üzerindeydi.

İnşaat başlamadan önce proje için yüzde 50 bağlantı değerleri hesaplanmış, ancak şimdi yüzde 70'in üzerinde bir bağlantı seviyesine ulaşmıştır. Yeni kurulan ısıtma şebekesi, işletmeci üzerinden sunulan fiber optik kablolarla donatılmıştır. Bu hizmet çok ilgi görmüş. Artan abone sayısı sayesinde ısı fiyatları düşürülebilmiştir.

Şebeke, tesis ve sondaj maliyeti yaklaşık 37 milyon Euro olmuştur.

Soğukluk sağlamak için çeşitli soğurmalı sistemler kullanılır. Tesislerin bazıları bölgelerde merkezi olmayan bir şekilde kullanılır (soğurma soğuğu).

Şekil 26 Unterföhring jeotermal santrali enerji merkezi (solda) ve 2008 yılında yinelenen sondaj (sağda) (© GeoVol).

6.6.2 Başka örnekler

Soğurmalı soğutma sistemleri ile jeotermal ısıtma tesislerinin başka kombinasyonları bilinmemektedir. İşletmeciler ısı tedarikçisi olarak hareket ediyor ve müşterilerinin soğurmalı soğutma sistemlerinin olası kullanımı hakkında herhangi bir bilgi vermiyor.

6.7 Değerlendirme matrisi

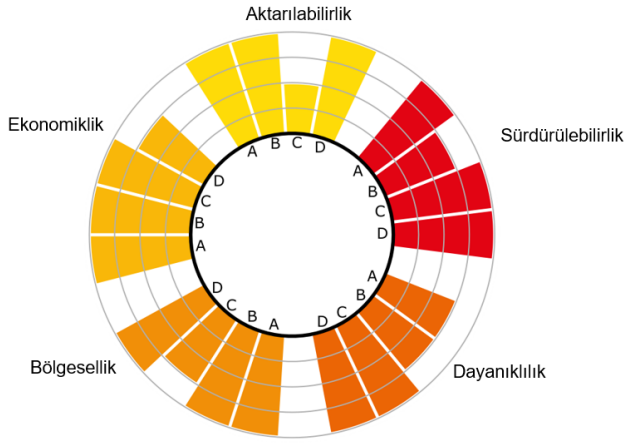
A	B	C	D
Sürdürülebilirlik			
CO_2 nötr özelliği (2/4)	Sera gazları (2/4)	Sistem bağımsızlığı (4/4)	Çevresel uyumluluk (2/4)
Dayanıklılık			
Şebekeye uyum (3/4)	Şebeke bağımsızlığı (4/4)	Besleme (4/4)	Sağlamlık (3/4)
Bölgesellik			
Zararlı madde azaltımı (3/4)	Kabul edilebilirlik (3/4)	Katma değer (3/4)	Üretim (2/4)
Ekonomiklik			
Bağımsızlık (2/4)	Geleceğe uyum (3/4)	Yatırım güvenliği (4/4)	Fayda değeri (4/4)
Aktarılabilirlik			
Piyasa olgunluğu (4/4)	Kullanılabilirlik (3/4)	İmalat (3/4)	Coğrafya (4/4)

Tablo 7 "Jeotermal ısıtma ve soğutma" için değerlendirme matrisi

7 Profil: Güneş enerjisiyle soğutma

Sıkıştırma soğutma sistemleri teknik olarak gelişmiştir ve soğutma için sağlam teknoloji olarak sınıflandırılabilir. Dünya çapında soğutma için hızla artan enerji talebi ve böylece güç şebekesi için artan talepler nedeniyle, uygun kaynaklar gereklidir. Teknoloji olarak PV'yi kullanmak uygun bir seçenektir. Bu kombinasyon, elektrik üretimi ve soğutma yükleri arasında yüksek bir eşzamanlılık sağlar. Bu konsept isteğe bağlı bir buz depolama sistemi aracılığıyla şebeke uyumlu yapılabilir.

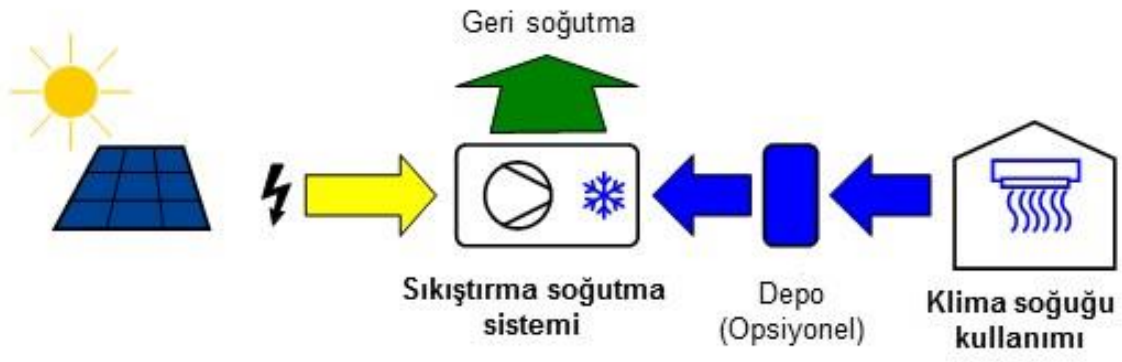
Şekil 27 Fotovoltaik sistemi ve bir çatıda soğutma için split modül (© Shutterstock/Mariusz Niedzwiedzki).



Şekil 28 "Güneş enerjisiyle soğutma" konsepti genel değerlendirmesi.

7.1 Çalışma prensibi

Elektrik, PV sistemlerinde üretilir ve sıkıştırma soğutma sistemlerinde soğutma için kullanılabilir. Ancak, birçok durumda, sistem teknolojisi araya bağlı elektrik şebekesi nedeniyle ayrılır. Ancak, kendi kendine yeterli klima soğutma sistemi olarak, PV sistemleri ve sıkıştırma soğutma sistemleri de doğrudan bağlanabilir.



Şekil 29 Güneş enerjisiyle soğutmada ana bileşenler ve enerji akışlarının basitleştirilmiş gösterimi.

7.1.1 Sıkıştırma soğutma sistemi

Sıkıştırma soğutma sistemleri ile soğutma bir termodinamik devre prosesi ile gerçekleştirilir. Proses, ısı pompası prosesi ile termodinamik olarak aynıdır. Bir çalışma maddesi (soğutucu), soğutulacak maddenin enerjisini düşük basınç seviyesinde emer. Enerji beslemesi sayesinde çalışma maddesi buharlaştırılır. Soğutucunun buharlaşması için ısıyı enerji şeklinde aktaran maddenin soğutulması, elde edilen soğuk sonucuna (faydasına) denk gelir. Buharlaşan soğutucu bir kompresör ile sıkıştırılır. Bu amaçla kullanılan elektrik, enerjidir ve örneğin, bir PV sistemi tarafından sağlanabilir. Soğutucunun buharlaşması ve sıkıştırması sırasında emilen ısı yeniden sistemden uzaklaştırılmalıdır. Bu, kondansatör ve enerjiyi çevreye aktaran bir soğutma cihazı ile yapılır.

Sıkıştırma soğutma sistemleri, genellikle merkezi olarak entegre edilir ve bir soğuk su şebekesi üzerinden komple binalara veya mahallelere soğutma sağlayabilir. Odalarda, odadaki ısıyı emen ve soğutma devresine aktaran devridaim soğutucuları veya soğutma tavanları monte edilir. Tek tek odaların soğutulabilmesi için genellikle iki bölümden oluşan split cihazı kullanılır. İç kısmında, oda havası emilir ve soğutulur. Bu, buharlaştırıcıdır. Buharlaşan soğutucu madde boru hatları aracılığıyla odanın dışına monte edilmiş kompresöre girer ve bu nedenle oda içinde herhangi bir gürültüye neden olmaz. Split cihazlar, genellikle merkezi sistemlerden daha basit yapıdadır ve bu nedenle daha düşük verimlidir. Daha yüksek kapasiteler için pistonlu, turbo veya vidalı kompresörler kullanılır. Bu durum, kullanım amacına göre değişir. Kompresör tipine göre ses emisyonları ve titreşim oluşabilir.

7.1.2 Fotovoltaik (PV)

PV, güneş ışığının doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Yarı iletken malzemeler ince hücreler halinde üst üste katmanlanır ve modüller halinde birleştirilir. Uygulamada yeni PV modüllerinin verimliliği, hücre tiplerinde farklılıklar olmakla birlikte şu anda yaklaşık yüzde 18'dir. Hücrelerin verimliliği, diğer şeylerin yanı sıra, sıcaklığa bağlıdır ve yaklaşık 30 °C santigrat derece belirgin şekilde azalır.

Şekil 30 Proses teknolojisine dair uygulamada sıkıştırma soğutma sistemi (yukarıda) ve split cihazlar (aşağıda) (©Shutterstock).

PV potansiyeli normalde yılda metrekare başına kilovat saat cinsinden ifade edilir (kWh/m^2 a). Türkiye'de 1.400 ile 2.000 kWh/m^2 a arasındayken Almanya'da yaklaşık 1.000 kWh/m^2 a'dır (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2013). Bir yüzey üzerine düşen yatay ışınlar yıl içinde ve gün boyunca değişir, böylece güç sürekli olarak sağlanamaz.

HÜCRE TİPLERİ

Silisyum bazlı PV hücreleri monokristalin, polikristalin ve ince tabakalı solar hücreler şeklinde ayrılır. Monokristalin hücrelerin üretimi çok zahmetlidir, ancak polikristalin hücrelerden daha yüksek bir verimliliğe sahiptir. Monokristalin hücreler bütünsel siyah veya mavi rengindedir, polikristalin hücreleri ise açıkça fark edilebilen dokuları ile karakterizedir. İnce tabaka hücreleri kullanımda çok daha düşük bir verime sahiptir, ancak düşük ışık koşullarında ve yüksek sıcaklıklarda daha verimlidirler, çünkü difüz ışınları değerlendirebilirler. Ancak, perovskitler gibi baskıya uygun ince tabaka solar hücreler de geliştirme aşamasında bulunuyor, bunlar farklı dalga boyu aralıkları kullanan ve böylece verimi önemli ölçüde iyileştiren iki farklı katmanı birleştirerek laboratuvarda % 25'e kadar verimlilik sağlıyor. Ancak, stabilite ve kullanılan malzemelerle ilgili sorunlar vardır.

Ekonomik açıdan, yeterli yüzeylerde polikristalin hücreler kullanılmaktadır. Monokristalin hücreler ise sınırlı yüzeylerde avantajlıdır. İnce tabaka hücreleri ör. yüzey kaplamaları gibi özel teknik uygulamalarda kullanılır.

7.1.3 Diğer bileşenler

İnvertörler doğru akımı alternatif akıma dönüştürürler. PV hücreleri aracılığıyla güneş ışığından dönüştürülen elektrik enerjisi, doğru akım olarak mevcuttur. Bu nedenle, ya enerjiyi şebeke içine bir vermek ya da soğutma makinelerinde kullanmak için bir invertör kullanılmalıdır. Kendi kendine yeten sistemlerde, kompresörleri çalıştırmak için DC motorlar da kullanılabilir.

Prensip olarak, enerjiyi **akümülatörlerde** (şarj edilebilir piller) depolamak da mümkündür. Ancak, depolanan enerji miktarı başına maliyetler ve çevresel etkileri çok yüksektir. Bu nedenle akümülatörler, sadece ev elektriğinin kısa süreler için depolanması için uygun olup kapasite kaybı nedeniyle mevsimlik depolama olarak kullanılmamaktadır. Kendi kendine yeten şebekelerde, başlangıç enerjisini sağlamak için doğrudan bağlı kompresörler gerekli olabilir. Voltajları değiştirmek için transformatörler kullanılır. Tıpkı normal şarj cihazlarından bildiğimiz gibi. Bu sistemde akümülatörün şarj gerilimini ayarlamak ve akü deşarjı sırasında gerekli gerilimi sağlamak için kullanılırlar. Ama aynı zamanda **soğuk su depoları** veya **buz depoları** da kullanılabilir. Yüksek güneş ışınları olması halinde fazla soğukluk, depoya yükleyebilir, ışınlar zayıf veya soğukluk talebi çok yüksek olduğunda depo boşaltılabilir.

Depolar, sistemi verimli bir çalışma noktasında yönlendirmek ve teknolojinin yük yönetimi potansiyelini geliştirmek için gerekli bileşenlerdir.

7.1.4 İşletmeyle ilgili sınırlar

Sıkıştırma soğutma sistemlerinde soğutucunun sıvılaşma basıncı belirleyicidir. Yeniden soğutma için yüksek dış hava sıcaklıklarında, kompresör, soğutucuyu sıvılaştırılacağı bir basınç seviyesine sıkıştırmak için daha fazla çalışmalıdır. Bu işletme sınırları seçilen soğutma sistemine bağlıdır.

PV sistemleri için sıcaklık, sınırlayıcı faktördür ve burada çekirdek sıcaklığı belirleyicidir. PV hücre sıcaklığı konumlandırmaya (zemin ve hava akışı) bağlıdır. PV hücrelerinin verimliliği modül sıcaklığının artmasıyla azalır. Üreticiler, modüller için artık çalışmasının garanti edilemediği bir işletme sınırı belirtir. Bu genellikle yakl. 90 °C civarındadır.

Sıkıştırma soğutma sistemlerinde kullanılan kompresörler yüksek bir başlangıç akımı gerektirir. Ada sistemlerinde bunları kullanmak çok zordur.

7.1.5 Alternatif yöntemler

Ters dönüşümlü tuzlu su-su veya su-su ısı pompaları, yaz aylarında odaların aktif bir şekilde soğutulması mümkün olacak şekilde çalıştırılabilir. Isı kaynağı ve ısı emici değiştirilmek suretiyle dolaşım devresi uyarlanır. Bazı modeller, kompresörü açmadan serbest soğutma da sağlar. Bu, çok enerji tasarruflu bir soğutma sağlar. Bu durumda ısı emicinin sıcaklığının kaynağın sıcaklığından daha düşük olması önemlidir. Hava-su ısı pompaları bu seçenek için uygun değildir, çünkü dış hava sıcaklıkları genellikle çok yüksektir. Tuzlu su-su ısı pompaları, toprakta yeniden soğutma nedeniyle bunu termal olarak yeniden üretebilir. Konsept olarak değiştirilebilir bir alternatif, "Güneş enerjisiyle soğutma" Profilinde açıklandığı gibi güneş enerjisiyle veya PVT kollektörleri kullanılarak mümkün olan solar termal soğutmadır. Ancak, bu alternatifin daha yüksek bir yatırım ihtiyacı vardır.

7.2 Sürdürülebilirlik

Soğutma, örneğin güneye bakan, fakat iklimlendirilen odalarda enerji verimliliği önlemleri alınmamış ve pasif önlemler tüketilmemişse sorunlu olarak değerlendirilmelidir. Elektrikle soğutma talebi küresel olarak sürekli artmakta ve bu nedenle, özellikle refah seviyesi artmakta olan ülkelerde yaygınlaşmaya devam edecektir. Bu konsept ancak yenilenebilir elektrikle beslenirse CO_2 nötr olarak kabul edilebilir. Kullanılan soğutucuya bağlı olarak iklime zararlı sera gazlarının sızıntı riski vardır. Genişletilmiş Montreal Protokolü ve AB'de geçerli F-Gazları-Yönetmeliği çerçevesinde, piyasaya soğutucu sunma konusunda kotalarının

azaltılması amaçlanıyor ("2030 yılına kadar "aşamalı azaltma"). Bu sayede üreticiler, alternatif soğutucuya geçme konusunda zorlanmaktadır. Başka çevresel etkiler, PV hücrelerinin üretimi ve akümülatörlerin üretimi ve bertaraf edilmesinden kaynaklanabilir.

7.3 Dayanıklılık

PV ve sıkıştırma soğutma sistemleri gelişmiş teknolojilerdir ve çok sağlam olarak sınıflandırılır.

Şebekeye uygunluk değerlendirmesi uygulama alanına bağlıdır. Kısa süreli yük değişimleri, soğutma depoları veya soğutulmuş odaların termal ataleti sayesinde gerçekleştirilebilir. Regülasyon konseptine bağlı olarak, PV modüllerinin fazla elektrik enerjisini şebekeye beslemek mümkündür veya gereklidir.

7.4 Ekonomiklik

Sıkıştırma soğutma sistemleri çok yönlü olarak kullanılır ve ekonomik açıdan avantajlıdır. Hizmet fiyatı kilovat başına sadece birkaç 100 Euro'dur. Basit split cihazlar kısmen yapı marketlerinde mevcuttur. Cihazlar, sadece yenilenebilir PV sistemi dâhil edilebildiği takdirde yenilenebilir olarak kabul edilmelidir.

PV tesisleri, Almanya'da Yenilenebilir Enerjiler Yasası (EEG) kapsamında desteklenir. Almanya'daki tedarik koşullarında, küçük tesislerde 10 ct/kWh gibi yaklaşık elektrik üretim fiyatları elde edilebilir. Türkiye'de fiyat daha yüksek güneş ışınları nedeniyle 5 ct/kWh'e düşebilir. Doğrudan kullanım olmadığında kısmen bu maliyetlerin açıkça üstünde olan pazar fiyatının ödenmesi gerekir. Soğutma maliyetlerinde PV maliyetlerinin payı böylece 1 ila 3 ct/kWh soğukluk arasındadır ve bu da çok ucuz olarak kabul edilmelidir. Bu nedenle PV sistemlerinin birleştirilmesi teknolojik avantajdan daha çok ekonomik avantajlardan dolayı gerçekleştirilir.

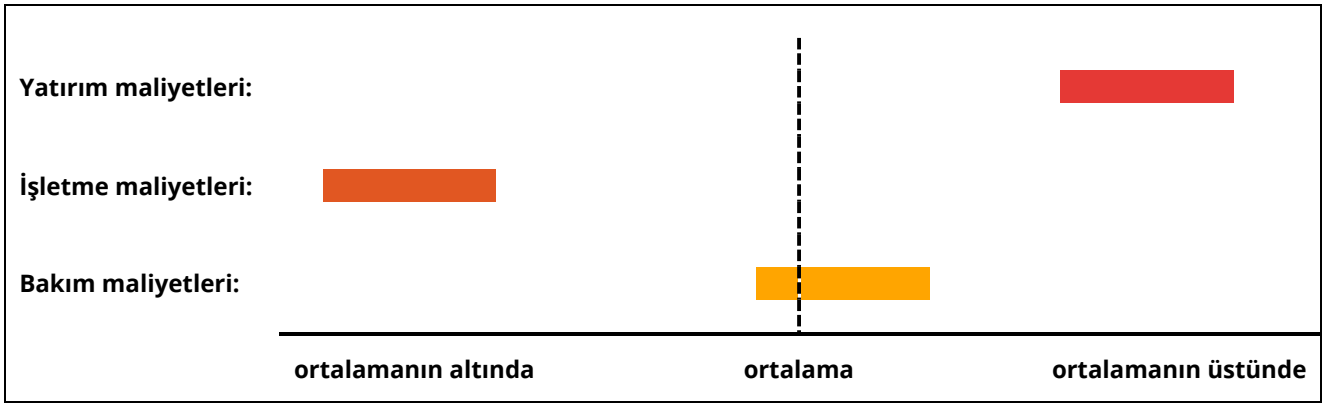
Elektrik ve termal depolama teknolojileri, Almanya düzeyinde ve kısmen eyaletler düzeyinde bir pazar teşvik aracı olarak teşvik edilmektedir. Buz depolarının entegrasyon konsepti, yere özel olarak gerçekleştirilmelidir. Soğutma uygulamaları için buz depoları önceden 70'li yıllarda Japonya'da test edildi ve şimdilerde pazara hazır niş teknoloji olarak kabul edilmektedir. Münferit teknolojilerin sağlamlığı nedeniyle, düşük işletme ve bakım maliyetleri olacağı tahmin edilmektedir.

PV ve kompresyon soğutmanın yatırım maliyetleri düşüktür. Ancak ortak bir kavram olarak, yatırım maliyetlerini artıran en azından depolama ve muhtemelen akümülatörler gereklidir. Konsept, güç üretimi ve şebekeye besleme için PV'nin ayrı kullanımı ve kendi ürettiği PV gücünün payı ile şebeke gücü ile sıkıştırma soğutması ile karşılaştırıldığında ekonomik değildir. Bu nedenle yatırım maliyetleri ortalamanın üzerinde olarak belirlenmektedir.

ELEKTRİK ÜRETİM MALİYETLERİ

Farklı birincil enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisini değerlendirmek için, dönüşüm yöntemleri elektrik üretim maliyetleri esas alınarak değerlendirilir. Bunlar genellikle kilovat saat başına Cent (ct/kWh) cinsinden ifade edilir.

2018 yılında PV elektriğin üretim maliyetleri 4 (açık alan) ila 12 (çatı) ct/kWh arasında değişmektedir. Maliyetler rüzgarlı 4 - 8 ct/kWh (karada) ve 8 - 14 ct/kWh (açık denizde) ve fosil birincil enerji kaynaklarının kullanımı (linyit, taş kömürü ve doğal gaz için 5 - 10 ct/kWh) civarındadır. Elektrik karışımı, enerji üretim maliyetlerinin yanı sıra ör. dönüştürme sistemlerinin reaksiyon süreleri gibi başka özelliklerle ilgili bir dizi elektrik santrali serisinden elde edilir.



7.4.1 Almanya'da mevzuat, düzenleme ve teşvik araçları

Yenilenebilir Enerji Destekleme Yasası, 2000 yılından bu yana Almanya'da yenilenebilir enerjilerin yaygınlaşması için bir çerçeve sağlamıştır. PV için destek, 20 yıl süreyle elektrik için sabit bir tedarik fiyatının garanti edilmesidir. Bu fiyat, teknolojideki gelişmeleri dikkate alacak şekilde düzenli olarak azaltılır. (Böylece elektrik, zaman içinde piyasada oluşan fiyatla fiyatlandırılacaktır.)

Soğutma ve klima sistemlerinin teşviki BAFA tarafından sağlanır. Yeni inşa edildikleri veya yeni kuruldukları veya sadece soğutma ünitesi yeni kurulduğu takdirde, halojenli olmayan soğutucularla çalıştırılan, ancak soğutucu sistemi (su, tuzlu su, hava dağıtım sistemi) değişmeyen sabit soğutma ve klima sistemleri teşvik edilir.

Yenilenebilir Enerji 'Standart' KfW programıyla, çatılarda, cephelerde veya açık alanlardaki PV sistemleri, aküler ve ısıtma/soğutma şebekeleri ve yenilenebilir enerjilerle çalışan ısı/soğutma depolama sistemleri için düşük faizli krediler sağlanmaktadır.

7.5 Aktarılabilirlik

Kullanılan teknolojiler aslında pazara hazır ve çeşitli üreticilerden temin edilebilir. PV'nin doğrudan kullanımına yönelik konseptleri özel olarak geliştirilmelidir. Buz depoları şu anda test edilmektedir (ayrıca bakınız "Buz deposu ve fotovoltaikli (PV) CO_2 sıkıştırma soğutma sistemi" örnek uygulaması). Gerekli diğer elektroteknik bileşenler mevcuttur. Bu konsept yeterli güneş ışınları olan bölgelerde uygulanabilir.

7.6 Örnek uygulamalar

7.6.1 Buz deposu ve fotovoltaikli (PV) CO_2 sıkıştırma soğutma sistemi

İsviçre'de süpermarket zinciri COOP gıdaları soğutmak için bir sıkıştırma soğutma sistemi kullanıyor. Soğutma sistemi, PV ile işletilmekte ve soğutucu olarak, ısı eşanjörleri içinde kayıpları azaltmak için doğrudan soğutma ünitelerinde buharlaştırılan (doğrudan genleşme) CO_2 kullanır. Buna ek olarak, bu yapı sayesinde ikincil bir soğutma devresi için pompalardan tasarruf edilir.

PV tarafından sağlanan elektrik enerjisinin, soğutma ihtiyacı içindeki payını artırmak için, PV ve sıkıştırma soğutma sistemi bir buz deposuyla desteklenmiştir. Yüksek güneş ışınları olması durumunda, gerekli olmayan soğukluk depolanabilir. Güneş enerjisi kazançları soğutma sisteminin performans gereksinimlerinin altına düşerse, bu buz depolar aracılığıyla azaltılabilir. Uygulama COOP tarafından Frigoconsulting işbirliği ile gerçekleştirilmiştir ve halen geliştirme aşamasındadır (12/2019 itibariyle).

7.6.2 Diğer örnekler

Berlin Adlershof'taki Fotonik ve Optik Merkezi'nde (ZPO) var olan bir soğutma şebekesi optimize ediliyor. Soğutma şebekesi, yaklaşık olarak 60 firmaya ve araştırma kurumuna klima ve proses soğuğu tedarik etmek için kullanılıyor. Buz deposu ve sıkıştırma soğutma sistemlerinden oluşan soğutma şebekesine, şebekeye uygun bir yük yönetim sistemi ilave ediliyor. Yüksek verimlilik elde etmek için, bir buz deposu yeniden etkinleştirildi. Gelecekte bir akiferin entegrasyonu test edilecek ve çatı yüzeylerine PV modülleri eklenmesi planlanıyor.

7.7 Değerlendirme matrisi

A	B	C	D
Sürdürülebilirlik			
CO_2 nötr özelliği (4/4)	Sera gazları (3/4)	Sistem bağımsızlığı (4/4)	Çevresel uyumluluk (4/4)
Dayanıklılık			
Şebekeye uyum (3/4)	Şebeke bağımsızlığı (3/4)	Besleme (4/4)	Sağlamlık (4/4)
Bölgesellik			
Zararlı madde azaltımı (4/4)	Kabul edilebilirlik (4/4)	Katma değer (3/4)	Üretim (4/4)
Ekonomiklik			
Bağımsızlık (4/4)	Geleceğe uyum (4/4)	Yatırım güvenliği (4/4)	Fayda değeri (3/4)
Aktarılabilirlik			
Piyasa olgunluğu (4/4)	Kullanılabilirlik (4/4)	İmalat (2/4)	Coğrafya (4/4)

Tablo 8 "Güneş enerjisiyle soğutma" için değerlendirme matrisi

Kaynakça

Aksoy, N. (2015). CO_2 emission from geothermal power plants in Turkey. World Geothermal Congress.

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (2017). Siedlungsprojekte und Quartierslösungen mit Wärmepumpen. Berlin: Bundesverband Wärmepumpe e. V.

Cudok, F., Ziegler, F., & Kononenko, N. (2013). Absorptionswärmetransformator und die Erweiterung als Absorptionswärmewandler. DKV-Tagung. Hannover.

Deutsche Energie-Agentur GmbH. (2013). Länderprofil Türkei: Informationen zur Nutzung und Förderung von erneuerbaren Energien für Unternehmen der deutschen EE-Branche. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH.

Gebhardt, M., Kohl, H., & Steinrötter, T. (2002). Preisatlas, Ableitung von Kostenfunktionen für Komponenten der rationellen Energienutzung. Institut für Energie und Umwelttechnik e. V. (IUTA).

Henning, H.-M., & Palzer, A. (2015). Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050. Freiburg: Fraunhofer ISE.

Icha, P. (2019). Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2018. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

IEA Data Services. (01. 02. 2020). Von https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/world-energy-balances-andstatistics erişildi

IEA Electricity Information 2019. (01. 02. 2020). Von https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/electricitystatistics erişildi

Layman, E. B. (2017). Geothermal Projects in Turkey: Extreme Greenhouse Gas Emission Rates Comparable to or Exceeding Those from Coal-Fired Plants. 2nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford: Stanford University.

Management, E. &. (2018). Größte Solarthermieanlagen für Fernwärme. Energie & Management, Jahresmagazin 2018, 29.

Miara, M., & Günther, D. (2019). Wärmepumpenfeldtest – Fokus Bestandsgebäude und smarter Betrieb. Freiburg: Fraunofer ISE.

Müller, M., Paatzsch, R., & Rölling, P. (2016). Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Quaschning, V. (2019). Regenerative Energiesysteme. München: Hanser Verlag.

Wirtschaftskammer Österreich. (24. Oktober 2019). Von WKO: https://wko.at/statistik/laenderprofile/lp-tuerkei.pdf erişildi

Sözlük

Terim	Tanım
Ağaç yongası	Ahşap yongası, parçalanmış ağaçtır ve biyokütle birincil enerji taşıyıcıların standart şeklidir. Parçaların büyüklüğüne bağlı olarak, ağaç yongaları kategorilere ayrılır. Bunlar biyokütle kazanlarında yakılmak için kullanılır.
Atık ısı	Bir proseste kullanılan veya yan ürün olarak üretilen ve düşük sıcaklık seviyesi nedeniyle daha fazla değerlendirilemeyen ve ortama verilen ısı akımı.
Biyokütle	Biyokütle organik kökenli maddelerdir, yani doğada yaşayan veya yetişen maddeler ve canlı ve ölü varlıklara ait atık maddeler.
Bölgesel	Enerji konseptleri anlamında bölgesel, bir yerleşim yeri veya bölgesi dâhilînde bakım, işletme ve regülasyon hakkında sahip var olan veya gerçekleştirilebilen bilgidir. Türkiye içinde yapılabildiği takdirde üretim bölgesel olarak kabul edilir.
Büyük ısı pompaları	Büyük ısı pompaları olarak genellikle 100 kW_{th} değerinden 1.000 kW_{th} değeri üstüne kadar güç aralığındaki ısı pompaları adlandırılır. Daha büyük ısı pompaları nadirdir, ancak 45 MW_{th}'ye kadar olan tesisler de üretilmiştir.
Çalışma maddesi	Bir enerjinin taşınması için ör. ısı pompaları ve soğutma sistemleri gibi devre proseslerinde kullanılan madde veya madde karışımı.
Çevre ısısı	Çevre ısısı, uygun bir çalışma maddesi ile çevreden alınabilen enerjidir. Binaya yakın çevre ısısı, örneğin, ortam havası veya jeotermal ısıdır, diğer çevre ısıları derin bir göl veya jeotermal enerji olabilir.
Dayanıklılık	Dayanıklılık, iç ve dış arızalara ve değişikliklere karşı direnç ve katlanmaktır. Enerji konseptlerindeki içsel değişiklikler, örneğin, bir üreticinin bir kural hatasına tepkisi veya yükte ani bir artış olabilir. Dış arızalar, örneğin, elektrik şebekesi özelliklerinde bir değişiklik nedeniyle (yüksek oranda yenilenebilir enerjiler nedeniyle yüksek dalgalanmalar) meydana gelebilir.
Devre prosesi	Termodinamikte devre prosesi, belirli bir fayda elde etmek için bir çalışma maddesinin mevcut büyüklüğünün çeşitli bileşenler aracılığıyla değiştirilmesi olarak adlandırılır. Açık (ör. gaz türbinleri) ve kapalı (ısı pompaları) devre prosesleri vardır.
Enerji konsepti	Enerji konsepti, ör. odaların ısıtılması veya soğutulması, içme suyunun ısıtılması veya nem alma gibi enerji hizmetleri sağlamak için uygun teknolojilerin birleştirilmesidir.
Fotovoltaik	Fotovoltaik, yarı iletken bir malzemede güneş ışığının elektrik enerjisine doğrudan dönüşümünü ifade eder.
Güneş enerjisi ısısı	Güneş enerjisi ısısı ile, güneş ışığının doğrudan ısıya dönüşümü anlaşılmaktadır. Konseptler ör. doğrudan sıcak su ısıtma, yoğunlaştırıcı güneş enerjisi ısısı veya vakum tüpleridir.
Isı kolektörü	Isı kolektörleri, bir ısı dönüştürme teknolojisine vermek için çevredeki enerjiyi emer. Isı kolektörleri hava, toprak, su veya güneş ışınları için kullanılabilir.

Terim	Tanım
Isı pompası	Bir ısı pompası, düşük sıcaklık düzeyindeki enerjiyi bir dâhilî devre aracılığıyla yüksek sıcaklık düzeyine getirmek için kullanır. Olası akış sıcaklıkları büyük ölçüde kullanılan çalışma maddesine bağlıdır.
Kompresör	Kompresörler bir çalışma maddesinin basıncını artırmak için kullanılır. Sıkıştırma soğutma sistemlerinin temel bileşenidir, bunların avantajları ve dezavantajları esas olarak kullanılan kompresör tarafından belirlenir.
Peletler	Peletler silindirik olarak preslenmiş biyokütlelerdir ve çapı bir santimetreden azdır. Biçimsel olarak çok homojen olduğu için genellikle daha küçük biyokütle kazanlarında kullanılırlar.
Şebeke bazlı	Tahrik enerjisinin büyük bir kısmının binaya yakın olmayan şekilde tedarik edildiğinde enerji konseptleri şebeke bazlıdır. Şebekeler, örneğin, elektrik şebekeleri ve yerel ve bölgesel ısıtma şebekeleridir.
Sıkıştırma soğutma	Sıkıştırma soğutma sistemleri ile sağlanan soğutma.
Sıkıştırma soğutma sistemleri	Sıkıştırma soğutma sistemleri, soğutma üretmek için bir soğutucu akışkanın buharlaşma işlemini kullanan soğutma sistemleridir, bu sayede soğutucu akışkan buharı mekanik bir sıkıştırma işlemine tabi tutulur
Absorbsiyon (soğurma) veya adsorbsiyon (tutunma) soğukluğu	Soğurma veya adsorbsiyon (tutunma) soğutma işlemleri ile sağlanan soğutma.
Soğurmalı (absorbsiyonlu) ve adsorbsiyonlu soğutma sistemleri	Soğurmalı soğutma sistemleri, soğutma için bir soğutucu akışkanın buharlaşma işlemini kullanan ve bir soğutucu akışkanın katı veya sıvı çalışma ortamında çözünürlüğünün sıcaklık bağımlılığını kullanan ısı tahrikli soğutma sistemleridir.
Sürdürülebilirlik	Sürdürülebilirlik, genel olarak kaynakların belirli bir amaç için belirli bir süre boyunca makul miktarda tüketilmesine dayalı bir ilkedir. Bu araştırmada sürdürülebilirlik, enerji konseptlerinde kullanılan teknolojilerin emisyonlarının yanı sıra bir konseptin gelecekte de yararlı olmaya devam etme olasılığını ifade etmektedir.
Teknoloji	Teknoloji terimi bu dosyada, teknik bileşenler veya teknik sistemler şeklinde uygulanan enerji dönüşümü bilgisini tanımlıyor. Teknolojilere örnek olarak, güneş ışınlarını ısıtma maddelerine ileten güneş enerjisi sistemleri veya soğuk su sağlamak için sıcak su akışını kullanan soğurmalı soğutma sistemleri verilebilir.
Yapıya entegre	Gerekli enerji hizmetleri, yakında bulunan çevresel kaynaklar kullanılarak bina içinde sağlanır.

www.bmwi.de