

PLASTİK ENDÜSTRİSİNDE SOĞUTMA SİSTEMLERİ ve UYGULAMALARI



FRITERM®

TERMİK CİHAZLAR SANAYİ VE TİCARET A.Ş.

PLASTİK ENDÜSTRİSİNDE SOĞUTMA SİSTEMLERİ VE UYGULAMALARI

FRİTERM A.Ş. TEKNİK YAYINI

NO: 001

1.Baskı, Haziran 2009, İstanbul (2.500 Adet)

2.Baskı, Nisan 2011, İstanbul (2.500 Adet)

ISBN: 978-605-89090-0-7

Friterm Termik Cihazlar San. ve Tic. A.Ş. tarafından yayınlanan "Plastik Endüstrisinde Soğutma Sistemleri ve Uygulamaları" kitabı, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunun, Fikir ve Sanat Eserlerinin Kayıt ve Tescili Hakkında Yönetmeliği uyarınca kayıt ve tescil edilmiştir (Kayıt ve Tescil No - Tarih: İEE/528 - 23.07.2009). Referans gösterilmesi ve kaynak verilmesi koşulu ile alıntı yapılabilir.

Copyright © 2009, Friterm Termik Cihazlar San. ve Tic. A.Ş.

Adres ve İletişim:

Friterm Termik Cihazlar San. ve Tic. A.Ş.

Deri Organize Sanayi Bölgesi 18.Yol 34957 Tuzla, İstanbul-Türkiye

Telefon: 0 216 394 12 82 (5 Hat)

Faks: 0 216 394 12 87

E-posta: info@friterm.com

Web: www.friterm.com

ÖNSÖZ

“Plastik Endüstrisinde Soğutma Sistemleri ve Uygulamaları” başlığıyla yayınladığımız bu kitap plastik endüstrisinde kullanılan soğutma sistemleri ve uygulamaları hakkında bu kapsamda bir ilk yayın olma özelliğine sahiptir. Amacımız plastik sektörü içerisinde faaliyette bulunan mühendislerin, işletme sahiplerinin, yatırımcıların, konu ile ilişkili olabilecek tüm profesyonellerin, akademisyenlerin ve öğrencilerin eksikliğini duydukları bir bilgiyi sunmaktır. Kitabımızın birinci baskısı büyük ilgi görmüş ve Eylül 2009 tarihinden bugüne kadar aldığımız geri dönüşler kitabın yayınlanma amacına ulaştığını göstermiş, benzeri çalışmalar yapma konusunda bizleri cesaretlendirmiştir.

Kullanılan soğutma sistemlerinin birbirleri karşısında avantajlarının ve dezavantajlarının anlaşılması; enerji verimliliği yüksek uygulamaların öneminin kavranması; soğutma ünitelerinin malzeme, performans ve konstrüktif özelliklerinin bilinmesi ve düşük ömürlü, arıza riski görece olarak yüksek uygulamalardan kaçınılması oldukça büyük önem taşımaktadır.

“Plastik Endüstrisinde Soğutma Sistemleri ve Uygulamaları” kitabı temelde üç bölümden oluşmaktadır:

Birinci bölümde, plastiklerin özellikleri, plastik malzemelerin hayatımızdaki yeri, plastiklerin şekillendirilmesi ve enjeksiyonu hakkında genel bilgiler aktararak plastik endüstrisinde soğutma uygulamaları konusuna girilmiştir.

İkinci bölümde, plastik sektöründe kalıp ve yağ soğutmada kullanılan temel sistemler olan, Su Soğutma Kuleleri, Chillerler (Soğuk Su Üretici Cihazlar), Chiller ve Entegre Doğal Soğutma Bataryalı Sistemler (Free Cooling Chillerler) ve Kuru ve Islak Kuru Soğutucular hakkında detaylı ve karşılaştırmalı bilgiler verilmektedir.

Kazandırdığı verim artışı ile işletme maliyetlerini düşüren doğal soğutma (free cooling) sistemleri ikinci bölümde genişçe yer almaktadır. Doğal soğutma sistemlerinin geniş bir biçimde ele alınmasının nedeni, enerji verimliliğinin artırılmasının günümüzde en temel küresel konulardan bir tanesi olmasıdır. Hepimizin bildiği ve tanık olduğu üzere, enerji verimliliğinin artırılması için doğal kaynakların kullanımı her geçen gün yaygınlaşmakta; bu amaca hizmet eden yeni teknolojilerin ve ürünlerin geliştirilmesinin önemi daha da fazla hissedilmektedir. Enerji verimliliği yüksek ürünlerin kullanımının yaygınlaştırması ile birlikte işletmelerimizde verimlilik artacak ve ülke olarak rekabet gücümüz yükselecektir. Bu sistemlerin aynı zamanda çevreci sistemler olduğu da akıldan çıkartılmamalıdır.

Soğutma sistemleri bilgilerinin yanı sıra, doğal soğutma sistem elemanı olan Kuru soğutucu ünitelerin malzeme, performans ve konstrüktif özellikleri hakkında detaylı bilgiler de yine ikinci bölümde ele alınmaktadır.

Üçüncü ve son bölümde, kalıp ve yağ soğutma amaçlı yapılmış farklı uygulama örnekleri, teknik ve maliyet yönleri ile detaylıca aktararak konunun daha fazla anlaşılması hedeflenmektedir.

Birinci basımı Eylül 2009, ikinci basımı Nisan 2011 tarihinde yapılan **“Plastik Endüstrisinde Soğutma Sistemleri ve Uygulamaları”** kitabının plastik sektörü içerisindeki meslektaşlarımıza ve sektöre faydalı olacağı inancımız ile...



Naci ŞAHİN
Friterm A.Ş Genel Müdürü
01.04.2011, İstanbul

İÇİNDEKİLER

Sayfa no.

BÖLÜM 1

1. Plastik Endüstrisinde Soğutma Sistemleri ve Uygulamaları	6
1.1 Giriş	6
1.2 Plastikler Hakkında Genel Bilgi	6
1.3 Plastiklerin Hayatımızdaki Yeri	10
1.4 Plastiklerin Şekillendirilmesi	10
1.4.1 Plastik Enjeksiyon Makinesi Üretim Aşamaları	12
1.4.2 Plastik Enjeksiyonda Kalıp Şartlandırma	13
1.4.3 Örnek Bir İmalat	14

BÖLÜM 2

2. Plastik Sektöründe Kalıp ve Yağ Soğutma Sistemleri	18
2.1 Kalıp Soğutma	18
2.1.1 Kalıp Soğutmada Kapasite ve Debi Hesabı	20
2.2 Hidrolik Yağ Soğutma	22
2.2.1 Hidrolik Yağ Soğutma Metodları	23
2.2.1.1 Depo Yüzeyinden Olan Isı Geçişi	24
2.2.1.2 Sistemden Isı Üretimi	26
2.2.1.3 Örnek Tasarım	28
2.2.2 Kirlilik Kontrolü	34
2.2.3 Verimlilik	34
2.3 Kalıp ve Yağ Soğutma Sistemleri	34
2.3.1 Su Soğutma Kuleleri	35
2.3.1.1 Açık Devre Su Soğutma Kuleleri	35
2.3.1.2 Kapalı Devre Su Soğutma Kuleleri	36
2.3.2 Chillerler (Soğuk Su Üretici Cihazlar)	37
2.3.2.1 Su Soğutmalı Chiller Grubu	37
2.3.2.2 Hava Soğutmalı Chiller Grubu	38
2.3.3 Chiller ve Entegre Doğal Soğutma Bataryalı Sistemler (Free Cooling Chillerler)	38
2.3.4 Kuru ve Islak-Kuru Soğutucular	42
2.3.4.1 Kuru Soğutucular	42
2.3.4.2 Islak-Kuru Soğutucular	42
2.3.4.2.1 Doğrudan Su Spreyleme Sistemli Islak-Kuru Soğutucular	44
2.3.4.2.2 Sisleme (Fogging) Sistemli Islak-Kuru Soğutucular	45
2.3.4.2.3 Ağ üzeri Su Spreyleme Sistemli Islak-Kuru Soğutucular	45
2.3.4.2.4 Evaporatif Ön soğutuculu Kuru Soğutucular	47
2.3.4.2.5 Hibrid Kuru Soğutucular	48

2.3.4.3 Kuru ve Islak Soğutucuların Tasarım ve Performans Kriterleri	49
2.3.4.3.1 Temel Tasarım Verileri	49
2.3.4.3.2 Akışkan Özellikleri	49
2.3.4.3.3 Kuru Soğutucularda Standart Kapasite ve Enerji Sınıflandırması	51
2.3.4.4 Kuru ve Islak-Kuru Soğutucuların Malzeme ve Konstrüksiyon Özellikleri	52
BÖLÜM 3	
3. Plastik Sektöründe Kalıp ve Yağ Soğutma Uygulamaları	60
3.1 Uygulama örneği - 1: Kuru Soğutucu ve Hava Soğutmalı Chiller Grubunun Birlikte Çalışması ile Doğal Soğutma Verimliliğinin İncelenmesi	60
3.2 Uygulama örneği - 2: Entegre Doğal Soğutma Bataryalı Su Soğutma Grubu Uygulaması	69
3.3 Uygulama örneği - 3: Endüstriyel Proses Soğutma İçin Kuru Soğutucu Uygulaması	73
3.4 Uygulama örneği - 4: Endüstriyel Proses Soğutma İçin Kuru Soğutucu Uygulaması	75
3.5 Uygulama örneği - 5: Plastik Sektöründe Yağ Soğutma Sistemlerinde Kullanılan Soğutma Uygulamaların Karşılaştırılması	76
4. Sonuç	78
Kaynakça	79

Bölüm 1

...Birinci bölümde, plastiklerin özellikleri, plastik malzemelerin hayatımızdaki yeri, plastiklerin şekillendirilmesi ve enjeksiyonu hakkında genel bilgiler aktarılarak plastik endüstrisinde soğutma uygulamaları konusuna giriş yapılmaktadır.

BÖLÜM 1

1. PLASTİK ENDÜSTRİSİNDE SOĞUTMA SİSTEMLERİ VE UYGULAMALARI

1.1 GİRİŞ

Plastik endüstrisi, soğutma uygulamalarına en fazla ihtiyaç duyulan sektörlerden biridir. Bu nedenle soğutma uygulamalarında kullanılacak yöntemin bilinçli seçilmesi gerekir.

İmalatta kullanılan kalıpların soğutulması, özellikle ürün kalitesi açısından önemlidir. Plastiğin cinsine göre kalıpların belirli sıcaklık değerleri arasında tutulması gereklidir. Gerektiği gibi soğutulamayan kalıplarda imal edilen ürünlerde yüzey pürüzlülüğü yüksektir ve renk değişimi görülebilir. Ayrıca, yeterli soğutmanın yapılamaması sonucu kalıpların açılıp kapanma süreleri uzar ve üretim kapasitesi düşer. Makinelerin düzgün ve verimli çalışabilmesi için, kullanılan yağın da uygun şekilde soğutulmasına ihtiyaç vardır. Aksi takdirde performans düşer ve aşınmalar artar. Bu durumda enerji kaybının artmasının yanı sıra, makine ömrü de kısalmaktadır. Yağ soğutma işleminin doğru şekilde yapılması durumunda bu sorunlar önlenecektir.

Proses soğutma uygulamalarında enerji verimliliği giderek daha da ön plana çıkmaktadır. Tesislerde enerji tüketiminin büyük kısmını yaratan soğutma sistemlerinin dizaynları bu durumdan etkilenmekte, doğal kaynakların verimliliği artırma amaçlı kullanımı için alternatif sistemlere yönelim artmakta, daha az enerji tüketimi yaratan sistemler geliştirilmeye devam etmektedir. Plastik endüstrisinde soğutma uygulamalarında doğal soğutma (free cooling) sistemi enerji tasarrufunda oldukça önemli işlev görmektedir [1].

Bu çalışmada plastik endüstrisinde kullanılan soğutma sistemleri hakkında detaylı ve karşılaştırmalı bilgiler verilecek, farklı uygulama örnekleri aktarılacaktır. Soğutma sistemleri ve uygulamaları bilgilerinin yanı sıra doğal soğutma ekipmanlarından olan kuru soğutucu ünitelerinin malzeme, performans ve konstrüktif özellikleri hakkında da bilgi verilecektir.

1.2 PLASTİKLER HAKKINDA GENEL BİLGİ

Plastik sözcüğü köken olarak “şekil verme/biçimlendirme” anlamındaki Yunanca “*plastikos*” sözcüğünden gelmektedir [2]. Plastik, karbonun (C) hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve diğer organik ya da inorganik elementler ile oluşturduğu monomer adı verilen, basit yapıdaki moleküllü gruplardaki bağın koparılarak, polimer adı verilen uzun ve zincirli bir yapıya dönüştürülmesi ile elde edilen malzemelere verilen isimdir. Örneğin, Etilen bir monomerdur. Bu monomerden oluşturulan polietilen ise polimerdir. En çok kullanılan plastiklerin başında gelir [3].

Plastiklerin büyük bölümünün en önemli özelliği, ısıtıldıklarında erimeden yumuşamaları ve yumuşak haldeyken mekanik yollarla kolayca biçimlendirilebilmeleri, soğutulduklarında ise yeniden sertleşmeleridir. Bu özellik polimerlerin ısı altında gevşeyerek ayrılan, soğuduklarında ise tekrar iç içe geçen uzun molekül zincirleri yapısından kaynaklanır [2].

Tanımdan anlaşılacağı üzere plastikler doğada hazır bulunmaz. Monomerlerin belli bir sıcaklık ve basınç altında katalizör kullanılarak reaksiyona sokulması ile olur. Plastik ilk üretildiğinde toz, reçine veya granül halde olabilir [3]. Kömür ve selüloz gibi doğal kaynaklardan da plastik üretilmekle birlikte, en önemli plastik hammadde kaynağı petroldür [2]. Plastikler petrol rafinerilerinde kullanılan ham petrolün işlenmesi sonucu arta kalan malzemelerden elde edilir. Yapılan araştırmalara göre yeryüzündeki petrolün % 4'lük bir kısmı plastik üretimi için kullanılmaktadır [3].

Plastik maddeler, **ısıl sertleşirler (termoset)** ve **ısıl yumuşarlar (termoplastik)** olmak üzere başlıca iki sınıfa ayrılır:

1. Isıl sertleşir (termoset) reçineler ısıtıldıklarında çözünmez ve erimez. Fenolik reçineler, furan reçineleri, aminoplastlar, alkitler ve doymamış asit polyesterleri, epoksi reçineler, poliüretanlar ve silikonlar ısıl sertleşir reçine türleridir.

2. Isıl yumuşarlar (termoplastik) reçineler ise, ısıl sertleşir reçinelerin tersine, birçok kez eritilip sertleştirilebilir. Selüloz türevleri, katılma polimerleri (Polyetilen, polipropilen, vinil akrilikler, flüorokarbon reçineleri ve polistirenler gibi) ve yoğunlaşma polimerleri de (naylonlar, Polyetilen tereftalat, polikarbonatlar ve poliamitler gibi) ısıl yumuşar reçinelerdir. Münferit türleri birbirleri ile karıştırılmazlarsa, termoplastlar yeniden kazanım için mükemmel uygunluktadırlar [2].



Şekil 1.a / 1.b Termoplastik ve Termoset Malzeme Yapısı [4]

Termoplastik malzemelerde moleküller uzun, ipliğimsi, birbirleriyle birleşmemiş moleküllerdir. Termoplastikler kolayca eğilirler, kaymaya direnç göstermezler.

Yaygın olarak kullanılan plastik türleri şunlardır [3]:

- Polietilen (Polyethylene) (PE): Geniş bir kullanım alanı vardır.
- Polipropilen (Polypropylene) (PP): Yaygın kullanılan plastiklerdendir. Otomobil yan sanayinde, bahçe mobilyalarında vb. yerlerde kullanılır.
- Polistiren (Polystyrene) (PS): Paketleme, elektronik ve beyaz eşyaların plastik kısımları vb. kullanım alanları vardır.
- Polyamid (Polyamide) (PA) (Naylon): Fiber, diş fırçası kılları, misina vb. kullanım alanları vardır.
- Polyester (Polyester): Tekstilde kullanımı yaygındır.
- Polivinil klorid (Polyvinyl chloride) (PVC): Boru, profil vb. imalatında kullanılır.
- Polikarbonat (Polycarbonate) (PC): Su damacanası, CD, gözlük vb. imalatında kullanılır. Alevi iletmemeye ve kendini söndürme özelliğine sahiptir.
- Akrilonitril bütadien stiren (Acrylonitrile butadiene styrene) (ABS): Elektronik aletlerin plastik aksamında yaygın olarak kullanılır.
- Poliviniliden klorid (Polyvinylidene chloride) (PVDC) (Saran): Yiyecek paketlemede kullanılır.
- Polietilen tereftalat (Polyethylene terephthalate) (PET): Pet şişe ismi bu malzemeden gelmektedir.

Özel amaçlı plastikler [3]:

- Politetrafloroetilen (Polytetrafluoroethylene) (PTFE) (Teflon): Isı rezistansı, pişirme tavaları vb. yerlerde kullanılır.
- Poliüretan (Polyurethane): Yalıtım köpüğü olarak kullanılır.
- Bakalit (Bakelite)
- Polilaktik asit (Polylactic acid)

Tablo 1. PLASTİK MALZEMELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ TABLOSU

Türü	Plastik Çeşidi	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Özgül Isı (J/kg K)	Taba Renk	Berraklık	Daimi Isıya Dayanım °C	Yumuşama °C	Erime °C	Yanma	Isı İlet. (0) W/mK	Isı Genl.(a) 10t cm/cm °C
Termoplastikler	Nitroselüloz	1,35 1,40	-	Renksiz	Saydam	60	70 90	90		-0,3	10,1
	PVC yumuşak- ser	1,24 1,38	900	Renksiz	Saydam	60 80	155 170	212	Az	0,17	7 20
	Poliakrilat	1,18	-	Renksiz	Saydam	75	60 116	-	Yanıcı	0,18	8
	Polistiren	1,05	1300	Renksiz	Saydam	150	78	240	Yanıcı Değil	0,21	9
	Poliamid	1,07 1,14	1400	Süt Beyaz	Bulanık	80 100	-	210 255	Yanıcı	0,23	9 11
	Polietilen Tereftalat	1,37 1,45	1000	Açık	Yarı Saydam	150 175	-	260	Yanıcı	0,24	7
	Naylon	1,12 1,05	1700	Süt Beyaz	Opak	125 250	200 186	190 350	Yanıcı	0,29	8 15
	Polipropilen	0,9	1680-2100	Süt Beyaz	Opak	70	100 150	160 170	Yanıcı	0,17	10 11
	Polietilen	0,92	2100	Süt Beyaz	Yarı Saydam	80 60	125 105	125 105	Yanıcı	0,35	12 24
	Poliüretan	1,21	2200	Süt Beyaz	Bulanık	80	100 150	150 185	Yanıcı	0,32	11 21
	Teflon	2,13 2,23	1000	Süt Beyaz	Saydam Opak	260	-	327	Yanıcı Değil	0,29	8 12
	ABS	1,1 1,0	1500	Renksiz	Saydam	95 105	85 95	130	Kolay Yanar	0,45 0,23	6 13
	Fenolik	1,40 1,80	-	Kahve	Opak	100 150	Karbonlaşır	-	Kendi Söner	0,29 0,76	1,5 5
	Üre	1,45 1,52	-	Açık	Opak Yarı Saydam	60 80	Karbonlaşır	-	Kendi Söner	0,3	4 5
	Melamin	1,45 2,00	-	Açık	Opak	120 150	Karbonlaşır	-	Kendi Söner	0,27 0,40	8
Termosetler	Poliester dolgunsuz	1,1 1,40	-	Renksiz	Opak	100 175	Karbonlaşır	-	Güç Yanar	0,17 0,18	10 15
	Epoksi	1,21	-	Renksiz	-	149 163	Karbonlaşır	-	Güç Yanar	0,17 0,18	5 9

1.3 PLASTİKLERİN HAYATIMIZDAKİ YERİ

Türlerine ayırdığımız ve burada kısıtlı sayıda örnek verdiğimiz plastik malzemelerin hayatımızdaki kullanım alanı o kadar yaygındır ki çevremizde gördüğümüz eşya ve gereçlerin büyük çoğunluğu plastik malzemeden yapılmıştır. Plastik malzemeler insan hayatına o derece yerleşmiştir ki neredeyse günlük yaşamın vazgeçilmez unsurları olmuşlardır. En basitinden kullandığımız bilgisayarların metal olmayan her parçası, su içtiğimiz şişeler, yazı yazdığımız kalem, alışverişlerde kullandığımız poşetler, su ve içecek şişeleri, diş fırçalarımız, bahçemizde oturduğumuz sandalyeler, kol saatimiz örnek verilebilir.



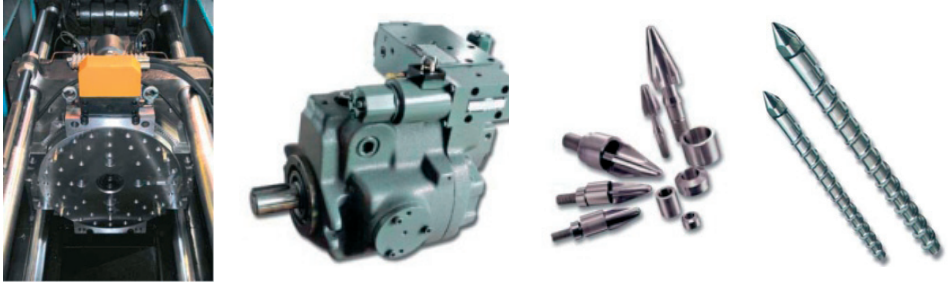
Şekil 2. Çeşitli plastik enjeksiyon ürünleri [5]

1.4 PLASTİKLERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Plastikler çok çeşitli yöntemlerle şekillendirilebilir. Toz halindeki plastiğin, sıcak ya da soğuk bir hazne içinde vidalı bir taşıyıcıyla eritilip sıkıştırılarak bir düsedan çekildiği ekstrüzyon yöntemi başta gelen plastik işleme tekniklerinden biridir. Ayrıca haddeleme, hidrolik preslerde ısı sertleştirme, püskürtme yoluyla kalıplama, üfleme, blow molding, şişirme, santrifüj hareketinden yararlanarak döndürme yoluyla kalıplama, ısıl biçimlendirme, vakum altında kalıplama, baskı altında levha haline getirme, dökme gibi başka plastik işleme teknikleri de vardır. Plastik ürünlere daha sonra mekanik yollarla ya da lazerle değişik biçimler verme, ses üstü yolla kaynak yapma, ısınım yoluyla işleme gibi bitirme işlemleri uygulanabilir [2]. Plastik enjeksiyon, sıcaklık yardımı ile eritilmiş plastik hammaddenin bir kalıp içine enjekte edilerek şekillendirilmesi ve soğutularak kalıptan çıkarılmasını içeren bir imalat yöntemidir. Bu metot ile en küçük komponentlerden, bahçe mobilyalarına kadar çok çeşitli ebat ve kategorilerde plastik parçalar imal edilebilir. En yaygın imalat yöntemlerinden biridir. İşlemin gerçekleştirildiği makineye plastik enjeksiyon makinesi denir [6].



Şekil 3. Örnek bir plastik enjeksiyon makinesi [5]



Şekil 4. Plastik enjeksiyon parçaları örnekleri [5]

Plastik enjeksiyon makineleri günümüzde oldukça ileri seviyelere gelmiş olup, büyük bir kısmı işlemcilerle kontrol edilmekte ve otomasyona tam anlamıyla uyumlu bir şekilde çalışmaktadır. Enjeksiyon makinesinin geçtiği tüm süreçler ayrıntılı bir şekilde izlenebilmekte, çalışma esnasında meydana gelen tüm hatalar enjeksiyon makinelerinin kendine özgü yazılımlarında çeşitli kodlar altında operatöre bildirilmekte ve bu sayede olası arızalar en başta tespit edilip onarılması mümkün olmaktadır.

Plastik enjeksiyon makinesi seçiminde önemli noktaları aşağıdaki gibi sıralanabilir [5]:

1. Gramaj ve Baskı Kapasitesi
2. Kalıp Kapama Gücü
3. Enjeksiyon Basıncı, Hızı ve Ergitme kapasitesi
4. Vida Dizaynı ve L/D oranı

5. Kalıp Açma mesafesi
6. Kolonlar arası mesafe
7. Kalıp-Plaka ölçüleri arasındaki orantı

1.4.1 Plastik Enjeksiyon Makinesi Üretim Aşamaları [6]:

Kalıbın Kapanması

Kapama ünitesi, enjeksiyon esnasında yüksek basınçla enjekte edilen plastiğin kalıbın kenarlarından çıkmaması ve kalıbın tam kapanarak ürün üzerinde bir birleşme çizgisi görüntüsü oluşmaması için plastik kalıbının iyi bir şekilde kapanması gereklidir.

Enjeksiyon

Enjeksiyon aşaması esnasında, granül halindeki plastik malzeme enjeksiyon ünitesi üzerindeki hazneye dökülür. Oradan rezistanslı ısıtıcılar ile ısıtılan silindir içine, elektrik motoru ile kumanda edilen bir vida vasıtası ile alınır. Vida sıkıştırma işlemi yaparak sıcaklık ve basınç altında eriyik hale gelen plastik malzemeyi silindirin sonuna kadar ilerletir. Vidanın önüne kalıbı doldurmak için yeterince malzeme alındığında enjeksiyon işlemi başlar. Erimiş plastik, makinenin ucundaki bir meme vasıtası ile kalıbın içine gönderilir. Bu işlem esnasındaki basınç ve hız vida ile kontrol edilir.

Ütüleme

Bu aşamada kalıp içine enjekte edilmiş olan plastik eriyiğin, basınç uygulanarak kalıp boşluğunu iyice doldurması sağlanır. Kalıba enjekte edilen plastik kalıp içerisinde soğudukça hacmi azalacak ve mamul üzerinde çöküntüler oluşmaya başlayacaktır. Bu tür çöküntülerin olmaması ve kalıbın tam olarak dolması için kalıp üzerine belirli bir basınç bir süre boyunca uygulanır. Bu işleme de “*enjeksiyon ütüleme*” denir. Plastik, kalıp içerisinde soğuyup katı hale gelinceye kadar işlem devam eder.

Soğutma

Kalıba enjekte edilen malzeme katılaşana kadar tutma basıncı altında kalıpta bekletilmektedir. Ergime sıcaklığında kalıba giren malzeme kalıba belli bir sıcaklık yüklemektedir. Katılaşmanın olabilmesi için malzemenin katılaşma sıcaklığına düşene kadar kalıba verilen ısıнын kontrollü olarak geri alınması gereklidir. Daha sonraki bölümlerde bu konu üzerinde ayrıntılı olarak durulmaktadır.

Kalıbın Açılması

Kapama ünitesi kalıbın iki parçasının ayrılıp ürünün rahatlıkla kalıp içersinden çıkabileceği uygun bir mesafeye kadar kalıbı açar. Kalıbın açılması makineleri için oldukça hızlı bir ara işlem olduğundan dolayı üretim esnasında fazla zaman tutmaz.

Çıkarma

Kalıp açıldıktan sonra soğuyarak katı hale gelen ürün, kalıp üzerine yerleştirilen iticiler vasıtasıyla toplama kabı veya üretim bandı gibi bir sistemin üzerine düşürülür. Kalıbın açılması ve ürünün çıkması için belirli bir süre geçmesi gerekmektedir. Bu sürenin kısa tutulması, kalıp tasarımının yanlış yapılması, ürünün kalıptan çıkması için gereken açının verilmemesi gibi durumlarda bu iticilerin izleri mamulün üzerine çıkmaktadır. Böyle bir durum kusursuz ve hassas üretim yapılması gerektiğinde karşımıza çıkmaktadır.

1.4.2 Plastik Enjeksiyonda Kalıp Şartlandırma [5]:

Plastik enjeksiyon makinelerinde üretilen bazı ürünler, kalıp ısısının uygunsuzluğu dolayısı ile istenilen fiziksel özelliklere sahip olamaz. Bu problemler genellikle ürünün yüzey veya şekil bozukluğu, mukavemeti ve ürünün kalıptan eksik çıkması gibi problemlerdir. Bunun çözümü kalıbın sıcaklığının sabit tutulmasıdır. Bazı ürünlerde bu sıcaklık düşük, bazı ürünlerde yüksek tutulmalıdır. Kalıp şartlandırıcıları, belirtilen problemlerin giderilmesi için tasarlanmış cihazlardır. Kalıp boyutlarına, ihtiyaç duyulan kalıp sıcaklığına bağlı olarak sulu veya yağlı tip olarak farklı tasarımları mevcuttur.



Şekil 5. Örnek bir Kalıp şartlandırıcısı [5]

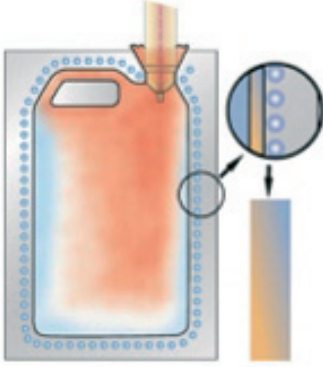
1.4.3 Örnek Bir İmalat (Şişirme ile Kalıplama - Pet Şişe Üretimi [7]):

Pet şişe üretimi temel olarak, yüksek basınçlı havanın, henüz şekillenmemiş plastiğin içine üflenmesiyle gerçekleştirilir. Bunun için, üfleme makinesi, kalıp, kompresör ve havayı temizleyen bir sisteme ihtiyaç vardır. Plastik yarı mamul, preform (ön şekillendirme) makinesinde 280°C sıcaklıkta eritilerek akışkan hale getirilir ve sonrasında kalıplarda preform haline dönüştürülür. Pet şişe üretim makinesinde 90°C ısıtılan preformlara 40 bar hava verilerek kalıplarda pet şişe üretimi gerçekleştirilir. Üretilen pet şişeler sıralı olarak dolum makinesini besler. Bu sayede, pet şişe üretiminde sağlıklı ve hijyenik bir üretim hattı oluşturulmuş olur (Bkz: Şekil 6). Üflenme havanın da belirli bir kalitede olması gerekir. ISO 8573.1'e göre gıda ve içecek işletmeleri için yağ kalitesi 2. Sınıf (buharı dahil 0,1 mg/m³), toz kalitesi 3. sınıf (toz partikül çapı 5 mikron ve toz konsantrasyonu 5 mg/m³) ve su kalitesi 1. Sınıf (7 barda -70 °C ve 0,3 ppm vol.) olmalıdır [7]

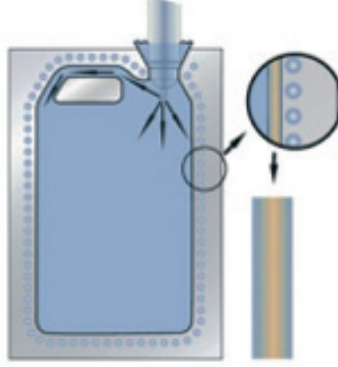


Şekil 6. Pet Şişe Üretimi için Hava Basınçlandırma Şeması [7]

Şişirme ile kalıplama üretimi sırasında şişirme parçalarının içinde belirli bölgelerde sıcaklık farkından oluşan problemleri gidermek için soğutulmuş ve sıkıştırılmış hava sağlayan cihazlar geliştirilmiştir.



Şekil 7.a Normal hava ile şişirme [5]



Şekil 7.b Kompres Hava ile şişirme [5]

T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı tarafından 17.01.2009 tarihli 27113 revizyon numarasıyla yayınlanan Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği'nde gıda ile temas eden plastik esaslı madde ve malzemelerin kullanımı ile ilgili esaslarda "Gıda ambalajı olarak kullanılan plastikler bir kez kullanılabilir." ibaresi yer almaktadır. Geri kazanılan plastik ürünleri kesinlikle karıştırılarak gıda sanayinde kullanılmaz.

Bölüm 2

...İkinci bölümde, plastik sektöründe kalıp ve yağ soğutmada kullanılan temel sistemler olan Su Soğutma Kuleleri, Chillerler (Soğuk Su Üretici Cihazlar), Chiller ve Entegre Doğal Soğutma Bataryalı Sistemler (Free Cooling Chillerler) ve Kuru / Islak-Kuru Soğutucular hakkında detaylı ve karşılaştırmalı bilgiler verilmektedir.

Kazandırdığı verim artışı ile işletme maliyetlerini düşüren doğal soğutma (free cooling) sistemleri de ikinci bölümde genişçe yer almaktadır.

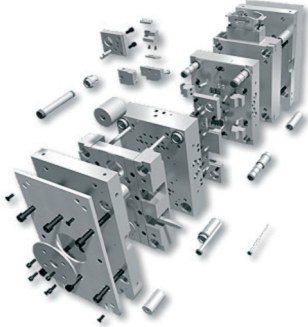
Soğutma sistemleri bilgilerinin yanı sıra, doğal soğutma sistem elemanı olan Kuru soğutucu ünitelerin malzeme, performans ve konstrüktif özellikleri hakkında detaylı bilgiler yine ikinci bölümde ele alınmaktadır.

BÖLÜM 2

PLASTİK ENDÜSTRİSİNDE KALIP VE YAĞ SOĞUTMA SİSTEMLERİ

2.1 KALIP SOĞUTMA

Plastiğin kalıba dolarak eriyik olması için verilen ısı, kalıba dolduktan sonra katılaşma süresince geri alınır. Plastik malzemenin kalıp içine enjeksiyonu malzeme cinsine bağlı olarak yaklaşık 200°C sıcaklıklarda yapılmakta (bkz. Tablo 1) ve kalıp ortalama sıcaklığının yükselmesine sebep olmaktadır. Soğuma işlemi enjeksiyon çevriminin en uzun bölümünü oluşturur, bu yüzden mümkün olduğunca kısa zamanda kalıptan büyük miktarda ısı çekilmeye çalışılır. Kalıp tasarımının en belirsiz kısmıdır, çünkü duruma etki eden çok parametre vardır ve bunları tamamen içeren bir denklem yazmak mümkün değildir. Isı geçişinin temel kanunları göz önünde bulundurularak ve ampirik yöntemlerle elde edilen tavsiyelere dayanılarak bazı hükümler çıkarmak mümkündür [9].

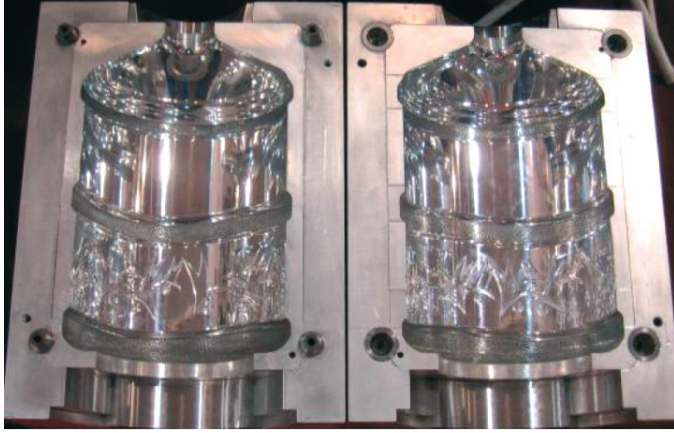


Şekil 8.a Örnek bir plastik kalıbı (parçalı) [8]

İmalat sırasında kalıpların soğutulması ürün kalitesi ve kapasitenin artırılması için önem teşkil etmektedir. İmal edilen plastiğin cinsine göre kalıp belli bir sıcaklıkta tutulmalı böylece üretimin hatasız yapılması hedeflenmelidir. Gerekli gibi soğutulmayan kalıplarda kireç oluşumu, ürün yüzeylerinde pürüzlülük, defolar ve renk değişimleri görülebilir. Yeterli soğutulmayan bir kalıp, üretim-çevrim süresini uzatacağı için kapasitede düşüşe sebep olur [9].

Plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma işlemi, kalıbın çeşitli kısımlarına açılan deliklerden devamlı su akımı sağlamak suretiyle yapılır. Soğutma sıcaklığı, iş parçasının ölçüsüne, biçimine ve kullanılmakta olan malzemenin cinsine bağlıdır [10].

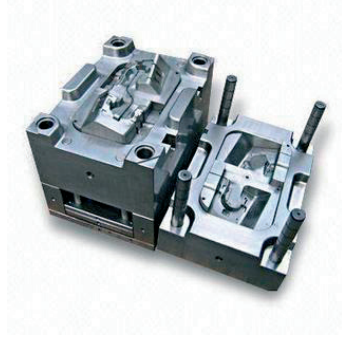
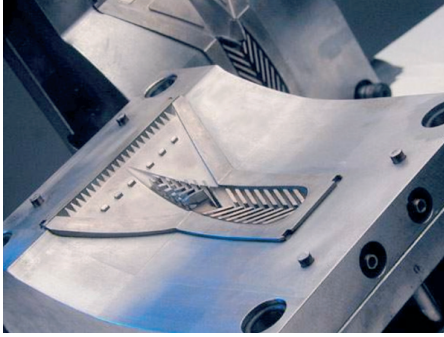
Kalıbın tasarımı soğutmanın verimi açısından oldukça önemli bir parametredir. İyi bir soğutma sağlanması sadece soğutma suyu sıcaklığına ve kalıp içerisinden geçen soğutma suyunun debisine bağlı değil, önemli ölçüde kalıptaki soğutma sistemi tasarımına da bağlıdır [12]. Kalıbın soğutma tasarımı homojen bir yapıya sahip olmalıdır. Homojen soğutma, kalıbı soğutmakla görevli akışkanın, kalıba girdiği ve kalıptan çıktığı noktalar arasında oluşan sıcaklık değişimlerini en aza indirmesi anlamına gelmektedir. Soğutma ortamının kalıp duvarında yaklaşık üniform bir sıcaklık profilinin oluşumunu sağlayacak şekilde olması gereklidir [13].



Şekil 8.b Örnek plastik kalıbı 2 [11]

Soğutma için kullanılacak suyun temizliği dikkat edilmesi gereken bir diğer noktadır. Soğutma suyu oksitlenme yaparak kanalların arasını zaman içerisinde çürütmektedir. Paslanmaz çelik kullanmak uygulamada avantaj sağlamaktadır. Soğutma suyu kireç ve kirlerden arındırılmış olmalıdır. Su içerisinde bulunan kir ve kireç zamanla, soğutma kanallarının köşelerinden ve birleşme yerlerinde birikmeye başlayarak, tıkanmalarına sebep olur. Özellikle soğutma kanal çapları küçükse ve soğutma kanalları kalıp içerisinde çok fazla dolaşıyorsa, zaman içerisinde önce kanal çaplarının azalması ve daha sonra tıkanması kaçınılmazdır. Bu durumda kalıp soğutma verimliliği giderek düşecek, kalıp çalışması yavaşlayacaktır. Soğutma kanallarının tıkanması daha sık kalıp bakımı gerektirerek kalıp bakım süresinin uzamasına ve gereksiz maliyet artışına sebep olur. Pas ve kireç tabakası izolator görevi yaparak, kalıp sıcaklığının, soğutma suyuna aktarılmasını güçleştirir. Soğutma sistemi verimliliğini artırmak için, soğutma kanalları içerisindeki tortu ve kireçlenmelerin önüne geçmek gereklidir [9]. Bu amaçla soğutma sistemine verilen suların kum filtresi, su yumuşatma cihazlarından ve pH kontrolünden geçirilerek verilmesi önemlidir. Sistemdeki suyun pH dengesini korumak için dozajlama pompalaması yapmak gerekecektir [14].

Plastik hacim kalıplarında suyun etkili olmadığı veya su ile soğutmanın kalıba ve kalıplanan parçaya zarar verdiği hallerde basınçlı havayla soğutma işlemi gerçekleştirilir. Hava ile yapılan soğutmanın etkisi su soğutmalı sistemlere nazaran daha yavaştır. Bu nedenle et kalınlığı az ve kalıp sıcaklığının çok fazla değişmesi istenmeyen kalıplama işlemlerinde kullanılır [15].



Şekil 9. Örnek Plastik kalıbı [11] ve tasarımları [16]

2.1.1 Kalıp Soğutmada Kapasite ve Debi Hesabı:

Uygun soğutmanın sağlanabilmesi için kalıplanan malzemenin özellikleri, parçanın şekli, kalıbın yapısı, transferi yapılacak ısı miktarının bilinmesi gerekir. kalıp soğutma için gerekli olan soğutma suyu debisi ve soğutma yükünü bulmak için aşağıdaki formülден yararlanabiliriz (Malzeme özellikleri için Bkz. Tablo 1.) [14], [17]:

Soğutma Yüğü Hesabı:

Kalıplarda oluşan ısı:

$$Q_{\text{kalıp}} = m_{\text{plastik}} \cdot (c_p \text{ plastik} \cdot (T_1 - T_2) + q_e \text{ plastik}) \text{ kcal/h}$$

Soğutma suyu ile dışarı atılan ısı:

$$Q_{\text{su}} = m_{\text{su}} \cdot c_p \text{ su} \cdot (T_4 - T_3)$$

İletimle atılan ısı:

$$Q_{\text{iletim}} = A_{\text{kalıp}} \cdot K_{\text{iletim}} \cdot (T_{\text{oky}} - T_{\text{omp}})$$

Taşınumla atılan ısı:

$$Q_{\text{taşınım}} = A_o \cdot h \cdot (T_y - T_o)$$

Su Debisi ve Kalıba enjekte edilen plastik miktarı Hesabı:

$$m_{su} = m_{plastik} \cdot \frac{c_{p \text{ plastik}} \cdot (T_1 - T_2) + q_{e \text{ plastik}}}{K \cdot C_{p \text{ su}} \cdot (T_4 - T_3)} \text{ kg/h}$$

$$m_{plastik} = \rho \cdot V \cdot k \cdot \frac{1}{1000} \text{ kg/h}$$

Kısaltma	Açıklama	Birim
A _{kalıp}	Kalıp soğutma yüzey alanı	m ²
A _o	Ortamla temas halindeki kalıp dış yüzey alanı	m ²
c _{p plastik}	Plastik malzemenin özgül ısısı	kcal/kg°C
c _{p su}	Su özgül ısısı	kcal/kg°C
h	Kalıp ile çevre arasındaki ısı taşınım katsayısı	kcal/m ² h°C
k	Saatteki çevrim sayısı	-
K	Kanal durumunu belirten katsayı (Kanallar dişi ve erkek plakalara açılmışsa K=0,64; Kanallar destek plakalarına açılmışsa K=0,5)	-
K _{iletim}	Kalıp ile makina plakaları arasındaki toplam ısı iletim katsayısı	kcal/m ² h°C
m _{plastik}	Kalıba enjekte edilen plastik miktarı (Bir saatte kalıplanan malzeme miktarı)	kg/h
m _{su}	Soğutma suyu debisi	kg/h
q _{e plastik}	Plastik malzemenin ergime ısısı	kcal/kg
T ₁	Malzeme enjeksiyon sıcaklığı (Plastik malzemenin kalıplama sıcaklığı)	°C
T ₂	Kalıp sıcaklığı (Malzemenin kalıptan çıkma sıcaklığı)	°C
T ₃	Su giriş sıcaklığı	°C
T ₄	Su çıkış sıcaklığı	°C
T _o	Ortam sıcaklığı	°C
T _{oky}	Kalıp ortalama yüzey sıcaklığı	°C
T _{omp}	Makina plakaları ortalama sıcaklığı	°C
T _y	Kalıp dış yüzey sıcaklığı	°C
V	Kalıp hacmi	cm ³
ρ	Plastik malzeme yoğunluğu	gr/cm ³

Hesaplamalarda yukarıda verilen formüllerden yararlanılabilmekle birlikte, yapılacak hassas hesaplamalarda imalatçı firmanın verdiği değerlerin kullanılması tavsiye edilmektedir.

2.2 HİDROLİK YAĞ SOĞUTMA:

Plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma sistemine ek olarak yağ soğutması bir diğer önemli konudur. Daha verimli bir üretim yapılması için makinelerde kullanılan yağın da uygun şekilde soğutulmasına ihtiyaç vardır. Akışkan güç çevriminde ısı üretimi engellenemez bir sonuçtur. 71°C'in üzerinde çalışma sıcaklığında kimyasal reaksiyonlar oluşur ve yağın özellikleri değişir. Bir hidrolik sistem tasarımında en yüksek sıcaklıklı hava şartlarında bile maksimum yağ sıcaklığının 60°C'yi geçmemesi önerilir [18].

Yağ soğutmasının gerektiği gibi yapılmadığı durumlarda, hidrolik yağının sıcaklığı yükselir ve viskozitesi düşer. Hidrolik yağ sıcaklığındaki aşırı yükselme, yağ içerisindeki asit miktarını artırır. Artan asit miktarı, pistonlarda sızdırmazlık amaçlı kullanılan yağ keçelerini aşındırarak deforme olmalarına neden olur. Yağ keçelerindeki bu deformasyon yağın pistonların keçelerinden sızmasına sebebiyet verir. Piston keçelerinden sürekli sızan hidrolik yağ, büyük miktarlarda yağ kaybına yol açtığı gibi makine ve atölye kirliliğine de sebep olmaktadır.



Şekil 10. Örnek Hidrolik devre parçaları [21]

Buna ilave olarak, yağ sıcaklığının yükselmesinden dolayı düşen viskozite (akışkanlığın artması) nedeniyle yeterince hidrolik güç uygulanamaz. Hidrolik güç kaybı enjeksiyon makinesinin normal fonksiyonlarında çalışmasını engeller. Bu durum alınan baskı sayılarında azalmaya ve buna bağlı olarak da üretim kaybına sebep olur [19], [20].

Hidrolik sistemlerde yağa geçen ısı miktarı hesabında, pratik bir yöntem içinde, yaklaşık olarak, motor gücünün %25 - %30'u arasında bir değer alınabilmekle birlikte, yapılacak hassas hesaplamalarda imalatçı firmanın verdiği değerlerin kullanılması tavsiye edilmektedir. Takip eden bölümde bu konuyla ilgili oldukça detaylı hesaplama yöntemleri aktarılmaktadır. Uygulamalarda genellikle, yağ soğutma için ortalama 29 - 35°C civarında soğutma suyuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tip yüksek soğutma suyu sıcaklıkları için su soğutma kuleleri ve kuru soğutuculardan elde edilecek soğutma suyu yeterlidir. Yağ soğutma için mekanik soğutma uygulaması yapılması gereksizdir ve enerji verimliliği yönünden oldukça olumsuz bir durumdur. Mekanik soğutma uygulaması aynı zamanda çok daha pahalıdır (Bu tarz hatalı, gereksiz enerji kullanan uygulamalara plastik sektöründe sıklıkla rastlamak mümkündür). Bu etkinin yanı sıra, mekanik soğutma suyunun yağ soğutma için istenen değerlerden çok daha düşük olması nedeni ile ters etki yaparak yağ viskozitesinin yükselmesine ve hidroliğin aşırı soğuması sonucunda sorunlara sebep olabilmektedir. Bunun önüne geçmek için küresel vanalarla su sıcaklıkları kontrol edilebilir.

Tesislerde yağ soğutma sistemleri ile mekanik sistemlerin ayrı devreler olarak kurulması tavsiye edilen uygulamadır. Yağ soğutmada açık devre olması nedeniyle kule suyunun doğrudan kullanılması eşanjörlerde kirlenmeye neden olur. Bu nedenle de yağ soğutma için kapalı devre kule suyu kullanımı veya kuru soğutucu kullanımı önem arz etmektedir.

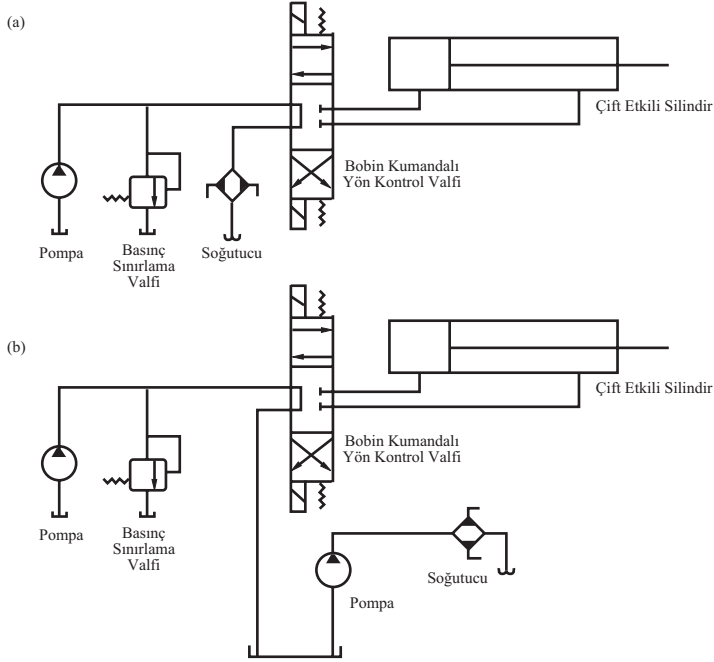
2.2.1 Hidrolik Yağ Soğutma Metodları [18]

Hidrolik yağı soğutmak için yaygın olarak gövde-boru, plakalı ve kanatlı-boru olmak üzere üç tip ısı değiştiricisi kullanılmaktadır. Gövde borulu ısı değiştirici, kapalı bir silindir içinde bir dizi borudan oluşmaktadır. Yağ küçük çaplı boruların içinden ve ısıyı alan akışkan (genellikle su) ise küçük boruların etrafından akar. Yağın izlediği yol tek geçişli (yağ bir uçtan girer, diğer uçtan çıkar) ya da çift geçişli (yağ bir uçtan girer, diğer uçta U dönüşü yaparak girdiği uçtan ısı değiştiricisini terk eder) yapılabilir.

Kanatlı-borulu ısı değiştiricileri yağdan havaya ısı geçişi için kullanılır. Hava, ısı değiştiricisi içerisinden doğal olarak akar veya bir fan vasıtasıyla cebri olarak geçirilebilir. Eğer yağ soğutucu hareketli bir makinede kullanılıyorsa, o soğutucu genellikle kanatlı-borulu tiptedir.

Yağ soğutucular basınca dayanıklı yapılmaz, devrede geri dönüş hattına monte edilirler. Şekil 11a ve 11b’de iki seçenek gösterilmektedir. Şekil 11a’da sistem pompası yağı geri dönüş hattındaki ısı değiştiricisine pompalamaktadır. Bu düzenleme çoğu devre için kullanılabilir. Isı değiştiricisi istenen akış miktarında, sadece düşük basınç kaybı yaratacak şekilde boyutlandırılır. Şekil 11b’deki devrede yağı ısı değiştiricisine pompalamak için ayrı bir düşük basınç pompası kullanılmaktadır.

Daha kompleks devrelerde geri dönüş hattında önemli basınç dalgalanmaları olabilir. Bu basınç dalgaları ısı değiştiricisine zarar verebilir ve zamanla ek yerleri çatlayıp sızdırmalara yol açabilir. Eğer, geri dönüş hattında önemli basınç değişimleri (70 kPa’dan büyük) ölçülmüşse devre Şekil 11b’deki gibi olmalıdır. Ayrı bir pompayla sirküle edilen yağ, tanktan ısı değiştiricisine ve oradan tekrar depoya döner. Bu sirkülasyon pompası yüksek bir basınç oluşturmaz (yalnızca 1 bar ya da ısı değiştiricisinden akışkanı geçirecek kadar), dolayısıyla ucuz bir dizayn oluşturulabilir.



Şekil 11 a. Geri dönüş hattındaki ısı değiştiricisi

b. Devrede yağ ısı ısıtma sistemine pompalamak için ayrı bir düşük basınç pompası [18]

2.2.1.1 Depodan Isı Geçişi

Deponun fonksiyonlarından biri de ısıyı dışarı atmaktır. Depodan ısı, iletim ve taşınım ile dış ortama geçmektedir. Bu analiz için ısı iletim ve taşınım ile olan ısı geçişi ihmal edilmektedir.

Isı geçişi,

$$q = U \cdot A \cdot (T_f - T_a)$$

olarak verilmektedir. Burada,

q = Geçen ısı [W]

U = Toplam ısı geçiş katsayısı [W/m^2K]

A = Yüzey alanı [m^2]

T_f = Akışkan sıcaklığı [K]

T_a = Hava sıcaklığı [K]

Toplam ısı geçiş katsayısı,

$$U = \frac{1}{1/h + L/k}$$

olup deponun iç yüzeyindeki ısı taşınım direnci ihmal edilmektedir. Burada,

h = Taşınım ile olan ısı geçiş katsayısı [W/m^2K]

L = Depo cidar kalınlığı [m]

k = Depo cidarının ısı iletim katsayısı [W/mK]

Havanın doğal taşınımı için, taşınım ile ısı geçiş katsayısı 3 – 17 W/m^2K arasındadır. Eğer depo hareketli makinenin üzerinde konumlanmış ve hava serbestçe üzerinden geçiyorsa $h = 17$ alınabilir. İyi havalandırılan hareketsiz bir ortamda bulunan depo için $h = 8$ almak iyi bir seçimdir.

Genellikle, depolar çelik sac veya alüminyumdan yapılır. Bu metallerin ısı iletim katsayıları sırasıyla, 30 W/mK ve 115 W/mK dir.

Depodan geçen yağın kaybettiği ısı;

$$q = m.c. (T_i - T_o)$$

olarak ifade edilir. Burada;

q = ısı kaybı [kW]

m = Yağın kütleli debisi [kg/s]

c = Yağın özgül ısı [kJ/kgK]

T_i = Yağın depoya giriş sıcaklığı [K]

T_o = Yağın depodan çıkış sıcaklığı [K]

Kararlı durumda, yağın kaybettiği ısı deponun duvarlarından dış ortama geçen ısıya eşittir. Yağ depodan geçerken sıcaklığı düşer. Bu yüzden ısı geçişi için ortalama bir sıcaklık, $T_f = (T_i + T_o)/2$ kullanılmaktadır. Depodan ısı kaybı ve yağın kaybettiği ısılar eşitlenir ve T_f yerine ortalama değeri kullanırsak *çıkış sıcaklığı* için

$$T_o = \frac{T_i \cdot (2.m.c - U.A) + 2.U.A.T_a}{2.m.c + U.A}$$

elde edilir.

2.2.1.2 Sistemden Isı Üretimi

Hidrolik sistem tarafından üretilen tahmini ısı için aşağıda ampirik ifade kullanılabilir.

$$q = 0,26 \cdot P \cdot Q$$

Burada;

q = Isı üretimi [kW]

P = Basınç farkı [kPa]

Q = Debi [m^3/s]

Hidrolik güç;

$$P_{hid} = P \cdot Q \text{ (kW)}$$

denklemleri ile ifade edilir.

Ampirik formüle göre bir hidrolik çevrimde hidrolik enerjinin % 26'sı ısıya dönüşmektedir. Hidrolik pompalar ve motorlardaki tahmini hesaplar da toplam verimliliğin % 26 olduğunu göstermektedir. Bir hidrolik devredeki dişli pompanın 7000 kPa (70 bar) basınç farkında toplam pompa verimi $e_p = 0,875$ ve dişli motor toplam verimi $e_m = 0,875$ olarak kabul edilsin. Pompa tarafından iletilen debi 0,5 litre/s olsun.

Pompa tarafından sağlanan hidrolik güç,

$$P_{hid} = P \cdot Q = (7000 \text{ kPa})(0,0005 \text{ m}^3/s) = 3,5 \text{ kW}$$

Toplam giriş gücü ;

$$P_i = P_{hid} / e_p = 3,5 / 0,875 = 4 \text{ kW}$$

Pompada ısıya dönüşen giriş gücü ise;

$$P_{qp} = P_i - P_{hid} = 4 - 3,5 = 0,5 \text{ kW}$$

Devrede ki diğer kayıplar (boru, fittings, valf vb) ihmal edilirse,

Hidrolik motora ulaşan hidrolik güç,

$$P_{hid} = 3,5 \text{ kW}$$

olacaktır.

Motor tarafından sağlanan mekanik güç,

$$P_o = P_{hid} \cdot e_m = 3,5 \cdot (0,875) = 3,06 \text{ kW}$$

Motorda ısıya dönüşen hidrolik güç ise;

$$P_{qm} = P_{hid} - P_o = 3,5 - 3,06 = 0,44 \text{ kW}$$

olup üretilen toplam ısı

$$q = P_{qp} + P_{qm} = 0,5 + 0,44 = 0,94 \text{ kW}$$

Hidrolik akıştaki eşdeğer toplam enerji

$$q_{top} = P.Q = (7000 \text{ kPa})(0,0005 \text{ m}^3/\text{s}) = 3,5 \text{ kW}$$

olup hidrolik akıştaki eşdeğer enerjinin yüzdesi olarak üretilen ısı,

$$100 (0,94 / 3,5) = \% 26,8$$

olacaktır.

Bu örnekle, sistemden ısı üretimi için verilen denklemdesine benzer şekilde bir ampirik sabit tanımlanabilir.

$$q = K.P.Q$$

ve K = sabit olmak üzere

$$K = (q / P.Q) = 0,94 / (7000 \times 0,0005) = 0,2685$$

olup sistemden ısı üretimi ampirik denklemindeki 0,26 ile karşılaştırılabilir. Bu basit analiz, ampirik formüllerin nasıl geliştirildiğini tanıma fırsatı vermektedir.

Pompa giriş gücü P_{in} ve pompa tarafından sağlanan güç (çıkış gücü) P_{hid} kullanılarak pompadaki sıcaklık artışını

$$\Delta T = P_{qp} / (m \cdot c)$$

veya

$$P_{in} = P_{hid} + P_{qp}$$

$$P_{hid} / e_p = P_{hid} + m \cdot c \cdot \Delta T$$

ve

$$P_{hid} = P \cdot Q$$

eşitlikleri dikkate alınarak, ρ (kg/m^3) yağ yoğunluğu olmak üzere

$$\Delta T = (P/\rho \cdot c) (1 - e_p) / e_p$$

eşitliğinden hesaplamak mümkündür.

Pompa ve motorlarda üretilen ısı ile yağ sıcaklığındaki artış yukarıdaki denklemlerle hesaplanabilir. Bunun için verimin (e_p ve e_m) ve basınç artışı/düşmesinin (P) bilinmesi yeterlidir.

Valflarda de benzer durum söz konusudur. Isıya dönüşen hidrolik güç, ΔP kontrol valfinin giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkı olmak üzere

$$q_v = \Delta P \cdot Q$$

olacaktır.

Hidrolik devredeki borularda ısıya dönüşen hidrolik güç

$$\Delta P = 4 f (L/D) (1/2) \cdot \rho \cdot V^2$$

olup, f sürtünme katsayısı, L boru uzunluğu, D boru çapı, ρ yoğunluk ve V yağ hızı olmak üzere hesaplanan basınç düşmesi dikkate alınarak

$$q_b = \Delta P \cdot Q$$

denkleminde hesaplanır.

Tesisat boru bağlama elemanlarında ise $4f (L/D)$ çarpanı yerine kayıp katsayısı kullanılır.

Devredeki basınç düşmesi yaratan elemanların sayısı ve boru uzunluğu, ısıya dönüşen hidrolik gücün ampirik olarak hesaplanması için kullanılan sabitin çok daha büyük olmasına sebep olabilir.

2.2.1.3 Örnek Tasarım

Tasarımın amacı yağ soğutucu gerekip gerekmediğini belirlemektir. Eğer cevap evetse yapımcı tarafından verilen performans verileri kullanılarak bir soğutucu seçilebilir. Kanatlı-borulu ısı değiştirici seçilirken üç önemli parametre vardır:

1. Yağın kütesel debisi
2. Yağdan çekilecek ısı (kW)
3. Yağ giriş sıcaklığı ve hava sıcaklığı arasındaki fark

Aşağıdaki tasarım örneğinde yağ soğutmak için istenen ısı geçişinin nasıl belirlendiği açıklanmaktadır.

Hareketli bir makinede 3 adet hidrolik pompa bulunmaktadır. A pompası pistonlu bir pompa olup kapalı bir devrede hidrolik akışı sağlamaktadır. Bu pompanın deplasmanı $37,7 \text{ cm}^3/\text{devir}$ olup 1885 dev/dak ile döndürülmektedir. Şarj pompası deplasmanı $5,4 \text{ cm}^3/\text{devir}$ ve şarj emniyet valfi 1000 kPa 'a kuruludur. B pompası dişli pompa olup A pompasının yedeği olarak kurulmuştur. Bu yüzden bunun da dönme hızı 1885 dev/dak 'dır. B pompasının deplasmanı $20,5 \text{ cm}^3/\text{dev}$ 'dir. C pompası bir kayışla 2000 dev/dak hızla döndürülmektedir ve deplasmanı $19,83 \text{ cm}^3/\text{dev}$ 'dir. B ve C-pompaları açık çevrimde çalışmaktadır.

Depo $3,2 \text{ mm}$ kalınlığında çelik sactan oluşmakta ve $150 \text{ mm} \times 800 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$ ebatlarındadır. Hidrolik akışkanın yoğunluğu 850 kg/m^3 ve özgül ısı $c = 2,13 \text{ kJ/kgK}$ 'dir. Maksimum akışkan sıcaklığı 60°C ve maksimum hava sıcaklığı 35°C 'dir.

Makinedeki çeşitli alt sistemler birbirinden uzaktır. Bu yüzden pompa B ve C devrelerinden çevreye ısı kaybı oluşması için yeteri kadar fırsat yaratacak uzun hidrolik devreler mevcuttur.

Problemi çözmek için atacağımız ilk adım sistemde üretilen toplam ısıyı bulmaktır (Üç pompada yağ gereksinimi için aynı depoyu kullanmakta ve sistem üç pompa tarafından desteklenen devrelerle sınırlanmaktadır). Eğer bu devrelerin çalışma basıncını biliniyor veya tahmin edebilirsek B ve C pompalarıyla desteklenen açık devreler için ampirik formülü kullanabiliriz. A pompası kapalı çevrimde çalışmaktadır. Yağ ana pompadan motora gider ve depoya uğramadan tekrar pompaya gelir.

A pompasındaki şarj pompası depodan yağı çeker ve ana devreden sızan yağı tamamlar. Fazladan çekilen yağ eğer sızmadan dolayı kayıp yoksa, şarj emniyet valfinden tekrar depoya döner. Analizlerimizde bu noktada şarj pompasından geçen bütün akışkanın hiçbir mekanik iş yapmadan emniyet valfinden depoya döndüğünü varsayacağız. Dolayısıyla bütün iş ısıya dönüşmüş olacaktır. Daha sonraki analizlerde bu kabul tekrar kullanılacaktır.

B pompası çevriminin fonksiyonel gereklilikleri analiz edilmiş olup çalışma basıncı 2700 kPa olarak hesaplanmıştır. Maksimum basınç gereksinimi normal basıncın 2,5 katı yani 6750 kPa kabul edilmiştir. Bu maksimum çalışma basıncının toplam işletme süresinin % 10'u kadar olacağı tahmin edilmektedir.

C pompası çevrimi analizine göre normal çalışma basıncı 4500 kPa dır. Maksimum basıncın 10000 kPa'a kadar çıkacağı beklenmekte ve bununda toplam çalışma süresinin % 20'si kadar olacağı tahmin edilmektedir.

Isı Üretiminin Hesaplanması

A Pompası (Şarj Pompası)

$$\text{Debi} = \frac{5,4 \text{ cm}^3/\text{dev.} \cdot 1885 \text{ dev/dk.}}{10^3 \text{ cm}^3/\text{dm}^3} = 10,2 \text{ dm}^3/\text{dk.}$$

Basınç: 1000 kPa

B Pompası

$$\text{Debi} = \frac{20,5 \text{ cm}^3/\text{dev.} \cdot 1885 \text{ dev/dk.}}{10^3 \text{ cm}^3/\text{dm}^3} = 38,65 \text{ dm}^3/\text{dk.}$$

Basınç: 2700 kPa (normal)

6750 kPa (maksimum)

$$p_{\text{Bort}} = 0,9(2700) + 0,1(6750) = 3100 \text{ kPa}$$

C Pompası

$$\text{Debi} = \frac{19,83 \text{ cm}^3/\text{dev} \cdot 2000 \text{ dev/dk.}}{10^3 \text{ cm}^3/\text{dm}^3} = 39,66 \text{ dm}^3/\text{dk.}$$

Basınç: 4500 kPa (normal)

10000 kPa (maksimum)

$$P_{\text{Cort}} = 0,8 \cdot (4500) \times 0,2 \cdot (10000) = 5600 \text{ kPa}$$

1. A pompası çevrimindeki ısı üretimi (Şarj pompasının bütün hidrolik enerjisinin ısı enerjisine dönüştüğü varsayılmaktadır):

$$q_{\text{Acharg}} = PQ = (1000 \text{ kPa}) \cdot (10,2/10^3 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}) = 0,17 \text{ kW}$$

2. B pompası çevrimindeki ısı üretimi:

$$q_B = 0,26PQ = 0,26 (3100 \text{ kPa}) \cdot (38,65/10^3 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}) = 0,52 \text{ kW}$$

3. C pompası çevrimindeki ısı üretimi:

$$q_C = 0,26PQ = 0,26 \cdot (5600) \cdot (39,66/10^3 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}) = 0,96 \text{ kW}$$

4. Depodan çevreye atılması gereken ısı:

$$q_{\text{top}} = q_{\text{Acharg}} + q_B + q_C = 0,17 + 0,52 + 0,96 = 1,65 \text{ kW}$$

olup q_B ve q_C ısılarının yarısının borular ve elemanların yüzeyinden atıldığını kabul edebiliriz. Dolayısıyla depodan çevreye atılması gereken ısı;

$$q_{\text{top}} = q_{\text{Acharg}} + (q_B + q_C)/2 = 0,17 + (0,52 + 0,96)/2 = 0,91 \text{ kW}$$

5. Depodan atılan ısı:

Depo alanının bulunması:

$$A = 2x \frac{15 \times 80}{10000} + 2x \frac{15 \times 100}{10000} + 2x \frac{80 \times 100}{10000} = 2,14 \text{ m}^2$$

Toplam ısı geçiş katsayısının bulunması:

$$U = \frac{1}{1/h + L/k}$$

Hareketli makinelerde deponun yüzeyinden geçecek hava akımı kolaylıkla sağlanır.

Taşıyımınla ısı geçiş katsayısı için;

$$h = 17 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Sac levha için,

$$k = 15 \text{ [W/mK]}$$

$$\text{Cidar kalınlığı } L = 0,0032 \text{ m}$$

$$U = \frac{1}{1/17 + 0,0032/15} = 15,6 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Yağın kütlelel debisinin hesaplanması:

Toplam debi,

$$Q_{\text{top}} = Q_{\text{Achg}} + Q_B + Q_C = 10,2 + 38,65 + 39,66 = 88,51 \text{ dm}^3/\text{dak}$$

$$m = (88,51/10^3 \text{ m}^3/\text{dak})(850 \text{ kg/m}^3) = 75,233 \text{ kg/dak}$$

Depodan çıkan yağın sıcaklığı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$T_o = \frac{T_i \cdot (2 \cdot m \cdot c - U \cdot A) + 2 \cdot U \cdot A \cdot T_a}{2 \cdot m \cdot c + U \cdot A}$$

$$c = 2,13 \text{ kJ/kgK}$$

$$U = 15,6 \text{ W/m}^2\text{k}$$

$$A = 2,14 \text{ m}^2$$

$$T_i = 60 \text{ }^\circ\text{C} \text{ maksimum akışkan sıcaklığı}$$

$$T_a = 35 \text{ }^\circ\text{C} \text{ maksimum hava sıcaklığı}$$

$$T_o = \frac{6 [2(75,233) (2,13) - (15,6) (2,14)] + 2(15,6) (2,14) (35)}{2 (75,233) (2,13) + (15,6) (2,14)}$$

$$T_o = 59,68 \text{ }^\circ\text{C}$$

Depodan atılan ısı:

$$q_{\text{Depo}} = U \cdot A \cdot [(T_i + T_o)/2 - T_a]$$

$$q_{\text{Depo}} = (15,6)(2,14)[(60 + 59,68)/2 - 35]$$

$$q_{\text{Depo}} = 0,83 \text{ kW}$$

6. Gerekli soğutma :

Depo tarafından çevreye atılan ısı 0,83 kW ve üretilen ısı 0,91 kW'dır. Dolayısıyla gerekli soğutma gücü $0,91 - 0,83 = 0,08$ kW'dır.

Sadece 0,08 kW'ı karşılayacak kadar yağ soğutucu seçmek gerçekçi değildir. En iyi çözüm fazla ısıyı da atabilecek kadar deponun boyutlarını büyütmektir. Deponun 150x800x1000 mm olan boyutlarını 200x800x1000 mm yaparsak herhangi bir soğutucu eklememize gerek kalmaz.

$$q_{\text{Depo}} = q_{\text{üretilen}}$$

A Pompa devresi kabullerinin yeniden değerlendirilmesi

A pompası değişken deplasmanlı eksenel pistonlu pompa olup eksenel pistonlu motora akışkan sağlamaktadır. Ana devredeki basınç genellikle 13500 kPa dan daha az olduğundan pompa ve motorun toplam verimleri % 90 dan daha fazla olacaktır. Pompa ve motorun hacimsel verimleri % 95 tir. Pompa ve motorun deplasmanları ise 37,7 cm³/dev dir.

Bu aşamada A pompası kapalı devresinde üretilen ısı hesaplanacaktır. Maksimum ısı üretimini tahmin etmek için pompanın sürekli olarak 13500 kPa da çalıştığı kabul edilmektedir. *Maksimum deplasmandaki debi*

$$Q_a = 37,7 \times 1885 / 10^3 = 71,06 \text{ l/dak}$$

Giriş gücü:

$$P_{\text{in}} = (71,06/60 \text{ 1000}).(13500) = 16 \text{ kW}$$

Toplam giriş gücü:

$$P_{\text{hid}} = 16 / 0,90 = 17,76 \text{ kW}$$

Giriş gücünün ısıya dönüşen kısmı:

$$P_{\text{qp}} = P_{\text{in}} - P_{\text{hid}} = 17,76 - 16 = 1,76 \text{ kW}$$

Boru hatlarındaki kayıplar ihmal edilirse motora ulaşan hidrolik güç $P_{\text{hid}} = 16$ kW olup motor tarafından sağlanan *mekanik güç*

$$P_o = P_{\text{hid}} \cdot \epsilon_m = (16). (0,9) = 14,4 \text{ kW}$$

Motor çıkışında ısıya dönüşen hidrolik güç

$$P_{\text{qm}} = P_{\text{hid}} - P_o = 16 - 14,4 = 1,6 \text{ kW}$$

Pompa ve motor tarafından üretilen toplam ısı

$$q_{\text{Aana}} = P_{\text{qp}} + P_{\text{qm}} = 1,76 + 1,6 = 3,36 \text{ kW}$$

Şarj pompası pompa ve motor çıkışındaki kaçakları karşılayarak şarj boşaltma valfi üzerinden geri kalan akışa ilave etmektedir.

Pompadaki kaçak

$$Q_{lp} = Q_t (1 - e_{vp}) = (71,06) (1 - 0,95) = 3,55 \text{ l/dak}$$

Motordaki kaçak

$$Q_{lm} = Q_t \cdot (1 - e_{vm})$$

Burada, Q motora ulaşan debi olmalı, bu nedenle

$$Q = Q_t - Q_{lp}$$

$$Q_{lm} = (Q_t - Q_{lp}) (1 - e_{vm}) = (71,06 - 3,55) (1 - 0,95) = 3,375 \text{ l/dak}$$

Kaçan debinin toplamı şarj pompası tarafından karşılanmalıdır.

$$Q_l = Q_{lp} + Q_{lm} = 3,55 + 3,375 = 6,925 \text{ l/dak}$$

Şarj boşaltma valfindaki debi

$$Q_{chrg} = 10,2 - 6,925 = 3,275 \text{ l/dak}$$

valftaki akış nedeniyle üretilen ısı

$$q_{chrg} = (1000) \cdot (3,275) / (60 \cdot 10^3) = 0,055 \text{ kW}$$

Valfta üretilen bu ısı A pompası kapalı devresinde üretilen 3,36 kW ile mukayese edildiğinde küçüktür. A pompa devresinde üretilen toplam ısı

$$q_A = q_{Aana} + q_{chrg} = 3,36 + 0,055 = 3,41 \text{ kW}$$

Sistem tarafından üretilen toplam ısı

$$q_{top} = q_A + q_B + q_C = 3,41 + 0,52 + 0,96 = 4,89 \text{ kW}$$

A pompa devresi ayırık hidrolik iletim devresi olduğundan pompa ve motor arasındaki hatlardan ısının atılma şansı bulunmaktadır. A pompa devresinde borular ve pompa ve motor yüzeylerinden kaybolan ısının % 25 oranında ve B pompası ve C pompası devrelerinden kaybolan ısının da % 50 oranında olduğu kabul edilirse atılması gereken ısı

$$q_{üretim} = (1 - 0,25) \cdot q_A + (1 - 0,50) \cdot (q_B + q_C) = 2,56 + 0,74 = 3,30 \text{ kW}$$

1500 mm x 800 mm x 1000 mm ebatlarında büyük bir yağ deposu kullanılırsa, istenen toplam soğutma

$$q_{soğ} = q_{üretim} - q_{depo} = 3,30 - 0,91 = 2,39 \text{ kW}$$

olacaktır.

Bu ısının atılması için 60°C yağ giriş sıcaklığı, 35°C hava sıcaklığı ve 90 l/dak yağ debisinde çalışan 2,39 kW lık bir yağ soğutucuya ihtiyaç bulunmaktadır. Bu amaçla kanatlı borulu ısı değiştiricisi imalatçıların kataloglarından $\Delta T = 60 - 35 = 45^\circ\text{C}$ sıcaklık farkı ve 90 l/dak yağ debisi tasarım değerine uygun 2,5 kW lık kanatlı borulu bir ısı değiştiricisi seçilmelidir.

2.2.2 Kirlilik Kontrolü

Akışkan güç sistemlerinde üç tip tahribat oluşur.

1. Verimsizlik: Elemanların performansları zamanla düşer, yüzeyler aşınır, boşluklar ve sızıntı artar.
2. Dalgalanma: Valfler sıkışır ve ardından dağılarak sistemin duraksamasına yol açar.
3. Arıza: Ana komponent koptuğu zaman büyük bir arıza meydana gelir. Sıklıkla diğer komponentlerin de arızalanmasına sebep olur ve sistemin tamamen yenilenmesi gerekir.

Kirlilik kontrol elemanlarının seçimi, bakımı ve yenilenmesi ile bütün sistem arızalarının tahminen % 80 i önlenabilir. Bütün akışkan güç sistemlerinin operasyonunda ve özellikle basınçlı yağ devrelerinde sistemi temiz tutmak öncelikli konudur.

2.2.3 Verimlilik

Bir hidrolik devrede gerekli basınç yapılacak mekanik iş için gereken basınçtan % 23 daha fazla olmalıdır. Giren mekanik enerjinin bir kısmı çıkış enerjisine iletilemez. Mekanik enerji dönüşümü bir dişli kutusu ile yapılabilseddi, tek redüksiyonlu dişli kutuları verimi % 98-99, çift redüksiyonlu dişli kutuları verimi % 96-97 ve üç redüksiyonlu dişli kutuları verimi % 95 olurdu. Tipik bir hidrolik pompanın mekanik enerjiyi hidrolik enerjiye çevirme verimi % 85, hidrolik motorunda hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye çevirme verimi % 85 tir. Basınç düşmeleri dikkate alınmazsa toplam verim $0,85 \times 0,85 = 0,72$ olacaktır. Bu sonuçla giren mekanik enerjinin sadece % 72 lik kısmı mekanik enerjiye dönüşmektedir. Bütün devre tasarımlarında verimlilik söz konusudur. Giren mekanik enerjinin bir kısmı ısıya dönüşür. Hidrolik devrelerde üretilen ısı kaybolan ısıya eşit olana kadar yağ sıcaklığı artış gösterir..

2.3 KALIP VE YAĞ SOĞUTMA SİSTEMLERİ:

Plastik endüstrisinde, kalıp ve yağ soğutmada kullanılan temel sistemler şunlardır:

1. Su Soğutma Kuleleri
2. Chillerler (Soğuk Su Üretici Cihazlar)
3. Chiller ve Entegre Doğal Soğutma Bataryalı Sistemler (Free Cooling Chillerler)
4. Kuru ve Islak Kuru Soğutucular.

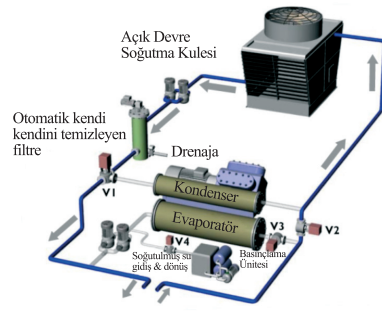
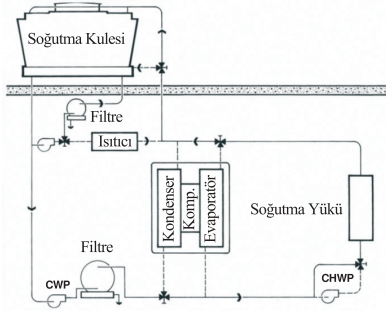
Takip eden bölümlerde yukarıda başlıklar halinde verilen soğutma sistemleri hakkında detaylı ve karşılaştırmalı bilgiler verilecek, farklı uygulama örnekleri aktarılacaktır. Soğutma uygulamaları bilgilerinin yanı sıra kuru soğutucu ünitelerinin malzeme, performans ve konstrüktif özellikleri hakkında da bilgi verilecektir [22].

2.3.1 Su Soğutma Kuleleri

Yağ soğutma işleminde kullanılabilecek yöntemlerden biri yağın ısısının su soğutma kulesinde soğutulan suya aktarılmasıdır. Tavsiye edilmemekle birlikte, kuleler kalıp soğutmada da kullanılmaktadır. Kuleden geçen havanın neme doyurulması vasıtasıyla, su ortamın kuru termometre sıcaklığının altında, tasarıma bağlı olarak yağ termometre sıcaklığının 3-6 °C kadar üzerinde bir sıcaklığa kadar soğutulabilir. Bir soğutma kulesinin performansındaki en önemli etken dış havanın yağ termometre sıcaklığıdır. Kule boyutları büyütülerek ideal koşullarda yağ termometre sıcaklığına çok yaklaşılabılır; ancak bu durumda yatırım maliyeti önemli oranda artacaktır. Su kulelerinde soğutma, suyun buharlaşması sırasında gerçekleşen ısı transferi sayesinde sağlanır. Bu sırada madde transferi de gerçekleşir; yani sistemden su kaybı olur. Su soğutma kulesinde birim zamanda ne kadar fazla su buharlaşıyorsa soğutma miktarı o kadar yüksek olacaktır. Dolayısıyla soğutma kulesinin su kaybı oldukça fazladır. Ayrıca, kuleden geçen hava su damlacıklarını kule dışına sürükler. Damlacık kayıpları su kaybını artıran önemli bir faktördür.

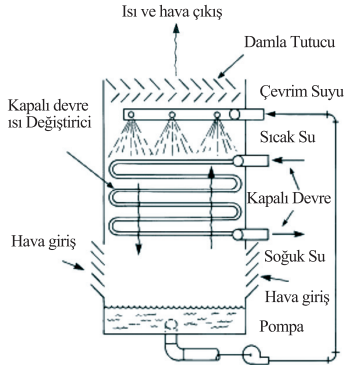
2.3.1.1 Açık Devre Su Soğutma Kuleleri

Bu sistemde buharlaşmaya bırakılan suyun sıvı olarak kalan kısmı soğutma suyu olarak kullanılmaktadır. Suyun buharlaşmasını kolaylaştırmak için hava ile temas yüzeyini artırmak amacıyla özel dolgu maddelerinden yararlanılmaktadır. Elde edilen soğutulmuş su proseste direkt olarak kullanılabileceği gibi, bir ara ısı eşanjörü kullanılarak proses tarafında kapalı devre su çevrimi de elde edilebilir. Açık devre olarak çalışan kulelerde bu sistemin temel avantajı şöyle özetlenebilir, ihtiyaç duyulan soğuk su sıcaklığı ortam yağ termometre sıcaklığına en üst düzeyde yaklaştırılabilir [1]. Bu durumda serbest soğutmadan sağlanan fayda da en üst düzeyde olacaktır. Ancak, sistemdeki ciddi dezavantaj göreceli olarak kirli kule suyunun temiz soğuk su sisteminde kirlenmeye yol açmasıdır. Kirlenme filtrasyon vb. yöntemler ile çözülmeye çalışılsa dahi yine de bu sistem son dönemde uygulamacılar tarafından kaçınılan bir yapıdadır. Kapalı devre-indirekt sistemler olarak çalışan soğutma kulesi uygulamaları ya da aynı ihtiyacı karşılayacak kuru soğutucu uygulamaları bu durumu ortadan kaldırmaktadır.



Şekil 12. Direkt Sistem-Açık devre su soğutma kuleli sistemler prensip şemaları [23], [24]

2.3.1.2 Kapalı Devre Su Soğutma Kuleleri



Açık devre su soğutma kulesindeki yüzey arttırıcı dolgu maddesi yerine bir eşanjör kullanılarak kuleden alınan suyun kapalı bir devre içinde devirdaim yapması sağlanır. Kapalı devre su kuleleri yağ soğutucu eşanjöre gelen soğutma suyunun kalitesi açısından daha avantajlıdır; ancak açık devre su kulelerine göre 2-3°C kadar daha yüksek bir su sıcaklığı elde edilebilir. Ayrıca, kapalı devre su kuleleri toplam su harcaması bakımından açık devre su kuleleri ile aynı su kaybına sahiptir.

Şekil 13. Kapalı Devre Soğutma Kulesi Uygulaması [23]

Su kuleleri, ilk yatırım maliyeti açısından avantajlı görünmekle birlikte, işletmede sorunlarla karşılaşmaktadır. Su soğutma kulesi suyunun direkt kullanılması halinde soğutma eşanjörlerinde kireçlenmeye ve kirlenmeye neden olmaktadır. Ayrıca, su kulelerinde kullanılan suyun buharlaşma nedeniyle eksilen kısmının sürekli olarak takviye edilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak, kule haznesinde biriken tortulardan kurtulmak için belirli aralıklarla suyun blöf edilmesi gerekir. Haznedeki su, buharlaşma sonucu eksilen suyun içindeki kireç ve benzeri maddelerin sistemde birikmesi nedeniyle çok yüksek sertlik ve kirlilik değerlerine ulaşabilmektedir. Bu nedenlerle, yağın kule suyuyla soğutulması düşünüldüğü takdirde, sistemin su kaybı ve su kalitesi yönünden incelenmesi gerekir.

2.3.2 Chillerler (Soğuk Su Üretici Cihazlar)

Kompresörde basıncı yükseltilecek soğutucu akışkan buharı, kondenserde ısısını çevreye vererek yoğunlaştıktan sonra genişleme valfinden geçerek basıncı düşer ve evaporatörde buharlaşırken soğutma suyundan ısı alarak suyu soğutur. Plakalı tipler de az olarak kullanılmakla birlikte, evaporatör genel olarak boru-kovan (shell-and-tube) tipindedir: boruların içinden soğutucu akışkan, dışından su geçer. İstenilen soğutma suyu sıcaklığı 6-16 °C dolayındaysa evaporatörden alınan su direkt olarak kullanılabilir, yağ soğutma işleminde daha yüksek sıcaklıkta soğutma suyu eldesi için bir ara eşanjöre veya vana ile regülasyona ihtiyaç vardır; yoksa yağ normalden fazla soğuyabilir.

Soğuk su üretici Chiller grubu, kullanılan kondensere göre iki tipte olabilir:

1. Su Soğutmalı Soğuk Su Üretici Gruplar (Su Soğutmalı Chillerler)
2. Hava Soğutmalı Soğuk Su Üretici Gruplar (Hava Soğutmalı Chillerler)

2.3.2.1 Su Soğutmalı Soğuk Su Üretici Gruplar (Su Soğutmalı Chillerler)

Su soğutmalı soğuk su üretici gruplarında su soğutmalı kondenser kullanılır. Kondenser boru-kovan tipindedir. Boruların dışından geçen soğutucu akışkan buharı boruların içinden geçen su tarafından soğutulur. Küçük sistemlerde şebeke suyu kullanılabilir; sanayi uygulamalarında ise su soğutma kulesinde soğutulan sudan yararlanılır. Bu nedenle, su soğutma kulesi ile ilgili karşılaşılabilecek sorunlar su soğutmalı kondenserli chiller grubu uygulamalarında da göz önüne alınmalıdır. Ayrıca, yazın en yüksek sıcaklıkta soğutma ihtiyacını karşılayacak şekilde tasarlandığı ve ayarlar bu şartlara göre yapıldığından dolayı, kışın hava sıcaklığının çok düşük olduğu zamanlarda sistemin çalışmaya devam edebilmesi için ciddi ve karmaşık önlemler alınması gerekmektedir.

Plastik makinesi soğutma sistemlerinde soğutma ihtiyacının su soğutmalı veya hava soğutmalı bir chiller grubu ile karşılanması durumunda işletme ve yatırım maliyetlerinin yüksek olacağı, dikkate alınması gereken bir diğer konudur.



Şekil 14. Su soğutmalı chiller grupları [25], [26]

2.3.2.2 Hava Soğutmalı Soğuk Su Üretici Gruplar (Hava Soğutmalı Chillerler)



Hava soğutmalı soğuk su üretici gruplarında hava soğutmalı kondenser kullanılır. Kanatlı-borulu eşanjörün içindeki yüksek basınçlı soğutucu akışkan buharının ısısı, eşanjör dışından cebri olarak geçirilen ortam havasına aktarılarak soğutucu akışkan yoğusturulur. Eşanjör kanatları üzerinden hava aksiyal ya da radyal fanlar yardımıyla geçirilir.

Şekil 15. Hava soğutmalı chiller [25]

2.3.3 Chiller ve Entegre Doğal Soğutma Bataryalı Sistemler (Free Cooling Chillerler)

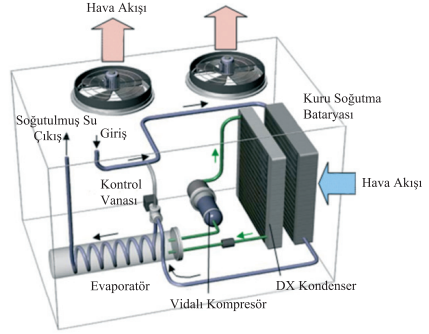
Enerji verimliliğinin tesisatlarda giderek ön plana çıkması tesislerde enerji tüketiminin hatırı sayılır bir kısmını yaratan soğutma gruplarının tasarımlarını da etkilemeye başlamıştır. Geleneksel soğutma gruplarından farklı olarak entegre doğal soğutma bataryalı gruplar uygulamalarda kendilerini hissettirir olmuşlardır. Örneğin İngiltere’de yıllık soğutma ihtiyacının %62’sinin doğal soğutma ile sağlanmasında entegre doğal soğutma bataryalı su soğutma gruplarının etkisi vardır. Bu ülkede yıllık soğutma ihtiyacının yalnızca %38’i mekanik soğutma ile sağlanmaktadır [24].

Entegre doğal soğutma bataryalı gruplar proses soğutma uygulamaları için ciddi enerji tasarrufu sağlayan alternatif sistemdirler. Hem mekanik soğutma hem de doğal soğutma (kısmi ve tam) yapabilme kabiliyetine sahiptirler [24].

Şekil 16.a’da entegre doğal soğutma bataryalı su soğutma grubunun kasetlenmiş ünite halinde resmi, Şekil 16.b’de ise bu tip grupların yapısı basitleştirilmiş olarak gösterilmektedir. Doğal soğutma bataryası hava soğutmalı kondenser bataryasının - ünitenin hava giriş yönüne göre - ön kısmına yerleştirilir. Ortam sıcaklığının dönüş suyu sıcaklığının altına düşmesi ile birlikte kontrol vanası dönüş suyunu doğal soğutma bataryasına ön soğutma ya da tam doğal soğutma amaçlı olarak gönderir [24].



Şekil 16.a Entegre Doğal Soğutma bataryalı hava soğutmalı su soğutma grubu [27]

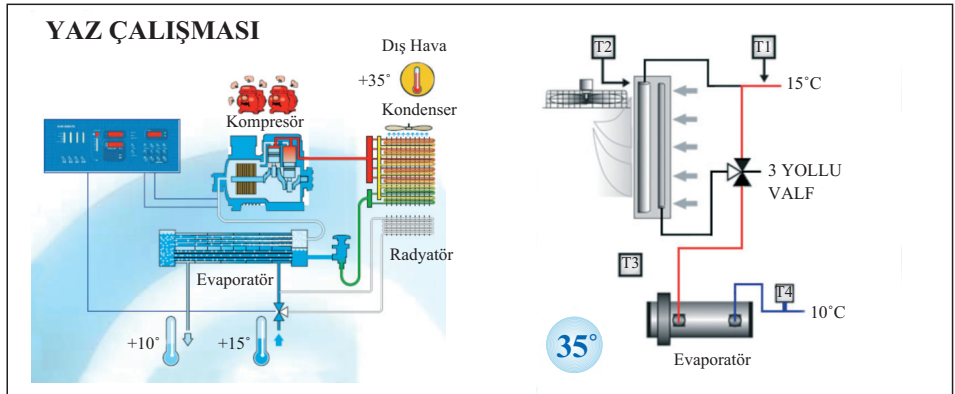


Şekil 16.b Entegre Doğal Soğutma bataryalı hava soğutmalı su soğutma grubu şematik [24]

Aşağıda yaz, kış ve bahar dönemlerinde entegre doğal soğutma bataryalı hava soğutmalı su soğutma gruplarının çalışma mantığı görsel olarak verilmektedir. Kuru soğutma sistemlerinde de temel olarak aynı yaklaşım mevcut olup grup ile kuru soğutucu ayrı ayrı üniteler olarak çalışmaktadır.

Yaz Mevsimi Çalışma Koşulu

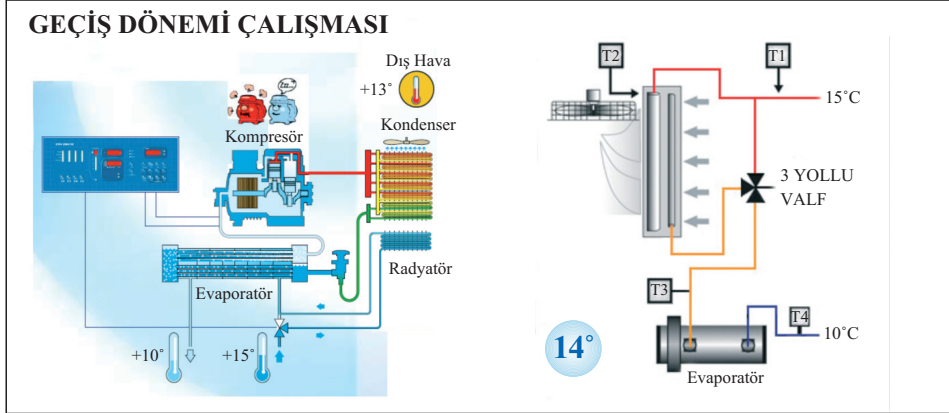
Ortam sıcaklığı istenilen soğuk su sıcaklık değeri ve dönüş suyu sıcaklık değerinin üzerindedir. Soğuk su ihtiyacı tamamen geleneksel soğutma çevrimi içerisinde soğutma grubunun kompresörünün çalışması ile sağlanır. Doğal soğutma bataryası çalışmamaktadır (Bakınız: Sekil 17).



Sekil 17. Entegre doğal soğutma bataryalı soğutma grubu yaz mevsimi çalışma koşulu [28], [29]

Geçiş Mevsimleri Çalışma Koşulu

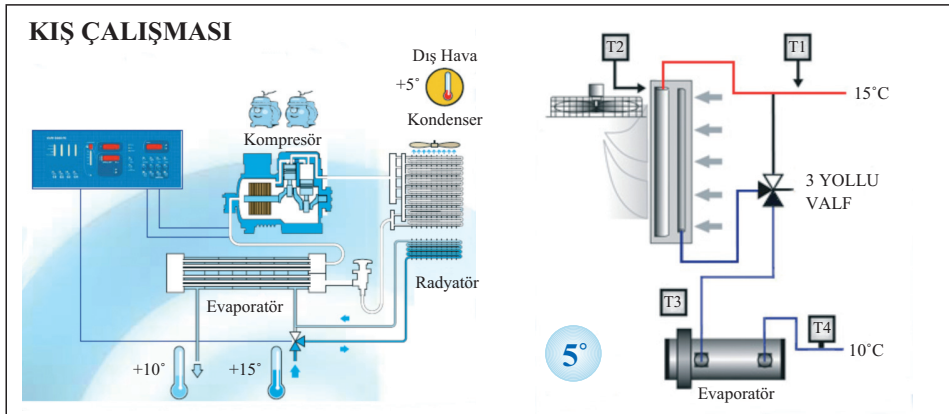
Ortam sıcaklığı istenilen soğuk su sıcaklık değerinin üzerinde ve dönüş suyu sıcaklık değerinin altındadır. Soğutma dönüş suyu öncelikli olarak doğal soğutma bataryasından geçirilerek ortam havası ile ön soğutma yapılır. Doğal soğutma kapasitesi ortam sıcaklık değerine bağlıdır. Üç yollu vana ve kontrol ünitesi vasıtası ile doğal soğutmadan yararlanılır (Bkz: Şekil 18).



Şekil 18. Entegre Doğal Soğutma bataryalı su soğutma grubu Bahar Mevsimleri çalışma koşulu [28], [29]

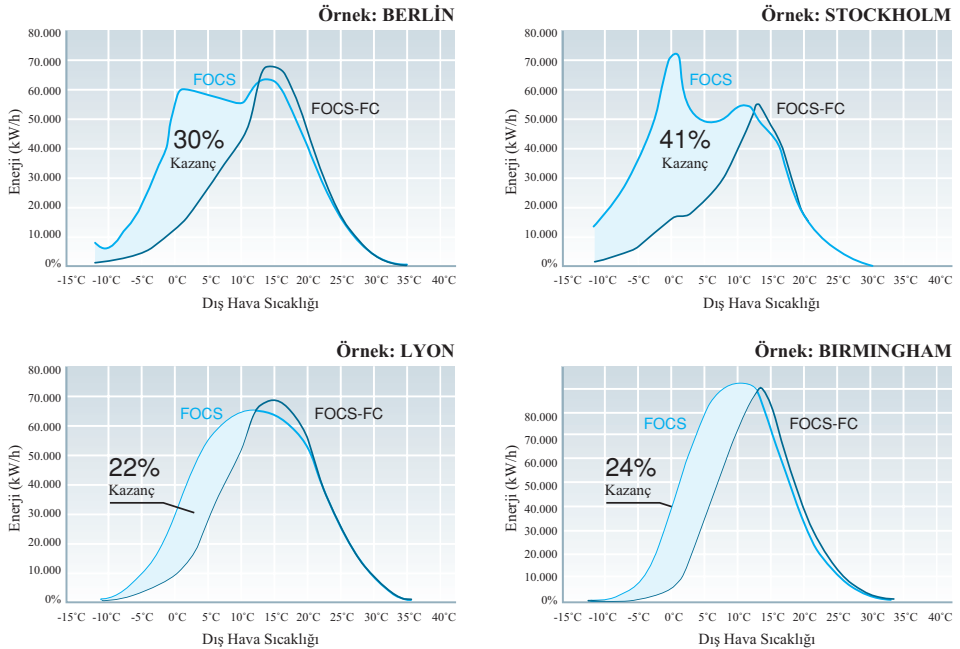
Kış Mevsimi Çalışma Koşulu

Ortam sıcaklığı istenilen soğuk su sıcaklık değeri ve dönüş suyu sıcaklık değerinin altındadır. Sistemde ihtiyaç duyulan soğuk su tamamen ortam havası vasıtası ile doğal soğutma bataryası tarafından sağlanır. Bu durumda soğuk su elde edilmesi için harcanacak enerji yalnızca Soğutma grubunun üzerindeki fanların çektiği güç kadar olacaktır. (Bkz: Şekil 19).



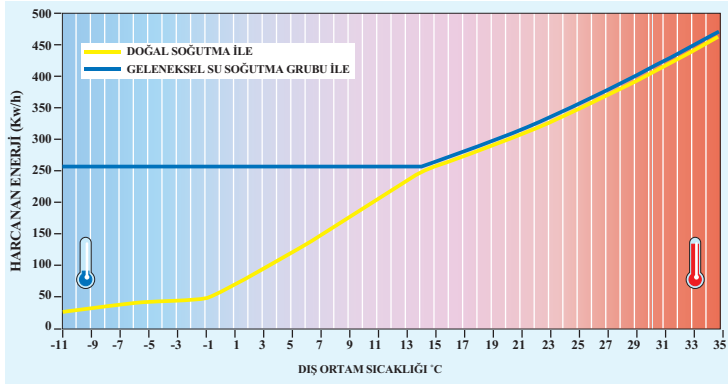
Şekil 19. Entegre doğal soğutma bataryalı su soğutma grubu kış mevsimi çalışma koşulu [28], [29]

Doğal soğutmanın iklimlendirme sistemlerinde kullanılması esnasında oluşan kazancı göstermek amaçlı olarak chiller üreticisi bir firmanın entegre doğal soğutma bataryalı soğutma gruplarına yönelik olarak Avrupa'nın dört farklı şehrinde yaptığı ölçümlere bağlı sonuçlar aşağıda grafikler halinde verilmiştir (Bkz: Grafik 1). Soğuk iklim bölgelerindeki yerleşimlerde doğal soğutma veriminin yükseldiği açıklıkla görülmektedir.



Grafik 1. Avrupa'daki dört farklı şehirde çalışan klima sistemine uygulanan doğal soğutma bataryalı gruba ait dış sıcaklık verilerine bağlı enerji kazanç değerleri [30]

Aynı üreticinin Milano şehrindeki bir başka klima sistemi için entegre doğal soğutmalı grup uygulamasından çıkan sonuçlar aşağıdaki Grafik 1.'den görülebilir (T Dış ortam sıcaklığı: 30°C, T su gidiş / dönüş: 10°C/15°C, Glikol karışımı %30). Bu örnekte elde edilen verim üreticinin yaklaşımı ile %27,6 dır.



Grafik 2. Milano şehrinde çalışan klima sistemine uygulanan 1.123 kW soğutma kapasiteli gruba ait dış sıcaklık verilerine bağlı doğal soğutma karşılaştırma değerleri [30]

2.3.4 Kuru ve Islak–Kuru Soğutucular

2.3.4.1 Kuru Soğutucular

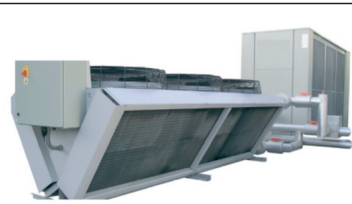
Su soğutma işleminde kullanılan kanatlı-borulu ısı değiştirgeçli bir diğer yöntem de Kuru Soğutucu olarak adlandırılan sistemlerdir (Şekil 20). Plastik, kimya, enerji vb. sektörlerdeki proses su soğutma tesisleri için ideal çözümdürler ve kullanım alanları oldukça yaygındır. Temel mantık sistemdeki dönüş suyu yükünün bir fanlı eşanjör sistemi yardımıyla havaya aktarılmasıdır. Fanlar (vantilatörler) ile emilen havanın kanatlar (lameller) arasından geçerken boru içindeki akışkanı soğutması esasına göre çalışır.



Şekil 20a.
Yatık Tip Kuru Soğutucu [22]



Şekil 20b.
V Tipi Kuru Soğutucu [22]



Şekil 20c. Soğutma grubu ve Kuru Soğutucu uygulaması [31]

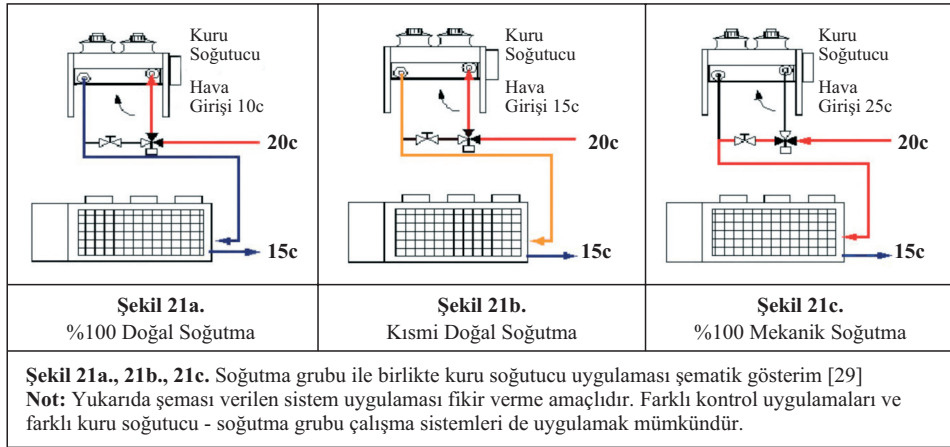
Kuru soğutucularda elde edilen su sıcaklığı ortamın kuru termometre sıcaklığına bağlıdır ve bu nedenle de kuru soğutucu olarak anılırlar. Kuru soğutucular ile kuru termometre sıcaklığının yaklaşık 5°C üzerine kadar soğutulmuş su elde edilebilir. Daha düşük sıcaklıklarda soğutma suyuna ihtiyaç duyulan durumlarda Islak-Kuru Soğutucular kullanılır.

Kuru soğutucular yukarıda açıklaması yapılan entegre doğal soğutma bataryalı sistemler ile aynı mantıkta çalışmaktadır. Tesiste kurulmuş bir su soğutma grubu mevcutsa ve düşük ortam sıcaklıklarında doğal soğutma işleminden faydalanılmak isteniyorsa kuru soğutucu sistemler bu durum için idealdir.

Kuru soğutucular plastik, kimya, enerji, iklimlendirme vb. sektörü içindeki uygulamalarda bir soğutma grubu ile birlikte kullanılabileceği gibi ayrıca soğutma suyu sıcaklıklarına bağlı olarak tek başına da kullanılabilmektedirler (Bkz: Şekil 20 ve 21 a., b., c.).

Kuru Soğutucuların Avantajları:

- Soğutma kulelerine alternatif çözümdürler.
- Sistemin kapalı devre çalışması sayesinde soğutma suyunun azalması problemiyle karşılaşılmaz, sürekli su ekleme gerekmez, kullanım suyu maliyetini düşürür.
- Kapalı devre çalışma sistemi sayesinde soğutma devresinde kirlenme meydana gelmez,
- Düşük bakım-işletme maliyetine sahiptirler.
- Otomatik kontrol ile hassas kontrol imkanına sahiptirler.
- Daha az yerleştirme hacmi gerektirirler.
- Doğal soğutma ile enerji tasarrufu sağlarlar.
- Verimlilikleri yüksek, ses seviyeleri düşük fanlar ile enerji tasarrufu sağlar ve gürültü kirliliğini engellerler.
- Legionella bakterisi oluşum riski yoktur.
- Çevre dostudurlar.



2.3.4.2 Islak/Kuru Soğutucular

Islak-Kuru Soğutucular, temel prensip olarak kuru soğutucular gibi çalışır. Sistemde gerektiğinde ek soğutma sağlayacak bir su spreyleme sistemi bulunmaktadır. Spreylenen su, giriş havası akışında adyabatik soğutma etkisi meydana getirir. Sistemdeki akışkanın dış ortam sıcaklığından daha düşük sıcaklık değerlerine kadar soğutulması gerektiğinde, basınçlı su püskürtme sistemi devreye girerek giriş havasını neme doyurur ve hava sıcaklığını ortam sıcaklığının altına düşürür.

Su püskürtme sistemi yıl boyunca yalnız en sıcak günlerindeki belli saatlerde termostat kontrollü olarak devreye girerek ihtiyaç duyulan ek soğutmayı sağlayarak özel durumlar için ek bir soğutma sistemi ihtiyacını ortadan kaldırır. Diğer zamanlarda kuru çalışma olacağı için sistemde su tüketimi yoktur. Spreyleme sistemi kuru soğutucuların yanı sıra hava soğutmalı su soğutma gruplarının kondenserlerine de uygulanabilir. Islak-kuru soğutucular temel mantık aynı olmak üzere beş farklı biçimde uygulanabilirler:

2.3.4.2.1 Doğrudan Su Spreyleme Sistemli Islak-Kuru Soğutucular

Aralıklı olarak yerleştirilmiş nozüllerden giriş havasına püskürtülen su zerrecikleri giriş havasını neme doyurmakta ve ortam yaş termometre sıcaklığına yaklaştırmaktadır. Spreyleme sisteminde kullanılan suyun sertliği alınmış ve filtrelenmiş olması gerekir; aksi halde eşanjör kanatları üzerinde biriken kireç ve tortu, zamanla eşanjörün kapasitesini düşürecek ve ömrünün kışalmasına neden olacaktır. Bu etkiyi önlemek için bir ağ sistemi üzerine su spreyleme yapılan Ağ Üzeri Su Spreyleme Sistemli Islak-Kuru soğutucular geliştirilmiştir. Islak-Kuru Soğutucularda aşındırıcı etkiye karşı ek önlem olarak epoksi kaplı lamel kullanılmalıdır. Epoksi kaplama, ortamdaki tuz ve aside karşı oldukça yüksek dayanıma sahiptir. Ünitenin epoksi toz boyalı galvaniz sac yada ileri korozif ortamlarda paslanmaz çelik olması tercih edilir. Su kulesine kıyasla suyun zararlı etkilerine çok daha az maruz kalmasına karşın, Islak-Kuru Soğutucuların uzun ömürlü olması için bu önlemlerin alınması önemlidir.



Şekil 22. Doğrudan su spreyleme sistemli Islak-kuru soğutucu [22]

Giriş havasının neme doyurulabilmesi amacıyla harcanacak su miktarı kullanılan püskürtücüye ve püskürtme basıncına göre değişiklik gösterir. Seçim, ortam havasının bağıl nemine bağlıdır; bağıl nemi %100'e mümkün olduğunca yaklaştırmak için yeterli miktarda ve kalitede su püskürtüldüğünden emin olunmalıdır. Bu nedenle tamamen buharlaşacak miktardan bir miktar daha fazla su püskürtülür ve artan su ortamda sıvı olarak kalır. Bu önlem, püskürtme sisteminin performansında zamanla oluşabilecek kayıplara karşı da emniyet sağlar.

2.3.4.2.2. Sisleme (Fogging) Sistemli Islak-Kuru Soğutucular

Doğrudan su spreyleme sistemlerine benzer bu uygulamada yüksek basınçta (70 bar) nozüllerden 35 mikronun altında püskürtülen su zerrecikleri giriş havasını neme doyurmakta ve ortam yağ termometre sıcaklığına yaklaştırmaktadır. Bu sistemde de spreyleme sisteminde olduğu gibi kullanılan suyun sertliği alınmış ve filtrelenmiş olması gerekir.



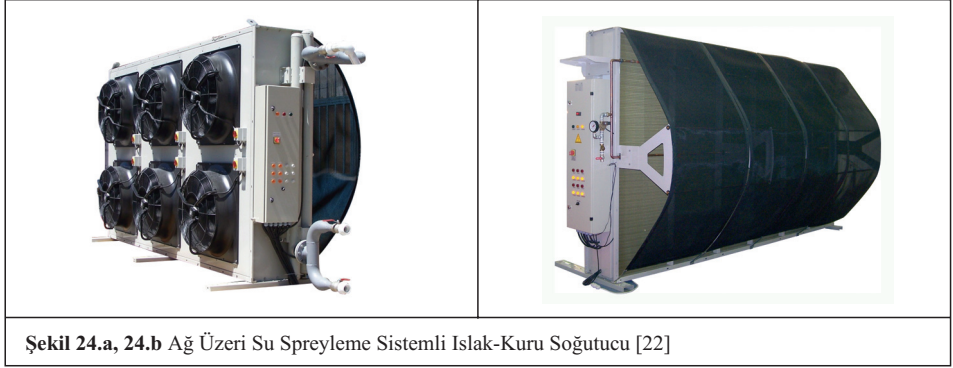
Şekil 23. Sisleme Sistemli Islak-Kuru Soğutucu [22]

2.3.4.2.3. Ağ Üzeri Su Spreyleme Sistemli Islak-Kuru Soğutucular

Ağ üzeri su spreyleme sistemi, kuru soğutucuların ön kısmına yerleştirilmiş geniş sık gözlü ağ yapılı malzemenin üzerine belirli mesafelerde bulunan nozullardan aralıklı olarak sistemin ihtiyacı kadar su spreyleme ve spreylene suyun adyabatik olarak buharlaşması sonucu ısı değiştirgeci yüzeyine temas eden giriş havası sıcaklığının düşürülerek, soğutmada verimin artırılmasını sağlama mantığı ile çalışan sistemdir [22], [32].

Daha önce de açıklandığı üzere su spreyleme, giriş havası akışında adyabatik soğutma etkisi meydana getirir. Belirlenmiş set değerlerinin aşılması ile kontrol sistemi ısı değiştirgecine giren hava sıcaklığını düşürmek için su spreyleme sistemini başlatır. Çok kuru iklim şartlarında su spreyleme sistemi giriş havası için 15°C ile 20°C arası değerlere varan adyabatik soğutma sağlayabilir [32].

Su spreyleme sisteminin çalışma süresi ve frekans ayarı, sistem performansının optimizasyonu ve su tüketiminin en aza indirilmesi amacı ile sürekli olarak kontrol cihazı tarafından sağlanır. Su, ısı değiştirgeci yüzeyine doğrudan püskürtülmediği, ağ yüzeyine püskürtüldüğü için lamellerin üzerinde kireç tabakası oluşmaz. Böylelikle ısı transfer verimliliğinin düşmesi engellenir. Bu sistemde su yumuşatma işlemine ayrıca gerek de kalmamaktadır.



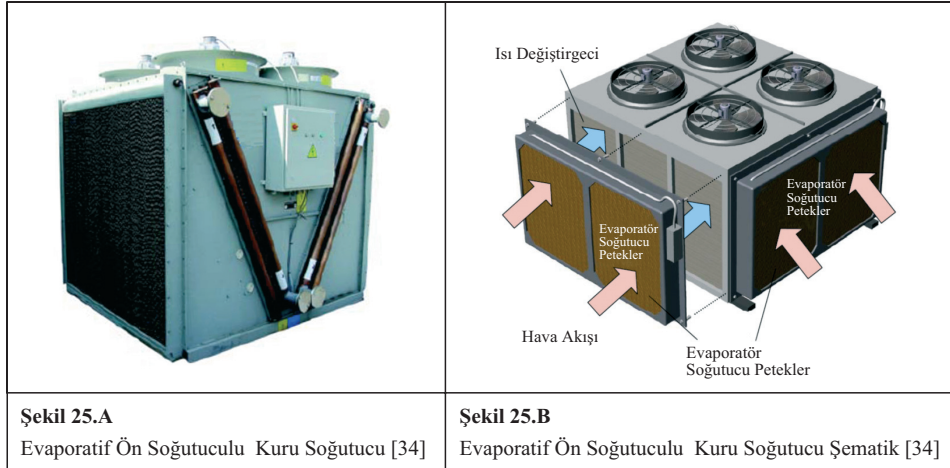
Şekil 24.a, 24.b Ağ Üzeri Su Spreyleme Sistemli Islak-Kuru Soğutucu [22]

Tablo 2.'de kontrol cihazı çalışma prensibi verilmiştir. Örneğin, operatör $H=35^{\circ}\text{C}$ bir üst ayar sıcaklığı tanımlamış ise, bu sıcaklığın altında spreyleme süresini $1=30$ saniye ve iki spreyleme arası durma süresini $2=30$ saniye ayarlayabilir. Ortam sıcaklığı 35°C üzerine çıktığı zamanlar da ise spreyleme süresini $3=60$ saniye ve iki spreyleme arası durma süresini $4=15$ saniye ayarlayarak spreyleme yoğunluğunu değiştirebilir. 5 ve 6 nolu ayarlar ile bağımsız kontrol yaptırma durumu da mevcuttur [33].

Tablo 2. AĞ ÜZERİ SPREYLEME KONTROL CİHAZI ÇALIŞMA PRENSİBİ [33].			
1. Durum: “t” ortam sıcaklığının L (Alt Sınır Ayar Sıcaklığı) ve H (Üst Sınır Ayar Sıcaklığı) arasında olması durumu		2. Durum: “t” ortam sıcaklığının H’ın (Üst Sınır Ayar Sıcaklığı) üzerinde olması durumu	
$L < t < H$		$t > H$	
1	Ortam sıcaklığının (t), belirlenen alt sınır set sıcaklığı (L) ile üst sınır set sıcaklığı (H) arasında bir değerde olması durumunda spreyleme yapılma süresi (Saniye)	3	Ortam sıcaklığının (t), belirlenen üst sınır set sıcaklığı (H) üzerinde bir değerde olması durumunda spreyleme yapılma süresi (Saniye)
2	Ortam sıcaklığının (t), belirlenen alt sınır set sıcaklığı (L) ile üst sınır set sıcaklığı (H) arasında bir değerde olması durumunda iki spreyleme arası zaman (Değer x 60 saniye)	4	Ortam sıcaklığının (t), belirlenen üst sınır set sıcaklığı (H) üzerinde bir değerde olması durumunda iki spreyleme arası zaman (Değer x 60 saniye)
3. Durum: Sıcaklık değerlerinden bağımsız olarak çalışma			
5	Sıcaklık değerlerinden bağımsız olarak çalışma durumunda spreyleme yapılma süresi (Saniye)		
6	Sıcaklık değerlerinden bağımsız olarak çalışma durumunda iki spreyleme arası zaman (Değer x 60 saniye)		

2.3.4.2.4 Evaporatif Ön soğutuculu Kuru Soğutucular

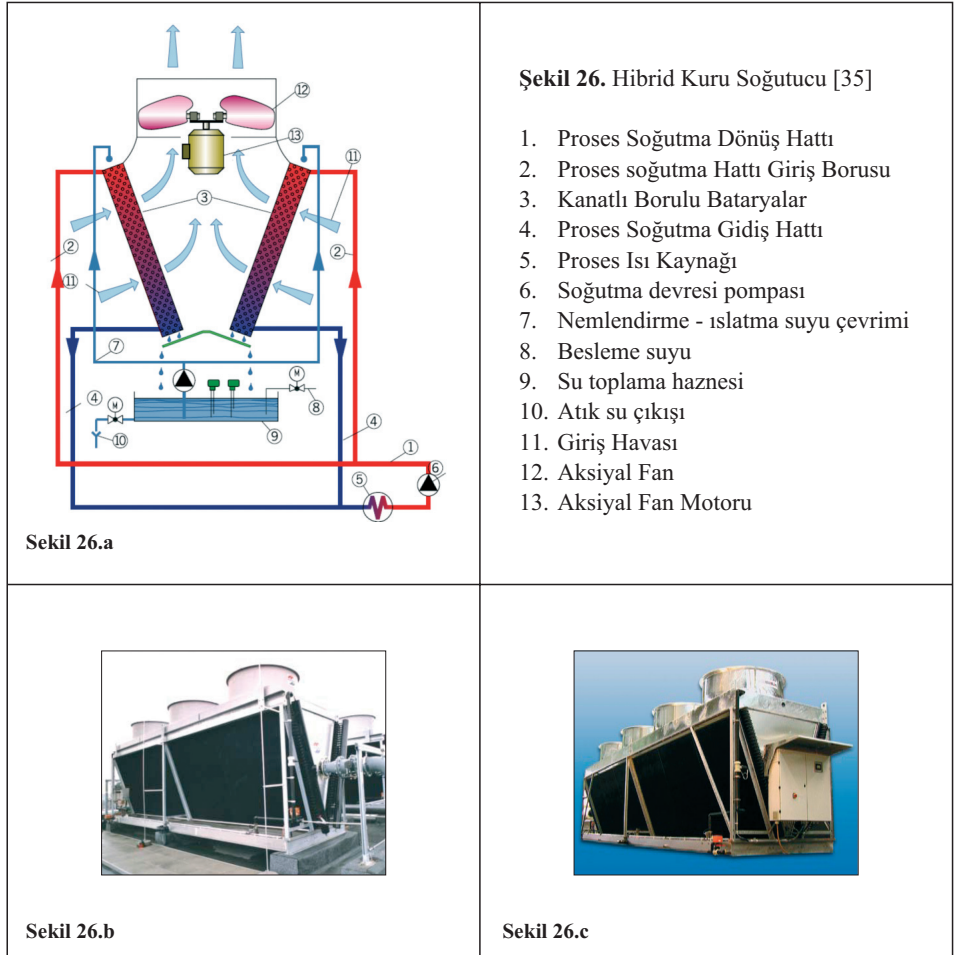
Evaporatif ön soğutuculu kuru soğutucuların çalışmasındaki temel mantık da ortam sıcaklığını yaş termometre sıcaklığına yaklaştırmaktır. Isı Değiştirgeçlerinin ön kısmına yerleştirilen evaporatif peteklerin üzerinden şebeke basıncındaki suyun akıtılarak peteklerin ıslatılması vasıtası ile havanın geçerken evaporatif ön soğutması sağlanır [1]. Ön soğutucuların tasarımları imalatçı firmalara göre farklılık göstermekle birlikte kasetleme malzemesi genellikle paslanmaz çeliktir. Petekler farklı kalınlıklarda imal edilebilirler. Su, ünitenin yukarısında yer alan dağıtım borusundan püskürtülür ve ünitenin altında toplanarak sirküle ettirilir. İlave su ise, taze su kullanılarak sağlanır.



Ön soğutma performansı hava şartlarına ve ünite verimliliğine doğrudan bağlı olmasına karşın, BSRIA hesapları bize Londra gibi bir yerde enerji tasarrufunun %10-12 olabileceğini göstermiştir [1]. Evaporatif soğutucu peteklerin uygulanacakları ünitenin giriş havası basınç kaybını yükselteceği ve buna uygun fan ve motor seçimi yapmak gerekliliği unutulmamalıdır. Evaporatif ön soğutucu sistemin en büyük dezavantajı, havadan gelen toz ve kirin peteklerde toplanmasıdır. İyi bir temizlik ve bakım işlemi yapılmadığı sürece lejyonel vb. bakterilerin su haznesinde oluşması engellenemez. Dolayısıyla mutlaka sık periyotlarda bakım gerektirmektedir. Evaporatif soğutuculu sistemlerin işletme maliyetleri son derece düşüktür. Kış aylarında adyabatik ön soğutma gerekmediğinden, petekler kolayca sökülüp depolanabilir.

2.3.4.2.5 Hibrid Kuru Soğutucular

Spreyleme sistemli bir diğer ıslak-kuru soğutucu tip “Hibrid Kuru Soğutucu” olarak adlandırılan sistemdir. Temel olarak diğer adyabatik soğutucular ile aynı mantıkta çalışırlar. Bir su haznesinden sağlanan su doğrudan lameller üzerine verilmekte ve bu şekilde sirküle ettirilmektedir (Bkz. Şekil 26 a.,b.,c.) [35]. Bu sistemlerde suyun sertliği alınmış olması veya belirli zamanlarda hızla blöf edilmesi gerekir.



2.3.4.3 Kuru ve Islak Kuru Soğutucuların Tasarım ve Performans Kriterleri

2.3.4.3.1 Temel Tasarım Verileri

Bir kuru soğutucunun ihtiyaç duyulan performansı gösterebilmesi için dikkat edilmesi gereken tasarım kriterleri vardır. Diğer bir bakış açısından ele alınırsa, bazı noktalar belirlenmeden verilen soğutma kapasitesi bilgisi anlamlı değildir.

Doğal soğutma sistemlerinde kullanılan kuru soğutucuların tasarım ve seçimi için gerekli veriler ünitenin boyutları, ortam giriş havası kuru ve yaş termometre sıcaklıkları, proses su girişi ve çıkışı sıcaklıkları, su debisi, su tarafı basınç kaybı istenen değeri, glikol oranı ve istenen soğutma kapasitesi değerleridir.

Üretici firmalar, yukarıda belirtilen tasarım verileri ve istenen ek özelliklerin bilinmesi sureti ile kendi üretim tekniklerine uygun olarak kuru soğutucu tasarımı ve imalatı yapabilir. Üretici firmanın performans onaylı tasarım yazılımının olması ve bataryaların bu yazılım/program yardımı ile tasarım edilmesi sonradan ortaya çıkabilecek telafisi zor olumsuz durumları önlemede çok önemlidir.

2.3.4.3.2 Akışkan Özellikleri

Sistemin soğutma suyu ihtiyacında %100 su kullanılabileceği gibi, eksi dış ortam sıcaklığı altında çalışan sistemlerde donmayı önlemek için glikol-su karışımı (salamuralı) suyun kullanılması gerekmektedir. Örneğin, hacmen %20 etilen-glikollü bir karışım yaklaşık -8°C, %30 etilen-glikollü bir karışım ise yaklaşık -16 °C'a kadar koruma sağlar [36] (Bkz. Tablo 3)

Kuru Soğutucularda Donma:

Kış aylarında kuru soğutucularda donma riskine karşı önlem alınmalıdır. Aksi takdirde, iç akışkanın donması sonucu borularda oluşacak tahribatın onarılması neredeyse imkansızdır (Onarım yapılabilse bile, getireceği ek maliyetin yanında, kuru soğutucunun performansının düşmesi de söz konusudur). Ülkemizde, donma sonucu kullanılamaz hale gelmiş kuru soğutucuların tamamen yenilenmek zorunda kaldığı örneklerle sıklıkla rastlanmaktadır. Şekil 27.'de donma sonucu bir kuru soğutucunun borularında meydana gelmiş tipik hasar gösterilmektedir [22].



Şekil 27. Donma sonucu kuru soğutucu borularında meydana gelen tipik bir hasar [22]

Donma riskine karşı genel olarak uygulanan önlem, sistemin kullanım dışı bırakıldığı soğuk havalarda kuru soğutucu içindeki suyun boşaltılmasıdır. Bununla birlikte, borulama yapısından dolayı kuru soğutucu içindeki suyun tam olarak boşaltılması mümkün olmadığından, soğutma suyuna yeterli oranda antifriz (etilen-glikol) katılması gereklidir. Bu işlem ülkemizde sıklıkla meydana gelen plansız elektrik

kesintilerinden dolayı yaşanabilecek donma olaylarını önlemek için de gerekli bir durumdur.

Tablo 3.'te antifriz oranına göre karışımların donma noktası verilmiştir [36]. Burada dikkat edilmesi gereken nokta glikol oranının % 60'ının üstüne çıkması durumunda donma sıcaklıklarının yükselmeye başlamasıdır.

Tablo 3. ANTİFRİZ ORANINA GÖRE KARIŞIMIN DONMA NOKTASI [34]	
Hacimsel Karışım Oranı	Donma Sıcaklığı
%100 Su	0°C
% 90 Su + % 10 Glikol Karışımı Durumunda	-3°C
% 80 Su + % 20 Glikol Karışımı Durumunda	-8°C
% 70 Su + % 30 Glikol Karışımı Durumunda	-16°C
% 60 Su + % 40 Glikol Karışımı Durumunda	-25 °C
% 50 Su + % 50 Glikol Karışımı Durumunda	-37°C
% 40 Su + % 60 Glikol Karışımı Durumunda	-50°C
% 30 Su + % 70 Glikol Karışımı Durumunda	<-50°C
% 20 Su + % 80 Glikol Karışımı Durumunda	-45°C
% 10 Su + % 90 Glikol Karışımı Durumunda	-28 °C

Kuru soğutucu tasarımında ve seçiminde soğutma suyuna eklenecek glikol oranının da hesaba katılması gerekir. Aksi takdirde, suya eklenecek glikolun soğutma kapasitesinde yol açacağı düşüş, kuru soğutucudan beklenen performansın alınamamasına yol açacaktır. Dolayısıyla, kuru soğutucunun soğutma kapasitesinin değeri, tasarım şartları ve glikol oranı bilgisi verilmezse bir anlam taşımaz.

%100 Sulu Kuru Soğutucular (Düşük sıcaklıklarda Glikol-Antifriz kullanmaksızın %100 su ile Doğal soğutma yapılması):

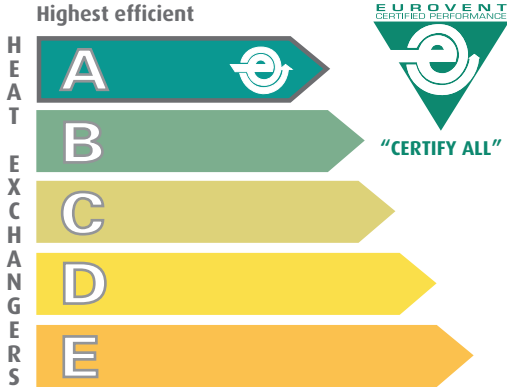
Glikol-su karışımı sistemin kullanımı durumunda, soğutucu bataryada donmayı önlemek için kullanılan glikol-su karışımının kapasitesinin %100 su kullanılan sistemlere göre çok daha düşük olduğu ve bu nedenle de daha büyük ısı transfer alanına, dolayısıyla daha büyük (maliyeti daha yüksek) bir soğutucu chillere gereksinim olduğudur. İkinci nokta ise kalıplarda glikol-su karışımının kullanılmasının sakıncalı olmasıdır ki bu durumda glikol-su sistemine göre dizayn edilmiş soğuk sulu ünite ile soğuk su devresi arasına ek bir plakalı ısı değiştirgecine ve ek sirkülasyon pompasına gereksinim duyulur. Bu durum tasarımcı ve kullanıcılar için genellikle tercih edilmez ve %100 su kullanan sistemler tercih edilir. Tasarım öncesi uygulama yeri ve sıcaklıklarına göre bu durumlar muhakkak dikkate alınmalıdır.

Glikol kullanılmayan kuru soğutuculu sistemlerde donmanın olmaması yukarıda açıklanan nedenler ile önemlidir. Bu sistemlerde, suyun sirküle etmediği durumlarda kendiliğinden drenaj edileceği sistemler geliştirilmiştir. “Kendiliğinden drenaj sistemli kuru soğutucular” olarak da adlandırılan bu üniteler kullanımda avantajlar sağlamaktadır.

2.3.4.3.3 Kuru Soğutucularda Standart Kapasite ve Enerji Sınıflandırması

Kuru soğutucularda standart kapasiteler TS EN 1048 (Isı Değiştiriciler-Hava Soğutmalı Sıvı Soğutucular “Kuru Soğutucular” - Performansın Belirlenmesi İçin Deney Metotları) [37] standardına göre hacmen %34 etilen glikol oranı için tanımlanmaktadır.

Ürünlerde enerji verimliliği EUROVENT Rating Standard (For Forced Convection Air Cooled Liquid Coolers - Dry Coolers) 7/C/003-2007 standardına göre aşağıdaki tabloda verilen değer aralıkları için hesaplanabilir (Bkz. Tablo 4) [38].



Şekil 28. Kuru soğutucularda EUROVENT tarafından verilen enerji verimlilik sınıfını etiketi [38]

Tablo 4. ENERJİ VERİMLİLİĞİ SINIFI [38]

Sınıf	Enerji Sarfıyatı	Enerji Oranı (R)*
A	En Düşük (Extremely low)	$R \geq 110$
B	Çok Düşük (Very low)	$70 \leq R < 110$
C	Düşük (Low)	$45 \leq R < 70$
D	Orta (Medium)	$30 \leq R < 45$
E	Yüksek (High)	$R < 30$

*Enerji oranı "R", ürün standart kapasitesinin fan motorlarının toplam enerji tüketimine bölünmesi ile elde edilir.

2.3.4.4 Kuru ve Islak Kuru Soğutucuların Malzeme ve Konstrüktif Özellikleri

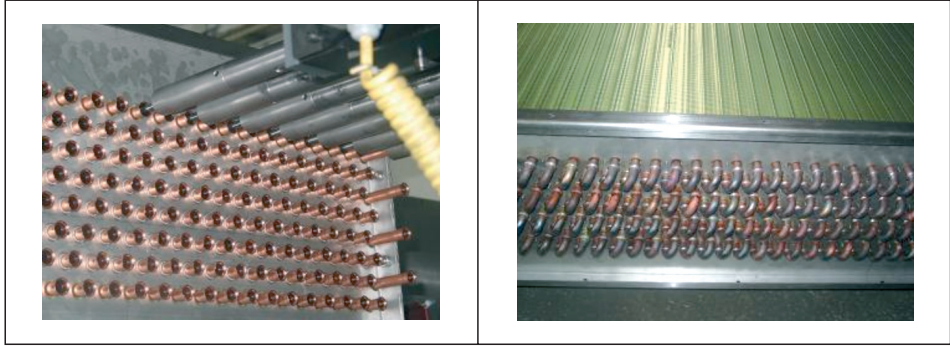
Soğutma ünitesinin ekonomik ömrü, kullanım şartlarına uygun malzeme seçimine bağlıdır ve özellikle ünite içerisindeki soğutucu batarya endüstriyel şartlara uygun olarak üretilmiş olmalıdır.

1. Soğutucu Batarya Özellikleri

Soğutucu bataryalar, 97/23/EC PED (Basıncılı Ekipmanlar Direktifi) altında tanımlanan SEP (Sound Engineering Practice) kapsamına uygun üretilmelidir. EUROVENT (Eurovent 7/C/005-97 Rating Standard for forced circulation air cooling and air heating coils) veya muadili bağımsız kuruluşların ölçüm standartlarının şartlarını sağlamalı; kapasite, hava tarafı basınç kaybı ve akışkan tarafı basınç kaybı değerleri açıkça tarif edilmiş test sonuçlarına dayanmalıdır. Aksi takdirde soğutucu ünitenin enerji verimliliği düşük olacak ve bu tüm sistem verimine olumsuz olarak yansıtacaktır.

2. Borular

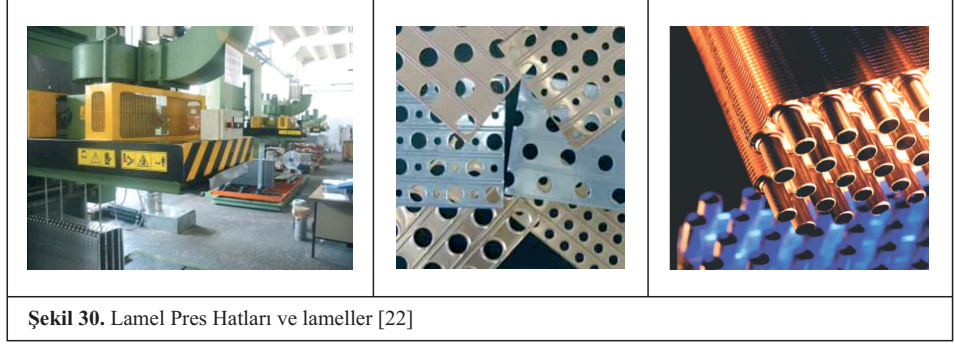
Soğutucu bataryalar için performans ve ekonomiklik göz önüne alındığında en uygun boru malzemesi bakırdır. Borularda kullanılan bakırın kalitesi, kuru soğutucunun ömrünü belirleyen en önemli özelliklerden biridir. Zayıf malzeme kullanılması durumunda özellikle büküm ve lehim yerlerinde sorunla karşılaşılır. Bu nedenle kullanılan bakır borular uluslararası standartlarda üretilmiş olmalıdır. Ürün üzerinden ölçümü mümkün olmadığı için, kuru soğutucu seçilirken mutlaka üreticiden boru et kalınlığı bilgisi alınmalıdır. Boruların ayna saclarına teması engellenmeli ve borularda kaçaksız uzun çalışma ömrü garanti edilmelidir.



Şekil 29. Boru Şişirme Makinesi ile Bakır Boruların Şişirme işlemi ve Dirseklerin (Kurveler) görünümü [22]

3. Lameller (Kanatlar)

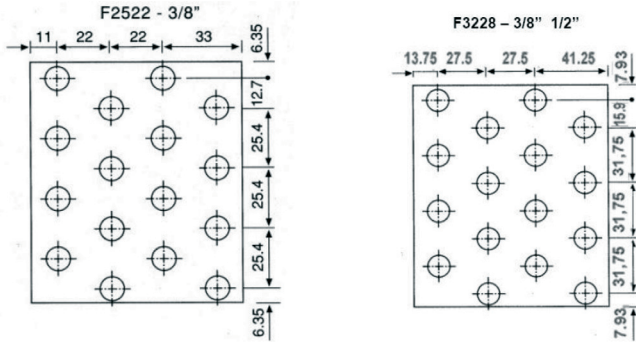
Kuru soğurucularda yaygın olarak kullanılan lamel malzemesi alüminyumdur. Genel uygulamalarda, Kuru soğutucunun ekonomik ömrünün uzun olması için epoksi kaplı alüminyum tercih edilir. Epoksi kaplama, ortamın aşındırıcı etkisine karşı lamel dayanımını önemli ölçüde artırır. Özellikle deniz yakınlarında ve enerji tesislerinde epoksi kaplı lamel uygulaması gereklidir. Epoksi kaplamanın yetersiz kalabileceği çok korozyif ortamlarda, epoksi ve poliüretan kaplama uygulaması tavsiye edilir.



Şekil 30. Lamel Pres Hatları ve lameller [22]

4. Lamel Geometrisi

Kuru soğutucu tasarımında boru çapı ve borular arasındaki mesafeleri tanımlayan lamel geometrisi, kapasite ve basınç kayıpları üzerinde etkilidir. Lamel geometrisi, tasarım şartlarında ihtiyaç duyulan soğutma kapasitesinin uygun basınç kayıpları dahilinde sağlanacağı şekilde üretici tarafından kendi standartları arasından seçilir. Yoğun borulu geometrilerin daha avantajlı kapasite/fiyat değeri verdikleri söylenebilir; fakat bu durumda basınç kayıpları da artacağı için optimizasyona gidilmesi gerekmektedir.



Şekil 31. Farklı lamel geometrileri [22]

Pratik olarak, aynı ısı transfer yüzeyine sahip fakat farklı lamel geometrisi kullanılmış Kuru soğutucuların, aynı şartlarda farklı soğutma kapasitesi ve farklı basınç kayıpları vereceğine dikkat edilmesi önemlidir.

5. Kasetleme

Kuru soğutucular kendini taşıyıcı bir konstrüksiyona sahip olmalı ve monte edileceği zemine ilave bir konstrüksiyona ihtiyaç duymadan yerleştirilebilmelidir.



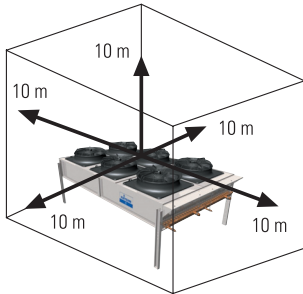
Şekil 32. Kuru Soğutucu ünite uygulaması [22]

Kuru soğutucularda kaset malzemesi, ortam şartlarına göre seçilir. Genel uygulamalarda kasetleme malzemesi olarak elektrostatik toz boya kaplı galvanizli çelik kullanılır. Daha dayanıklı malzemenin gerektiği yerlerde, paslanmaz çelik kasetleme tercih edilebilir ancak bu durum oldukça maliyetli olacaktır.

Her fan bölümü diğerinden sac levhalarla ayrılmalı, duran fanların ters dönüş etkisi önlenmelidir. Üniteler üzerinde müdahale kapaklarının olması tavsiye edilir.

6. Ses Seviyesi ve Fanlar

Özellikle yerleşim yerlerine yakın uygulamalarda kuru soğutucuların çalışma sırasında fazla gürültülü olmaması önemli bir kriter haline gelir. Temel olarak fan motorundan ve fan kanatlarının yapısından kaynaklanan ses seviyesi, üretici verileri değerlendirilerek belirlenir ve uygun sınırlar arasında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Gerekirse motor devri düşürülerek ses seviyesi azaltılabilir; bu durumda gerekli soğutma kapasitesinin sağlanması için ısı değiştiricisinin ısı transfer yüzeyi artırılmalıdır.



Şekil 33. Ses seviyesi hesabı için çevreleyici Yüzey (Hesaplama Ses basınç seviyesi, EN 13487'ye göre Çevreleyici Yüzey Metodu kullanılarak örn.:10 m mesafe için hesaplanır; ortamın ses izolasyon ve akustikğine göre değişebilir). [22]

Kuru ve Islak/Kuru Soğutucu seçiminde dikkat edilmesi gereken bir nokta da, tasarımın ortam sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda ihtiyaç duyulan soğutma kapasitesini sağlayacak şekilde yapılması gerekliliğidir. Ancak, hava sıcaklığının daha düşük olduğu zamanlarda, istenen

kapasitenin elde edilmesi için fanların hepsinin tam devirde çalışması gereksiz ve masraflı olur. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı üzerinden kontrol edilen sistemlerde, fanların düşük devirle çalıştırılması veya devreden çıkarılması ile sistem için uygun debide hava tedariki sağlanır. Otomatik kontrol ile birlikte çift devirli fanların, hız kontrol cihazlarının ve elektronik kontrollü (EC) fanların kullanılması sisteme ek enerji tasarrufu kazandıracaktır.

7. Çift Devirli Fanlar

Değişken debide hava sağlanması için en pratik yol, çift devirli fan kullanımudur. En yüksek çalışma devrinin 3/4'ü gibi bir ikinci hızda da çalışabilen bu fanlar sayesinde, hava giriş sıcaklığının tasarım sıcaklığının çok altına düştüğü zamanlarda önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Örneğin, 870 kW'lık 4 fanlı bir kuru soğutucu, ortam sıcaklığı 33 °C'tan 20 °C'a düştüğünde fan devri düşürülerek çalıştırılabilir. Bu durumda fan başına 0,75 kW az güç harcanır ki bu da % 40'a yakın tasarruf demektir. Bu örnek 4 fan içindir; çoğu tesiste çok daha fazla fanlı sistemler kullanılmaktadır.

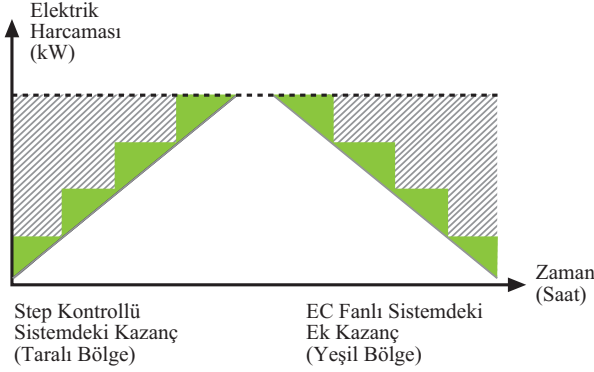
Örnekte kullanılan 800 mm çaplı fanın her iki devirde harcadığı güç ve daha düşük devirlerde kullanılabilecek diğer bir fana ait veriler Tablo 5'tedir. [39].

Tablo 5. 800 mm ÇAPLI FANIN HIZA BAĞLI HARCADIĞI GÜÇ [39]	
880 d/d	2,00 kW
660 d/d	1,25 kW
440 d/d	0,37 kW
330 d/d	0,20 kW

8. Fan Hız Kontrol Üniteleri

Tek devirli fanlarda da, çift devirli fanlarda da kullanılabilen kontrol üniteleri ile de hava debileri ihtiyaca göre değiştirilebilir. Fan devirleri üzerinde hassas kontrol gerekmeyen yerlerde, fanların sırayla devreye girdiği ve devreden çıktığı step kontrol sistemleri uygulanır. Fanların hangi sırayla çalışacakları kullanıcı tarafından tariflenebilmektedir; fan çalışma sürelerinin dengeli dağıtıldığı alternatifler de vardır. Step kontrol üniteleri fanın sadece açık ya da kapalı olması esasına göre çalıştığı için, fan devrinin kontrol edildiği sistemlerden daha ucuza mal edilebilmektedir. Bu nedenle, çok sayıda fanın bulunduğu ve hassas kontrol gerektirmeyen sistemlerde genellikle bu yöntem tercih edilir.

Aşağıdaki grafikte, 4 fanlı bir kuru soğutucunun step kontrollü çalışmada elektrik harcamasındaki tasarruf görülmektedir. Günün sıcak saatlerinde 4 fanın da çalıştığı, en serin saatlerde ise tek fanın yeterli olduğu kabul edilmiştir.



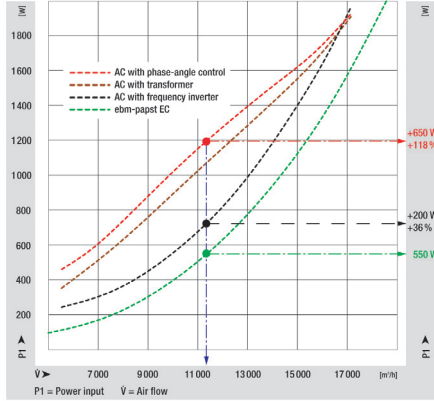
Grafik 3. Fanların step kontrol uygulanarak ihtiyaca göre devreye alındığı bir kuru soğutucuda bir günlük periyotta fanların elektrik harcaması. (Taralı alan, tüm fanların sürekli kullanılmaması sayesinde tasarruf edilen elektrik miktarını kWh olarak göstermektedir.)

Soğutma suyu dönüş sıcaklığının fazla değişmemesi istenen ve kullanılan fan adedinin az olduğu yerlerde step kontrol ile yeterli sonuç alınamaz. Böyle yerlerde fan devirlerinin kontrol edildiği ve dolayısıyla hava debisi üzerinde çok daha hassas kontrol sağlayan sistemler (frekans invertörleri/konvertörleri) kullanılır. Frekans invertörleri/konvertörleri ilk yatırım maliyeti açısından step kontrol ünitelerinden daha pahalıdır; bu nedenle genellikle tüm fanların ayrı frekans invertörleri/konvertörleri ile kontrol edildiği sistemler yerine, fanların gruplar halinde kontrol edildiği ve step kontrol üniteleri ile frekans invertörleri/konvertörlerinin birlikte kullanıldığı sistemler tercih edilmektedir.

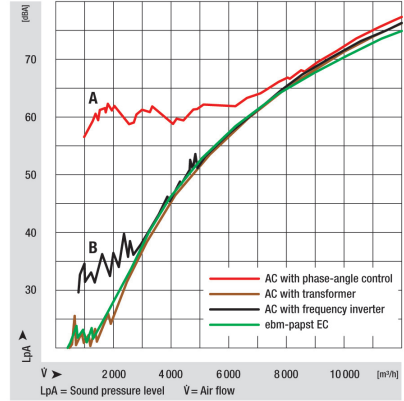
9. EC Fanlar

Farklı devir aralıklarındaki motor seçeneklerinin yanı sıra son yıllarda kullanım alanları hızla artan EC Motor teknolojisi kuru soğutma uygulamalarında da kullanılmaktadır. EC fanlar kutup sayılarından bağımsız olarak fan motorunun tüm hızlarda kontrol edilebilmesini sağlamaktadır. Grafik 4.A’da verildiği üzere EC Motor sistemleri, frekans invertörü-step kontrol-trafo, vb. konvansiyonel hız kontrol sistemleri ile karşılaştırıldığında nominal hızlarda ortalama % 10 enerji tasarrufu sağlamaktadır [40].

EC Motorların akustik avantajlı tasarımı sayesinde ne frekans konvertörlü sistemlerin istenmeyen rezonansları ne de faz kontrollü sistemlerin uğultuları, EC Motorlarda gözükmez. Bu sayede EC motor sistemlerinde daha düşük ses seviyeleri sağlanır. Grafik 54.B’den görüldüğü üzere EC motor sistemleri faz kontrollü ve frekans konvertörlü sistemlere nazaran asgari 4 dBA avantaj sağlamakla birlikte özellikle düşük fan hızları ve hava debilerine inildiğinde bu fark 15~30dBA civarına çıkmaktadır [40].



Grafik 4.A EC-Motor Güç Tüketimi [40]



Grafik 4.B EC Motor Ses Seviyesi [40]

Bölüm 3

...Üçüncü ve son bölümde, kalıp ve yağ soğutma amaçlı yapılmış farklı uygulama örnekleri, teknik ve maliyet yönleri ile detaylıca aktarılarak konunun daha fazla anlaşılması hedeflenmektedir.

BÖLÜM 3

PLASTİK SEKTÖRÜNDE KALIP VE YAĞ SOĞUTMA UYGULAMALARI

3.3 Uygulama Örneği - 1: Kuru Soğutucu ve Hava Soğutmalı Chiller Grubunun Birlikte Çalışması İle Verimliliğin İncelenmesi [41]

Kuru soğutucu ve hava soğutmalı chiller grubunun birlikte çalışması ile verimliliğin incelenmesi için, aşağıda kurgusu yazılmış bir senaryo ile ülkemizdeki 79 şehirde elde edilebilecek enerji kazancı hesaplanmıştır. Hesaplamadaki tüm kabul ve yaklaşımlar aşağıda verilmiştir:

1. Soğutma gereksinimi olan tesis, $T_{\text{soğutma suyu gidiş}} = 10^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{soğutma suyu dönüş}} = 15^{\circ}\text{C}$ şarta sahip bir proses suyu soğutma sistemi olarak kabul edilmiştir.
2. Sistemde günlük 20 saat / 365 gün boyunca soğutma istenmektedir.
3. Sistemdeki toplam soğutma yükü, 130 kw kabul edilmiştir.
4. Hesaplamalar su soğutma grubu ve kuru soğutucunun birlikte kullanımı ile enerji verimliliğinin ne miktarda olduğunu belirlemeye yönelik olduğu için, karşılaştırmaya ve hesaplama konu olan sıcaklık aralıkları $-18^{\circ}\text{C}/18^{\circ}\text{C}$ aralığındadır.
5. Su soğutma grubu ve Kuru soğutucunun birlikte kullanımı ile Enerji verimliliği incelemesi detaylıca ilk olarak İstanbul şehrimiz için yapılmış, sonrasında aynı yöntem kullanılarak tüm şehrimizde doğal soğutma ile enerji verimliliği hesaplanmıştır. Farklı şehirlerimize ait meteorolojik verileri D.M.İ (Devlet Meteoroloji İşleri) kaynaklarından [42] alınmıştır.
6. Çalışma bölgeleri ve çalışma senaryoları kabulü şu şekilde yapılmıştır (Bakınız Tablo 6):
 - %100 Mekanik Soğutma Aralığı: Ortam havası sıcaklığı, soğutma suyu dönüş sıcaklığının üzerinde olduğu zamanlar %100 mekanik su soğutma grubu çalışması gereklidir. $T_{\text{ortam}} > 13^{\circ}\text{C}$ olduğu zaman mekanik soğutma bölgesine girilir. Kondenser fanları ve kompresör %100 yükte çalışmaktadır. Kuru soğutucu çalışmamaktadır.
 - Yük Paylaşımı Aralığı: $13^{\circ}\text{C} \geq T_{\text{ortam}} \geq 6^{\circ}\text{C}$ olduğu zamanlar su soğutma grubu ve Kuru soğutucunun yük paylaşımı olarak çalıştıkları bölge olarak kabul edilmiştir. Ortam havası sıcaklığı dönüş suyu sıcaklığının en az 2°C altına düşmesi ile birlikte ($T_{\text{ortam}} = 15^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C} = 13^{\circ}\text{C}$) kuru soğutucu, ön soğutucu olarak, çalışmaya başlamaktadır. Su soğutma grubuna gönderilen dönüş suyu sıcaklığının düşmesi nedeni ile kompresör yükü de oransal olarak düşmektedir. (Çalışmada, soğutma grubu kompresörünün oransal olarak kapasite kontrollü olduğu varsayılmış ve buna uygun kompresör seçimi yapılmıştır. Ancak, hesaplamada kolaylık açısından belirli sıcaklıklar ve bu sıcaklıklara karşılık gelen oranlar kullanılmıştır. Oransal kontrol ile hesaplanan kazancın bir miktar daha fazla

olacağı hesaba katılmalıdır. Ayrıca, kuru soğutucu ve kondenser fanlarının adım (step) kontrollü olarak çalıştığı kabul edilmiştir.

• % 100 Kuru Soğutucu Çalışma Aralığı: Doğal soğutma bölgesi ortam havası sıcaklığı soğutma suyu gidiş sıcaklığının en az 5°C altında ve daha düşük sıcaklıklarda tamamen kuru soğutucu çalışır. Su soğutma grubu çalışmaz. Bu örnekte hava sıcaklığı, $T_{\text{soğutma suyu gidiş}} (10^{\circ}\text{C}) - 5^{\circ}\text{C} = 5^{\circ}\text{C}$ ve altındaki sıcaklık değerlerinde olduğunda sistem %100 kuru soğutucu (doğal soğutma) ile çalışmaktadır.

7. Karşılaştırmada kuru soğutucu olarak -enerji verimliliği sınıflarının verimlilik, maliyet ve geri dönüş sürelerine etkisinin de açıklıkla görülmesi için - A sınıfı, C sınıfı ve E sınıfı olmak üzere üç farklı enerji sınıfından ürün seçilmiştir.
8. Tablo 6'da A sınıfı Kuru Soğutucu değerleri verilmiştir. C ve E sınıfı ürünler için fan sayıları ve adım kontrollü olarak fanların devreye girip çıkması için değişim sıcaklıkları farklıdır. A, C ve E sınıfı ürünlere ait detaylı hesaplama değerleri Tablo 8.'de birlikte görülmektedir.

Kuru Soğutucu ve soğutma grubunun kapasite, güç ve yük paylaşım değerleri belirli sıcaklık derecelerine bağlı olarak Tablo 7A' ve 7B'de verilmektedir. Tablo 7A ve 7B için gerekli açıklamalar aşağıdadır.

Tablo 7A ve 7B için Notlar:

1. Karşılaştırmada Kuru Soğutucu olarak, A , C ve E sınıfı üçü farklı enerji sınıfından ürün seçilmiştir.
2. A sınıfı ürün FYKS 80 25 D 3 2,5 D E (10 Fanlı); C sınıfı ürün FYKS 63 26 D 3 2,1 L (12 Fanlı); E sınıfı ürün FYKS 80 22 D 4 2,1 D S (4 Fanlı) modelleri seçilmiştir [22].
3. Soğutma kompresörü oransal kontrol edilebilen RC2-140B model kompresördür [43].
4. Soğutma grubu kondenseri Hava soğutmalı FUH YK 63 25 C3 2,5 L modeli seçilmiştir [22].
5. Tablo 7A sadece A sınıfı Kuru Soğutucu içindir.

6. Tablo 7A’da (*) Yıldız ile işaretli kapasite değerleri 3 yollu vananın dönüş ve gidiş suyunu karıştırması ile 130 kw mertebelerinde olmaktadır. Diğer türlü kapasite yükselmekte, gidiş suyu sıcaklığı 10°C nin altına düşmektedir.
7. Kuru Soğutucuların farklı giriş sıcaklıklarındaki kapasite hesabı sabit akışkan debisi ile yapılmıştır.
8. Hesap aralığı -18/-15 ve +18/+15 °C olarak kabul edilmiştir.
9. Pompalama güçleri karşılaştırma hesabına katılmamıştır.
10. Yukarıdaki değerler üretici firmaların ürün seçim programları kullanılarak bulunmuştur.

Tablo 6. KURU SOĞUTUCU VE SOĞUTMA GRUBU BİRLİKTE ÇALIŞMA SENARYOSU (İSTANBUL)

Sıcaklık Tekrar Sıklığı (saat/Yıl)	0	0	0	0	15	95	389	913	1144	1090	1025	983								
Günlük 20 saat çalışma için Tekrar Sıklığı (saat/Yıl)	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	79.2	324.2	760.8	953.3	908.3	854.2	819.2								
Sıcaklık Aralığı (°C)	-18/-15	-15/-12	-12/-9	-9/-6	-6/-3	-3/0	0 / 3	3 / 6	6/9	10/12		1.								
												2.								
												%100 Mekanik Soğutma Bölgesi								
												%100 Mekanik Soğutma Bölgesi								
Çalışma Aralığı								4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15/18	33

Notlar:

- Kısmi bölge hesapları için kullanılan sıcaklık değerleri 6 / 9°C aralığı için 8 °C; 9 / 12°C aralığı için 11 °C; 12 / 15°C aralığı için 13 °C'dir. Bu sıcaklıklarda Kuru Soğutucunun ön soğutma yapması vasıtasıyla (örneğin olarak kontrol edilen yükte) kompresöre düşen yük sırasıyla %30, %60 ve %80 olmaktadır.
- Hava Giriş Sıcaklığının Dispersiyonlu Birlikte Kum Soğutucu ve kondenser fanları adım (step) kontrolli olarak devreden çıkmaktadır ve fan güçleri azalmaktadır. Uygulan Hesaplamalarda Fanların kontrol ile çalışmaya durdurma sıcaklıkları yukarıdaki aralıktan 1-2 C farklılık göstermekle birlikte hesap kolaylığı açısından meteorolojik sıcaklık aralıkları fan kontrolleri için değişim bölgeleri kabul edilmiştir.
- Seçilen soğutma grubu tüm mevsimlerde şartlarında 130kW'ı sağlayacak şekilde seçilmiştir. Soğutma grubunun kompresörü oransal olarak kapasite kontrolü yapılabilmekte olup, ortam şartları değişikliklerinde gerekli kapasite ayarını yapabilmektedir.

1) Kısmi bölge hesapları için kullanılan sıcaklık değerleri 6 / 9°C aralığı için 8 °C; 9 / 12°C aralığı için 11 °C; 12 / 15°C aralığı için 13 °C'dir. Bu sıcaklıklarda Kuru Soğutucunun ön soğutma yapması vasıtası ile (oransal olarak kontrol edilen yükte) kompresöre düşen yük sırasıyla %30, %60 ve %80 olmaktadır.

2) Hava Giriş Sicaklığının Düşmesiyle Birlikte Kuru Soğutucu ve kondenser olarak adım (step) kontrollü olarak devreden çıkmaktadırlar ve fan güçleri azalmaktadır. Yapılan Hesaplamalarda Fanların kontrolü ile çalışmayı durdurma sicaklıklarını yukarıdaki analizlerinden 1-2 C farklılık göstermekle birlikte hesap kolaylığı açısından meteorolojik sicaklık analıkları fan kontrolleri için değişim bölgesi kabul edilmiştir.

3) Seçilen soğutma grubu tüm mevsimlerde şartlarda 130kW_t sağlayacak şekilde seçilmiştir. Soğutma grubunun kompresörü oransal olarak kapasite kontrolü yapılabilmekte olup, ortam şartları değişikliklerinde gerekli kapasite ayarını yapabilmektedir.

Tablo 7. KURU SOĞUTUCU VE SOĞUTMA GRUBU KAPASİTE, GÜÇ VE YÜK PAYLAŞIM ORANLARI (A SINIFI)

Çalışma Bölgesi	Hava Giriş Sıcaklığı (°C)	Kuru Soğutucu Kapasitesi (kW)	Kuru Soğutucu Gücü (kW)	Kuru Soğutucu Yüğü (%)	Kompresör Kapasitesi (kW)	Kompresör Gücü (kW)	Kompresör Kapasitesi / Gücü Oranı	Kompresör Yüğü (%)	Kondenser Fanları Gücü (kW)	Toplam Soğutma Grubu Gücü (kW)	Kuru Soğ.-+Soğutma grubu Güç (kW)	Sistem Soğutma Kapasitesi (kW)
1. %100 Mekanik Soğutma Bölgesi	33°C	0	0,00	0,0%	129,7	34	3,8	100,0%	3,33	37,33	37,33	129,7
2. %100 Mekanik Soğutma Bölgesi	14/18°C	0	0,00	0,0%	130	26	5,0	100,0%	1,98	27,98	27,98	130
Kısmi Soğutma	13°C	25,9	2,00	20,0%	105	20	5,3	80,0%	1,98	21,98	23,98	130,9
	(10/12) 10-11-12°C	51,9	2,00	40,0%	79,3	14	5,7	60,0%	1,32	15,32	17,32	131,2
	(6/9) 6-7-8-9°C	91,1	2,00	70,0%	40,1	6,7	6,0	30,0%	0,66	7,36	9,36	131,2
% 100 Doğal Soğutma	3 / 5°C	131,2	2,00	100,0%	0	0	-	0,0%	0	0,00	2,00	131,2
	0 / 3°C	131,2	1,60	100,0%	0	0	-	0,0%	0	0,00	1,60	131,2
	-3 / 0°C	131,2	1,20	100,0%	0	0	-	0,0%	0	0,00	1,20	131,2
	-6 / -3°C	131,2	1,20	100,0%	0	0	-	0,0%	0	0,00	1,20	131,2
	-9 / -6°C	131,2	0,80	100,0%	0	0	-	0,0%	0	0,00	0,80	131,2
	-12 / -9°C	131,2	0,80	100,0%	0	0	-	0,0%	0	0,00	0,80	131,2
	-15 / -12°C	131,2	0,80	100,0%	0	0	-	0,0%	0	0,00	0,80	131,2
	-18 / -15°C	131,2	0,80	100,0%	0	0	-	0,0%	0	0,00	0,80	131,2

Soğutma Sistemi için farklı senaryolarda kullanılan soğutma grubu ve A,C ve E sınıfı Kuru soğutucuların güç değerlerinin hesabı aşağıda Tablo 7B’de verilmektedir. Tablo 7B değerleri, Tablo 8 için güç değeri hesap tablosudur.

Tablo 7B. ÇALIŞMA SENARYOLARI İÇİN GÜÇ HESAPLARI

Sıcaklık Aralığı (°C)	-18/-15	-15/-12	-12/-9	-9/-6	-6/-3	-3/0	0 / 3	3 / 6				6 / 9				10/12				2. Mekanik soğutma bölgesi		1. Mekanik soğutma bölgesi
								4	5	6	7	8	9	10	11	12	12 / 15	13	14	15 / 18		
Sıcaklık Tekrar Sıklığı (saat/Yıl)	0	0	0	0	15	95	389	913				1144			1090		1025		983		33	
Günlük 20 saat çalışma için Tekrar Sıklığı (saat/Yıl)	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	79.2	324.2					953.3			908.3		854.2		819.2		-	
%100 MEKANİK SOĞUTMA SENARYOSU İÇİNDE SOĞUTMA GRUBU GÜÇ HESABI																						
Kompresör gücü (%100) (kw) *					21.6			21.60				21.6			23		24.7		26		34	
Fan gücü (kw) *					0.66			0.66				0.66			1.32		1.98		1.98		3.3	
Soğutma Grubu gücü (kw)					22.26			22.26				22.26			24.32		26.68		27.98		37.3	
KİSMİ SOĞUTMA SENARYOSU İÇİNDE SOĞUTMA GRUBU GÜÇ HESABI																						
Kompresör gücü (%100) (kw) *					0			6.7				6.7			14		20		-		-	
Fan gücü (kw) *					0			0.66				0.66			1.32		1.98		-		-	
Soğutma Grubu gücü (kw)					0			7.36				7.36			15.32		21.98		0		0	
KİSMİ VE %100 DOĞAL SOĞUTMA SENARYOSU İÇİN "A SINIFI" KURU SOĞUTUCU GÜÇ HESABI																						
Fan gücü (kw) **	0.8	0.8	0.8	0.8	1.2	1.2	1.2	1.6	1.6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	
KİSMİ SOĞUTMA SENARYOSU İÇİNDE "A SINIFI" KURU SOĞUTUCU İLE SOĞUTMA GRUBUNUN BİRLİKTE ÇALIŞMASI ESNASINDAKİ TOPLAM GÜÇ HESABI																						
Toplam güç (kw)	0.8	0.8	0.8	0.8	1.2	1.2	1.6	1.6	2	2	2	2	2	2	2	2	23.98	0	0	0	0	
KİSMİ VE %100 DOĞAL SOĞUTMA SENARYOSU İÇİN "C SINIFI" KURU SOĞUTUCU GÜÇ HESABI																						
Fan gücü (kw) **	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	3.96	0	0	0	0	
KİSMİ SOĞUTMA SENARYOSU İÇİNDE "C SINIFI" KURU SOĞUTUCU İLE SOĞUTMA GRUBUNUN BİRLİKTE ÇALIŞMASI ESNASINDAKİ TOPLAM GÜÇ HESABI																						
Toplam güç (kw)	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	25.94	0	0	0	0	
Bu bölgede verimsizdir. Bu nedenle %100 mekanik soğutma																						
KİSMİ VE %100 DOĞAL SOĞUTMA SENARYOSU İÇİN "E SINIFI" KURU SOĞUTUCU GÜÇ HESABI																						
Fan gücü (kw) **	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0	
KİSMİ SOĞUTMA SENARYOSU İÇİNDE "E SINIFI" KURU SOĞUTUCU İLE SOĞUTMA GRUBUNUN BİRLİKTE ÇALIŞMASI ESNASINDAKİ TOPLAM GÜÇ HESABI																						
Toplam güç (kw)	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	15.36	15.36	23.32	23.32	29.98	29.98	0	0	0	0	
Bu bölgede verimsizdir. Bu nedenle %100 mekanik soğutma																						
* Kondenser Hava Giriş Sıcaklığının Dışnesiyle Birlikte Kompresör verimi artmaktadır. Bu nedenle kompresör gücü düşmektedir. Bunun yanı sıra kondenser fanları adım (step) kontrollü olarak devreden çıkmaktadır ve fan gücünü de azaltmaktadır.																						
** Hava Giriş Sıcaklığının Dışnesiyle Birlikte Kuru Soğutucu fanları da adım (step) kontrollü olarak devreden çıkmaktadır ve fan gücünü de azaltmaktadır. Yapılan Hesaplamalarda Fanların kontrol ile çalışmayı durdurma sıcaklıklarını yutarımdan aralıktan 1-2 C farklılık göstermekle birlikte hesap kolaylığı açısından sıcaklık aralıkları fan kontrolleri içinde temel aralık kabul edilmiştir.																						

Tablo 8.'de İstanbul şehrimiz için kuru soğutucu ve soğutma grubu birlikte çalışma senaryosunda enerji kazancı hesabı verilmektedir. Tablo 9.'de ülkemizdeki şehirlerde doğal soğutma ile elde edilebilecek enerji kazancı hesabı verilmektedir.

Tablo 8. KURU SOĞUTUCU VE SOĞUTMA GRUBU BİRLİKTE ÇALIŞMA SENARYOSU (İSTANBUL)																			
	0	0	0	0	15	95	389	913			1144			1090	1025			983	
Günlük 20 saat çalışma için Tekerar Sıklığı (saat/Yıl)	0	0	0	0	12.5	79.2	324.2	760.8			953.3			908.3	854.2			819.2	
Sıcaklık Aralığı (°C)	-18/-15	-15/-12	-12/-9	-9/-6	-6/-3	-3/0	0 / 3	3/6			6 / 9			9 / 12	12/15			15/18	
								4	5	6	7	8	9		13	14	15		
%100 MEKANİK SOĞUTMA																			
Harcanan Enerji (kW/h)	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	24.32	26.68	27.98	27.98	27.98	
Harcanan Toplam Enerji (kW)	-	-	-	-	278.3	1762.3	7216.0	5645.4	5645.4	5645.4	7073.7	7073.7	7073.7	22090.7	7596.4	-	-	-	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0.09 €																		
Harcanan Enerji Bedeli (€)	-	-	-	-	25 €	159 €	649 €	508 €	508 €	508 €	637 €	637 €	637 €	1,988 €	684 €	-	-	-	
TOPLAM Harcanan Enerji Bedeli (€)	6,939 €																		
KİSMİ SOĞUTMA "A SINIFI" KURU SOĞUTUCU																			
Harcanan Enerji (kW/h)	0.8	0.8	0.8	0.8	1.2	1.2	1.6	1.6	2	9.36	9.36	9.36	9.36	17.32	23.98	-	-	-	
Harcanan Toplam Enerji (kW)	-	-	-	-	15.0	95.0	518.7	405.8	507.2	2373.8	2974.4	2974.4	2974.4	15732.3	6827.6	-	-	-	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0.09 €																		
Harcanan Enerji Bedeli (€)	-	-	-	-	1 €	9 €	47 €	37 €	46 €	214 €	268 €	268 €	268 €	1,416 €	614 €	-	-	-	
TOPLAM Harcanan Enerji Bedeli (€)	3,186 €																		
HESAPLAR	YILLIK KAZANÇ (EURO)							VERİMLİLİK (%)							YATIRIM GERİ DÖNÜŞÜ (YIL)				
	3,753 €							54.09							3.04				
KİSMİ SOĞUTMA "C SINIFI" KURU SOĞUTUCU																			
Harcanan Enerji (kW/h)	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.64	2.64	2.64	3.96	11.32	11.32	11.32	11.32	19.28	26.68	-	-	-	
Harcanan Toplam Enerji (kW)	-	-	-	-	16.5	209.0	855.8	669.5	1004.3	2870.9	3597.2	3597.2	3597.2	17512.7	7596.4	-	-	-	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0.09 €																		
Harcanan Enerji Bedeli (€)	-	-	-	-	1 €	19 €	77 €	60 €	90 €	258 €	324 €	324 €	324 €	1,576 €	684 €	-	-	-	
TOPLAM Harcanan Enerji Bedeli (€)	3,737 €																		
HESAPLAR	YILLIK KAZANÇ (EURO)							VERİMLİLİK (%)							YATIRIM GERİ DÖNÜŞÜ (YIL)				
	3,202 €							46.14							4.22				
KİSMİ SOĞUTMA "E SINIFI" KURU SOĞUTUCU																			
Harcanan Enerji (kW/h)	4	4	4	4	4	4	8	8	8	15.36	15.36	15.36	15.36	24.32	26.68	-	-	-	
Harcanan Toplam Enerji (kW)	-	-	-	-	50.0	316.7	2593.3	2028.9	2028.9	3895.5	4881.1	4881.1	4881.1	22090.7	7596.4	-	-	-	
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0.09 €																		
Harcanan Enerji Bedeli (€)	-	-	-	-	5 €	29 €	233 €	183 €	183 €	351 €	439 €	439 €	439 €	1,988 €	684 €	-	-	-	
TOPLAM Harcanan Enerji Bedeli (€)	4,972 €																		
HESAPLAR	YILLIK KAZANÇ (EURO)							VERİMLİLİK (%)							YATIRIM GERİ DÖNÜŞÜ (YIL)				
	1,967 €							28.35							5.13				

Tablo 9. TÜRKİYE’DEKİ ŞEHİRLERDE DOĞAL SOĞUTMA İLE ELDE EDİLEBİLECEK ENERJİ KAZANCI TABLOSU [41], [42]

Şehirler	Sıcaklık Tekrarlama Sıklığı (saat/yıl)												Enerji Kazancı (%)		
	-18 / -15	-15 / -12	-12 / -9	-9 / -6	-6 / -3	-3 / 0	0 / 3	3 / 6	6 / 9	9 / 12	12 / 15	15 / 18	A Sınıfı	C Sınıfı	E Sınıfı
1 Hakkari	29	88	203	359	599	794	831	659	616	661	630	704	72%	66%	50%
2 Bitlis	13	42	114	252	474	858	1085	788	734	795	770	689	71%	64%	48%
3 Erzurum	176	246	332	461	601	712	849	772	811	789	712	630	70%	63%	47%
4 Muş	116	167	233	294	485	683	826	585	631	693	709	695	70%	63%	47%
5 Ağrı	170	213	290	373	572	678	786	671	695	774	728	663	69%	63%	46%
6 Van	22	70	149	287	470	748	941	827	781	803	785	802	69%	63%	46%
7 Bingöl	21	48	98	198	368	639	917	768	722	704	682	696	69%	63%	46%
8 Ardahan	234	333	435	530	623	724	757	793	902	923	760	590	68%	62%	45%
9 Tunceli	21	42	85	175	300	534	911	791	743	710	694	691	68%	62%	45%
10 Iğdır	22	48	104	207	440	723	691	649	661	724	740	787	68%	62%	45%
11 Erzincan	29	61	131	253	425	639	781	787	812	820	795	812	68%	61%	44%
12 Elazığ	3	16	53	136	305	573	836	837	787	750	692	705	68%	61%	44%
13 Kars	202	285	411	504	596	691	775	746	839	900	824	651	67%	61%	44%
14 Bayburt	102	186	300	433	577	728	843	805	887	978	881	694	67%	61%	44%
15 Yozgat	17	52	122	272	467	680	940	930	894	928	984	838	67%	61%	44%
16 Çankırı	8	22	60	167	358	659	943	874	826	831	869	867	67%	61%	44%
17 Konya	9	33	76	169	373	643	796	847	843	808	808	835	67%	60%	44%
18 Malatya	0	4	32	103	253	540	795	833	792	728	693	715	67%	60%	44%
19 Kastamonu	2	17	55	133	378	802	1034	940	903	965	996	866	67%	60%	44%
20 Eskişehir	2	12	52	168	365	708	870	887	904	876	920	886	67%	60%	43%
21 Sivas	54	98	178	292	460	658	865	844	859	934	947	808	66%	60%	43%
22 Kayseri	28	61	121	237	416	680	804	804	864	907	886	780	66%	59%	43%
23 Gümüşhane	20	47	113	261	475	702	859	846	890	946	995	940	66%	59%	43%
24 Kırşehir	13	39	83	182	347	579	824	825	847	872	861	903	66%	59%	42%
25 Çorum	8	16	55	153	348	664	950	899	918	948	943	862	66%	59%	42%
26 Kırıkkale	5	12	33	118	278	561	833	885	842	823	826	890	66%	59%	42%
27 Ankara	2	14	52	140	318	575	823	878	876	851	866	899	66%	59%	42%
28 Nevşehir	11	35	95	224	372	545	807	959	937	954	946	866	65%	58%	41%
29 Niğde	20	42	97	198	341	586	776	814	879	912	919	907	65%	58%	41%
30 Afyon	2	13	63	149	332	598	797	917	947	916	924	893	65%	58%	41%
31 Kütahya	2	13	45	144	343	652	822	937	969	968	976	926	65%	58%	41%
32 Aksaray	9	29	73	159	283	511	753	793	892	883	881	896	64%	57%	40%
33 Karaman	17	36	70	162	336	520	654	811	914	907	874	881	64%	57%	40%
34 Isparta	0	2	20	86	240	528	802	939	1078	975	844	833	64%	57%	40%
35 Diyarbakır	4	9	25	64	177	379	666	787	864	797	701	650	64%	57%	39%
36 Bolu	3	20	45	105	275	667	925	901	985	1061	1090	946	64%	57%	39%
37 Edirne	0	2	13	55	166	414	749	880	871	864	886	961	64%	56%	39%
38 Uşak	0	0	7	50	186	423	748	981	1065	940	873	876	63%	56%	38%
39 Siirt	0	1	10	30	79	281	670	869	890	782	685	644	63%	55%	37%

Tablo 9. Devam

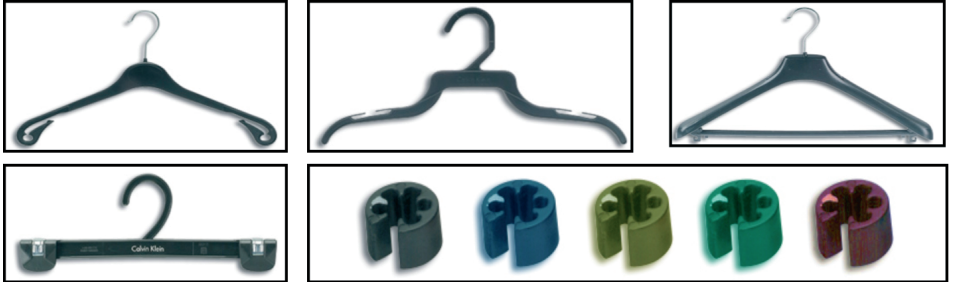
Şehirler		Sıcaklık Tekrarlama Sıklığı (saat/yıl)												Enerji Kazancı (%)		
Sıcaklık (°C)		-18 / -15	-15 / -12	-12 / -9	-9 / -6	-6 / -3	-3 / 0	0 / 3	3 / 6	6 / 9	9 / 12	12 / 15	15 / 18	A Sınıfı	C Sınıfı	E Sınıfı
40	Mardin	0	0	1	19	99	297	613	881	870	798	664	620	63%	56%	39%
41	Bilecik	0	0	3	26	174	491	811	904	923	936	975	1088	63%	56%	39%
42	Amasya	2	4	8	36	147	428	751	874	887	888	903	987	63%	56%	39%
43	Artvin	0	0	2	30	159	477	846	915	892	929	1037	1231	63%	56%	39%
44	Burdur	0	0	4	52	176	406	689	949	1077	935	841	867	62%	55%	38%
45	G.Antep	0	0	2	20	84	294	638	920	958	857	738	705	62%	55%	38%
46	Tokat	3	7	21	71	209	476	767	807	885	1003	1019	1028	62%	55%	38%
47	Kırklareli	0	1	9	55	140	359	770	883	905	964	938	963	62%	54%	37%
48	Karabük	0	0	0	10	109	381	750	948	965	934	1054	1085	61%	54%	37%
49	Batman	0	5	20	34	96	273	540	755	871	847	756	705	60%	53%	35%
50	Bartın	0	0	3	15	74	336	725	969	1112	1034	1063	1050	60%	52%	35%
51	Balıkesir	0	0	1	12	68	251	572	825	1013	972	932	909	58%	51%	33%
52	Adıyaman	0	0	0	6	40	151	464	811	971	887	737	687	58%	50%	32%
53	Bursa	0	0	2	5	36	237	568	810	1028	981	942	985	58%	50%	32%
54	Kahramanmaraş	0	0	0	3	30	155	420	775	977	925	788	708	56%	49%	31%
55	Tekirdağ	0	0	1	14	60	183	498	893	1074	1084	969	1002	56%	49%	31%
56	Adapazarı	0	0	0	2	22	152	545	886	1053	977	1035	1090	56%	49%	31%
57	Muğla	0	0	0	4	47	220	487	781	1153	1113	868	805	56%	48%	31%
58	Zonguldak	0	0	0	0	12	122	505	1018	1024	989	1120	1228	56%	48%	31%
59	Kocaeli	0	0	0	1	14	115	502	852	1025	978	994	1097	56%	48%	30%
60	Denizli	0	0	0	3	31	171	418	684	930	1023	923	848	55%	47%	29%
61	Şanlıurfa	0	0	0	2	23	99	323	687	951	902	749	657	54%	47%	29%
62	İstanbul	0	0	0	0	15	95	389	913	1144	1090	1025	983	54%	46%	28%
63	Manisa	0	0	0	0	13	137	363	668	932	973	899	858	54%	46%	28%
64	Çanakkale	0	0	0	1	27	152	405	738	981	1048	1126	1017	54%	46%	28%
65	Kilis	0	0	0	0	12	80	298	713	1059	976	794	733	53%	45%	28%
66	Yalova	0	0	0	0	8	88	398	836	1088	1091	1042	1095	53%	45%	28%
67	Samsun	0	0	0	0	9	68	350	836	1177	1104	1087	1134	53%	45%	27%
68	Rize	0	0	0	0	3	52	392	820	1178	1155	1067	1114	52%	44%	27%
69	Ordu	0	0	0	0	3	63	358	811	1221	1154	1089	1099	52%	44%	26%
70	Sinop	0	0	0	0	4	48	287	845	1357	1153	1074	1080	52%	44%	26%
71	Trabzon	0	0	0	0	6	54	286	788	1205	1095	1044	1141	52%	44%	26%
72	Giresun	0	0	0	0	0	42	290	785	1252	1114	1085	1123	51%	43%	25%
73	Aydın	0	0	0	0	2	59	245	478	810	1066	1082	995	48%	39%	22%
74	Antakya	0	0	0	0	2	35	160	362	736	1055	992	918	45%	37%	20%
75	İzmir	0	0	0	0	0	25	162	440	749	1056	1142	990	45%	37%	20%
76	Antalya	0	0	0	0	0	6	103	336	755	1080	1113	1138	42%	34%	17%
77	Adana	0	0	0	0	0	12	71	274	635	1024	1023	986	41%	32%	16%
78	Mersin	0	0	0	0	0	2	42	170	480	943	1108	1148	37%	28%	12%
79	İskenderun	0	0	0	0	0	0	8	78	311	809	1232	1258	31%	23%	8%

3.2 Uygulama Örneği - 2: Entegre Doğal Soğutma Bataryalı Su Soğutma Grubu Uygulaması [22]

Şekil 35’de verilen prensip şeması, plastik sektörüne yönelik olarak 2002 yılında İstanbul’da yapılmış bir uygulamaya aittir. Sistemde mevsimsel dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak soğutma grubu devreden çıkarılmakta, kalıp ve yağ soğutma için doğal soğutma kullanılmaktadır. Böylelikle sistemde enerji verimliliği sağlanmaktadır. Çalışma otomatik kontrol sistemi ile kumanda edilmektedir.

Doğal soğutma bataryası hava soğutmalı grubun kondenseri ile entegre olarak aynı kaset içerisinde. Böylelikle ünitenin kompakt bir yapıda olması da sağlanmıştır.

Soğutma sisteminin kurulu olduğu fabrika plastik sektörü içerisinde faaliyet göstermekte, giyim askıları imalatı yapmaktadır (Şekil 34). Fabrika 12 ay, 6 gün/24 saat üretim yapmaktadır. Toplam 7 adet enjeksiyon makinesi prensip şeması verilen entegre doğal soğutma bataryalı hava soğutmalı su soğutma grubuna bağlı çalışmaktadır.



Şekil 34. Üretilen farklı giyim askıları örnekleri [44].

Sistem Yaz konumunda 4 ay (Haziran - Eylül); Kış konumunda 8 ay (Ekim - Mayıs) çalışmaktadır.

YAZ KONUMUNDA (HAZİRAN - EYLÜL)

Kalıpları Soğutmak İçin:

Soğutma grubu çalıştırılmaktadır. Soğutma suyu çalışma sıcaklık aralığı alt sınır değeri: 24,5 °C, üst sınır değeri: 26 °C’dir. Sistemde Chiller grubu saatte toplam 30 dk. beklemekte, 30 dk. çalışmaktadır.

Üretilen giyim askılarının malzemesi polistren ve polipropilendir. Üreticinin yaptığı çeşitli denemeler sonrasında kalıpların daha düşük sıcaklıklarda soğutulmasının üretilen bu ürünün üretim hızını çok fazla etkilemediği, ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. Bu nedenle de görece yüksek sıcaklıkta kalıp soğutulması yapılmaktadır. Ürün için farklı bir malzeme kullanılması veya ürün kalınlıklarının artması durumunda daha düşük sıcaklıkta kalıp soğutma suyuna ihtiyaç duyulabilir ve düşük sıcaklıkta su kullanımı ile üretim hızı artırılabilir.

Enjeksiyon Makineleri Hidrolik Yağı Soğutulması İçin:

Entegre doğal soğutma bataryası (Entegre kuru soğutucu ünitesi) kullanılmaktadır. Yağ soğutma için soğutma suyu çalışma sıcaklık aralığı alt sınır değeri: 30°C, üst sınır değeri: 36°C'dir. Mevsim normallerinin üzerindeki aşırı hava sıcaklıklarında Plakalı eşanjör devreye girmektedir.

KIŞ KONUMUNDA (EKİM - MAYIS)**Kalıpları Soğutmak İçin:**

Entegre doğal soğutma bataryası (Entegre kuru soğutucu ünitesi) kullanılmaktadır. Chiller grubu kapalıdır. Soğutma suyu çalışma sıcaklık aralığı alt sınır değeri: 24,5°C, üst sınır değeri: 26°C'dir. Altı fandan oluşan ünitenin ikisi sürekli çalışmakta, diğer fanlar termostat kontrolü ile sisteme girmektedir. (Bunun yanı sıra Ocak ve Şubat aylarında bazı günlerde Lodos estiği zaman oluşan hava akımı fanları kendisi çevirmekte böyle durumlarda fanlar günde sadece 5 saat çalışmakta, ek bir enerji kazancı sağlamaktadır. Bu durumun oluşma zamanları belirsiz olduğundan dolayı uygulama için yapılan analizde dikkate alınmamıştır.)

Enjeksiyon Makineleri Hidrolik Yağı Soğutulması İçin:

Entegre doğal soğutma bataryası (Entegre kuru soğutucu ünitesi) kullanılmaktadır. Yağ soğutma için soğutma suyu çalışma sıcaklık aralığı alt sınır değeri: 24,5°C, üst sınır değeri: 26°C'dir. Yağ sıcaklığı kışın düşük kaldığından makinelere giden hattaki su debisi ayarlanarak yağ sıcaklığı istenilen değerde tutulmaktadır.

Tablo 10. MEVCUT SİSTEMİNİN ÇALIŞMA DURUMU VE DOĞAL SOĞUTMA OLMAMASI SENARYOSUNDAKİ DURUM												
Soğutma İşlemi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
VAROLAN DURUM												
Kalıp Soğutma	Kuru Soğutucu					Soğutma Grubu (Chiller)		Kuru Soğutucu				
Yağ Soğutma						Kuru Soğutucu						
DOĞAL SOĞUTMA UYGULANMAMASI SENARYOSUNDAKİ DURUM												
Kalıp Soğutma	Soğutma Grubu (Chiller) 1											
Yağ Soğutma	Soğutma Grubu (Chiller) 2											

Doğal soğutma ile ortaya çıkan kazancın bulunması için yapılan hesaplamada, sistemin var olan durumu ile doğal soğutmanın yapılmaması durumu (ikinci bir soğutma grubunun kullanılması) karşılaştırılmıştır.

Sistemde gerekli olan soğutma kapasitesi ihtiyacı: 180 kW'dır. mevcut durumda kalıp soğutma için 60 kW ve yağ soğutma için 120 kW güç gerekmektedir. Su soğutma grubu daha sonra yapılacak yatırımlar içerisinde ortaya çıkacak kapasite gereksinimlerini karşılaması için gereken kapasiteden daha büyük seçilmiş bu nedenle de saatte toplam 30 dk. beklemekte, 30 dk. çalışmaktadır. Doğal soğutma bataryası hava soğutmalı grubun kondenseri ile entegre olarak aynı ünite içerisinde. Üniteye 6 adet yüksek devirli Ø630 mm çaplı fan mevcuttur.

Doğal soğutma uygulanmaması durumundaki senaryoda ise sistemdeki yağ ve kalıp soğutma prosesleri için gerekli toplam 180 kW lik soğutma kapasitesini karşılamak için iki adet 120 kW'lık chiller kullanımı öngörülmüştür. Sistemde ihtiyaç duyulan 180 kW soğutma yüküne karşılık toplam 240 kW kapasiteli chillerlerin 18'er saat çalışması yeterlidir. Analizde elektrik birim fiyatının KDV ve benzeri eklentiler dahil 0,09 €/kWh olduğu kabul edilmiştir. Doğal soğutma uygulamalı ve doğal soğutma uygulanmaksızın Yaz ve Kış aylarında yapılan proses soğutma esnasında harcanacak enerji bedelleri dönemlere bağlı olarak yıllık toplamda aşağıdaki tabloda verilmiş, ekonomik kazanç gösterilmiştir. Ele alınan uygulamada yıllık 15.998,73 € (%63,72) kazanç sağlanmaktadır.

Tablo 11. DOĞAL SOĞUTMA İLE ORTAYA ÇIKAN KAZANÇ HESAP TABLOSU		
VAROLAN DURUM (CHILLER + DOĞAL SOĞUTMA BATARYASI UYGULAMASI)		
KALIP SOĞUTMA &	4 Aylık YAZ DÖNEMİ	5.612,52 €
YAĞ SOĞUTMA	8 Aylık KIŞ DÖNEMİ	3.498,08 €
	YILLIK TÜKETİM BEDELİ	9.110,60 €
CHILLER + CHILLER SENARYOSU (DOĞAL SOĞUTMA YOK)		
KALIP SOĞUTMA &	4 Aylık YAZ DÖNEMİ	10.761,14 €
YAĞ SOĞUTMA	8 Aylık KIŞ DÖNEMİ	14.348,19 €
	YILLIK TÜKETİM BEDELİ	25.109,33 €
EKONOMİK KAZANÇ (EURO/YIL)		15.998,73 €
EKONOMİK KAZANÇ (%)		%63,72

3.3 Uygulama Örneği - 3: Endüstriyel Proses Soğutma için Kuru Soğutucu Uygulaması [45]

Soğutma sisteminin kurulu olduğu fabrika otomotiv sektörü içerisinde faaliyet göstermekte, Audi, BMW, Honda, Ford, Volkswagen gibi araç üreticisi firmalara yan sanayi olarak araç içi merkezi ve yan konsollar, havalandırma panelleri, bardak tutacakları, küllükler vb. çeşitli ürünlerin imalatını yapmaktadır.

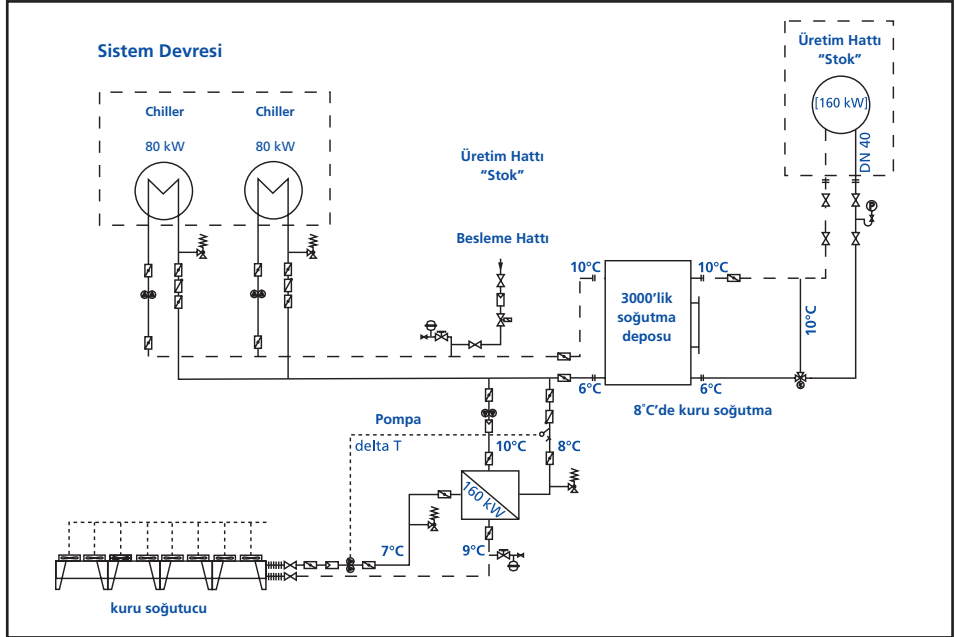


Şekil 36. Sistemde kurulu kuru soğutucu [45]



Şekil 37. Üretilen ürünlerden örnekler [46]

Üretim makinelerinin soğutma suyunu soğutan kuru soğutucular sistemde iki adet 80 kW kapasiteli soğutma grubu ile birlikte kullanılmaktadır. Soğutma grupları sistemde temel soğutmayı sağlayan cihazlar olup, enerji tasarrufu sağlamak ve ses seviyesini düşürmek amaçlı olarak dış hava sıcaklığı 3°C'nin altına düştüğü andan itibaren kuru soğutucular devreye girmektedir. Kuru soğutucu sisteminde Glikol kullanılmaktadır.



Şekil 38. Sisteme ait prensip şeması [45]

Yapılan hesaplamalara göre kuru soğutucu kullanımı ile sağlanan doğal soğutma sisteminden yıllık %33 oranında bir enerji tasarrufu alınmaktadır. Bu tasarruf sayesinde sistemin yaklaşık üç yıl içerisinde kendini amorti etmesi sağlanmıştır. Aşağıdaki tablolarda doğal soğutma ile ortaya çıkan kazanç gösterilmiştir.

Tablo 12. KARŞILAŞTIRMALI OLARAK DOĞAL SOĞUTMA İLE ORTAYA ÇIKAN KAZANÇ TABLOLARI [45]					
	Chiller ile Soğutma (100% Sıkıştırılmalı)	Kışın Doğal Soğutma		Chiller ile Soğutma (100% Sıkıştırılmalı)	Kışın Doğal Soğutma
Birim	kWh/a	KWh/a	Birim	€/a	€/a
Kompresör Soğutması	1,306	806	Kompresör Soğutması	103%	64%
Doğal Soğutma		500	Doğal Soğutma		6%
Toplam	1,306	1,306	Toplam	103%	70%
Yıllık Tasarruf: 33%					

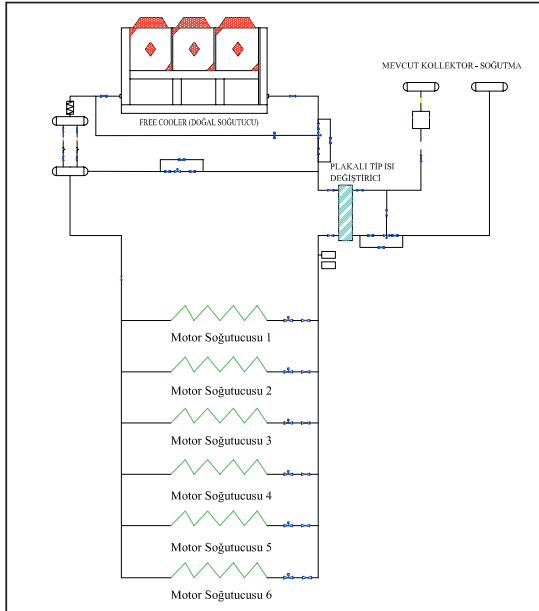
3.4 Uygulama Örneği – 4: Endüstriyel Proses Soğutma için Kuru Soğutucu Uygulaması [47]

Kuru soğutucuların endüstriyel proses su soğutma sistemlerinde doğal soğutucular olarak kullanılmalarının yanı sıra iklimlendirme sistemlerinde de aynı amaçla kullanılırlar. Bilgisayar odaları, data ve telekomünikasyon merkezleri, elektronik eşya satan mağazalar, alışveriş merkezleri, Konferans salonları vb. yerlerde soğutma ihtiyacı tüm yıl boyunca hissedilmektedir. Kış ve bahar mevsimlerinde kuru soğutucular ile soğutma yapılarak enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Aşağıda, (plastik sektörünün dışında farklı bir alanda yapılmış) proses soğutma sisteminde kuru soğutucu kullanımına yönelik örnek verilmiştir. Örnekte, İstanbul’da yapılmış bir baskı tesisinde baskı makineleri motorlarının soğutulması için kullanılan doğal soğutma sistemi uygulaması hakkında bilgi verilmektedir.

Baskı makinesi imalatçısı firmanın su soğutmalı motorlar için verdiği şartlar şunlardır:

- Motor soğutma suyu giriş / çıkış sıcaklığı : 27 °C / 35 °C
- Motorlara giden suyun debisi : 13 m³/h
- Günlük Çalışma Saatleri : 20:00 - 04:00 (365 gün)
- Toplam soğutma kapasitesi : 120 kW



Yukarıda belirtilen şartları sağlamak için baskı makinelerinin gece çalışacağı göz önünde tutularak geliştirilen soğutma sisteminin prensip şeması Şekil 39.'da verilmiştir. Baskı makineleri motor soğutucusundan çıkan su P1 pompası yardımıyla ilk önce kuru soğutucuya gönderilmekte, kuru soğutucuda soğuk hava ile soğutulan su daha sonrada plakalı tip ısı değiştiricisine gönderilmektedir. Dış hava kuru termometre sıcaklığına bağlı olarak çalışan kuru soğutucuda soğutulan suyun sıcaklığı 27 °C nin üzerine çıkması durumunda 6/12 °C su rejiminde çalışan plakalı ısı değiştiricisinde ikincil bir soğutmaya tabi tutulmaktadır.

Şekil 39. Motor Suyu Soğutma sistemi [47]

Kış çalışmasında dış hava sıcaklığının 0°C nin altına düşmesi olasılığı göz önünde tutularak su devresinde glikol kullanılmıştır. Kuru soğutucuda 13 m³/h lik suyun sıcaklığını 35°C den 27°C ye düşürmek yani 121 kW'lık ısı yükünü karşılamak için 2 kW gücünde 3 adet aksiyal fan kullanılmıştır. Fanların çektiği güç ise toplam 3,9 KW olarak ölçülmüştür. Sistemin COP ~ 30 dur. Bu ısı yükünün tümü hava soğutmalı soğutma grubu tarafından karşılanması durumunda, soğutma grubu COP değeri 3 civarında olduğu kabul edilirse tüketilen enerji 121/3 = 40 kW civarında olur. Sonuç olarak kurulan doğal soğutma sistemi ile % 90 oranında enerji tasarrufu sağlanmış ve sistem kendini 5 ayda amorti etmiştir [47].

3.5 Uygulama Örneği - 5: Plastik Sektöründe Yağ Soğutma Sistemlerinde Kullanılan Soğutma Uygulamalarının Karşılaştırılması

Aynı ihtiyacı karşılayacak açık ve kapalı devre su kuleleri ile Islak-kuru soğutucu Sistemin ekonomik açıdan karşılaştırılması amacıyla hazırlanan analiz sonuçları aşağıda verilmiştir. Bir soğutma cihazının kondenserinden 630 kW'lık ısı alınması söz konusudur. %70-%30 su/glikol karışımının soğutucuya giriş sıcaklığı 30°C, soğutucudan çıkış sıcaklığı ise 26°C'tir. Hava sıcaklığı 32°C, bağıl nem % 38 alınmıştır. Analizde KDV ve benzeri eklentiler dahil su birim fiyatının 1,98 €/m³, elektrik birim fiyatının ise 0,09 €/kWh olduğu kabul edilmiştir. Sermaye masraflarının hesaplanmasında €'ya uygulanan yıllık faiz oranı % 10 alınmış, her üç sistemin de 15 yıl kullanılacağı varsayılmıştır (Hesaplamalarda böyle alınmakla birlikte kulenin korozif gazlara dayanıksızlığı ve diğer etkenlerle ekonomik ömrünün galvaniz kaplı olanlarda bile 5 ila 10 yıl olduğunu belirtmekte yarar vardır)

Tablo 13. SU KULELERİ İLE ISLAK-KURU SOĞUTUCU SİSTEMİN EKONOMİK AÇIDAN KARŞILAŞTIRILMASI			
SİSTEM MASRAFI	Açık Devre Su Kulesi	Kapalı Devre Su Kulesi	Islak-Kuru Soğutucu
İlk Yatırım Maliyeti (€)	4.350	9.500	23.500
Su Giderleri (€/yıl)	31.300	31.300	4.600
Elektrik Giderleri (€/yıl)	5.900	7.020	11.260
Muhafaza Etme Masrafları (€/yıl)	510	640	510
Faiz Giderleri (€/yıl)	570	1.250	3.090
Yıllık Toplam İşletme Masrafı (€/yıl)	38.280	40.210	19.460

Yıllık toplam işletme masrafları; su, elektrik ve faiz giderleri ile muhafaza etme masraflarının toplamından oluşmaktadır. Tablo 13'e göre ıslak-kuru sistem, açık devre su kulesi ile arasındaki ilk yatırım maliyeti farkını 1 yılda, kapalı devre su kulesi ile arasındaki ilk yatırım maliyeti farkını ise 1 yıldan kısa sürede karşılamaktadır. Bu süreler sonunda Islak-kuru soğutucu sistem diğer sistemlere göre ekonomik olarak daha avantajlı duruma geçer. Masraflar hesaplanırken kullanılan değerler tesisin bulunduğu yere ve kullanıldığı zamana göre değişeceği için, yukarıdaki tablo genel bir kıyaslama amacıyla kullanılmalıdır.

Suyun çok bol ve ucuz olduğu yerlerde ilk yatırım maliyeti su harcamalarından daha önemli bir kriter olabilir. Suyun az bulunduğu ve pahalı olduğu koşullarda ise soğutma suyu açısından en fazla tasarrufu sağlayacak sistemin seçilmesi avantajlı olacaktır.

Aşağıdaki tabloda ise, 560 kW'lık soğutma ihtiyacını karşılayacak bir chiller grubu ile, aynı ihtiyacı karşılayacak bir Islak-kuru soğutucu sistem aylık (30 gün çalışma) enerji harcaması açısından karşılaştırılmaktadır. Soğutucudan geçen akışkanın 35°C sıcaklıktan 31°C sıcaklığa soğutulması istenmektedir. Hava sıcaklığı 33°C, bağıl nem %48 alınmıştır. Her iki sistemin de 16 saat/gün çalıştığı kabul edilmiştir. Elektrik birim fiyatı KDV ve benzeri eklentiler dâhil 0,09 €/kWh alınmıştır.

Tablo 14. SU SOĞUTMA GRUBU İLE ISLAK-KURU SOĞUTUCU SİSTEMİN EKONOMİK AÇIDAN KARŞILAŞTIRILMASI		
Chiller Ünitesi		Islak-Kuru Soğutucu Sistem
Kompresör gücü: 136 kW	16 fanın çektiği güç: 32 kW	10 fanın çektiği güç: 20 kW
Toplam güç: 168 kW		Toplam güç: 20 kW
Aylık enerji harcaması: 80640 kWh		Aylık enerji harcaması: 9600 kWh
Aylık masraf: 7.258 EURO		Aylık masraf: 864 EURO

Yukarıdaki tabloya göre, ıslak-kuru soğutucu sistem kullanılması durumunda aylık kazanç 6.395 EURO olarak hesaplanabilir. Su tesisatı ve benzeri yatırımlar hariç tutularak sadece soğutucular ele alındığında, kullanılan soğutucu grubunun yatırım maliyetinin yaklaşık olarak 61.355 EURO olduğu, Islak-kuru soğutucunun ise 27.600 EURO gibi bir yatırımla elde edilebileceği konusu da dikkate alınmalıdır. Sonuç olarak Islak-kuru soğutucu Sistem hem ilk yatırım maliyeti açısından, hem de işletme masrafları açısından soğutucu grubundan daha avantajlı durumdadır.

4. SONUÇ

“Plastik Endüstrisinde Soğutma Sistemleri ve Uygulamaları” başlığıyla yayınladığımız bu kitap plastik endüstrisinde kullanılan soğutma sistemleri ve uygulamaları hakkındadır; plastik sektörü içerisinde faaliyette bulunan mühendislerin, işletme sahiplerinin, yatırımcıların ve konu ile ilişkili olabilecek tüm profesyonellerin, sektörde kullanılan soğutma sistemleri hakkında bilgi sahibi olmalarını amaçlamaktadır. Kullanılan soğutma sistemlerinin birbirleri karşısında avantajlarının ve dezavantajlarının anlaşılması; enerji verimliliği yüksek uygulamaların öneminin kavranması; soğutma ünitelerinin malzeme, performans ve konstrüktif özelliklerinin bilinmesi ve düşük ömürlü, arıza riski görece olarak yüksek uygulamalardan kaçınılması oldukça büyük önem taşımaktadır.

Friterm A.Ş. olarak, “**Plastik Endüstrisinde Soğutma Sistemleri ve Uygulamaları**” kitabının plastik sektörü içerisindeki meslektaşlarımıza faydalı olacağı inancındayız.

KAYNAKÇA

- [1] ACÜL H., “Soğuk Sulu İklimlendirme ve Proses Soğutma Uygulamalarında Enerji Tasarruflu Doğal Soğutma Sistemleri”, VIII. TESKON Kongresi, MMO İzmir, 2007
- [2] http://www.plastikfirmalari.com/plastik_nedir.html
- [3] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Plastik>
- [4] Plastik Malzemeler - http://www.qforum.net/f187/plastik_malzemeler-7696/
- [5] Hastek Plastik Teknolojileri ve Otomasyon Sistemleri Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., Firması Teknik Katalogları (<http://www.hastek.com.tr>)
- [6] http://tr.wikipedia.org/wiki/Plastik_enjeksiyon
- [7] <http://www.kenplas.com/project/pet/petblow.aspx>
- [8] KOÇAK M., ABALI B.E., “Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı”, İTÜ Makine Mühendisliği Bölümü Bitirme Tasarım Projesi”, İTÜ, 2005
- [9] Bütaş Klima Ltd. teknik ürün tanıtım yazısı, “Kalıp-Yağ Soğutmasının İşletme Maliyetlerine Etkileri, ürün tanıtım”, <http://www.kalipdunyasi.com.tr/tr/urun.asp?ID=27&Grup=>
- [10] ERİŞKİN Y., UZUN İ., “Hacim Kalıpcılığı”, M. E. Basımevi, 1984
- [11] <http://www.turkcadcam.net/rapor/malzeme-secimi/index.html>
- [12] ÇINAR Y., “Plastik enjeksiyon kalıpcılığında verimlilik ve maliyet”, http://www.kalip.net/b2b/kb/tr/index.php?page=index_v2&id=35&c=2, “Taybor Mak. Kalıp San.”, 2006
- [13] AKYÜZ Ö.F., “Plastik ve Plastik Enjeksiyon Tekniklerine Giriş”, PAGEV yay., 1998.
- [14] ETİSAN Firması Uygulama örneği, “Plastik Kalıp Soğutma Sistemi Uygulaması”, <http://www.etisanisi.com.tr/tr.htm>
- [15] <http://www.turkcadcam.net/rapor/autofab/conversion-tech.html>
- [16] <http://www.tegakalip.com/images>
- [17] EKREN O., “Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Soğutma”, Soğutma Dünyası Dergisi Sayı 39, ESSİAD, 2007
- [18] S. CUNDIFF, J., “Fluid Power Circuits And Controls: Fundamentals And Applications”, CRC PRESS, 2001
- [19] AKYÜZ Ö.F., “Plastik ve Plastik Enjeksiyon Tekniklerine Giriş”, PAGEV yay., 1998.
- [20] TURAÇLI, H., “Enjeksiyon Kalıpları İmalatı”, PAGEV yay., 2000.
- [21] TPS Makine Firması Teknik Katalogları (<http://www.tspmakine.com>)
- [22] Friterm A.Ş. Teknik Dokümanları ve Uygulamaları (<http://www.friterm.com>)
- [23] ASHRAE Handbook 2000 Systems And Equipment, Chapter 36, Chapter 38, ASHRAE, 2000
- [24] De Saulles, T., “BSRIA Guide: Free Cooling Systems”, BSRIA, 2004
- [25] Erbay Firması Teknik Katalogları, (<http://www.erbay.com.tr/>)
- [26] Daikin Firması Teknik Katalogları, (<http://www.daikin.com>)
- [27] Airedale Firması Teknik Kataloğu (<http://www.airedale.com>)
- [28] Climaveneta Firması “Free Cooling” Teknik Broşürü (<http://www.climaveneta.it>)
- [29] TPC Firması Teknik Kataloğu (<http://www.totalprocesscooling.co.uk>)
- [30] Climaveneta Firması FOCS-FC/NG Teknik Kataloğu (<http://www.climaveneta.it>)
- [31] ICS Firması Teknik Kataloğu (www.industrialcooling.co.uk)
- [32] EPS (Environmental Process Systems Ltd) Firması Ecomesh Teknik Kataloğu (www.epsltd.co.uk)
- [33] Ecomesh Kontrol Cihazı - Bakım ve İşletme El Kitabı (www.epsltd.co.uk)
- [34] Baltimore Aircoil Company Firması Teknik Kataloğu (www.baltimoreaircoil.com)
- [35] Jaeggi / Guentner Firması Teknik Kataloğu (<http://www.jaeggi.us>)

- [36] The Dow Chemical Company Firması, Dowtherm 4000 Teknik Kataloğu (<http://www.dowtherm.com>)
- [37] TS EN 1048 (Isı Değiştiriciler -Hava Soğutmalı Sıvı Soğutucular "Kuru Soğutucular"- Performansın Belirlenmesi İçin Deney Metotları)
- [38] EUROVENT Rating Standard (For Forced Convection Air Cooled Liquid Coolers -Dry Coolers) 7/C/003 – 2007, Published by EUROVENT CERTIFICATION, Approved on 11 October 2007
- [39] Ziehl Abegg Firması Teknik Kataloğu (www.ziehl-abegg.com)
- [40] EBM-PAPST GmbH Firması “EC Fans” Teknik Broşürü (<http://www.ebmpapst.com>)
- [41] ACÜL H., “Kuru Soğutuculu Doğal Soğutma Uygulamaları İle İklimlendirme Sistemlerinde Enerji Verimliliği”, IX. TESKON Kongresi, MMO İzmir, 2009
- [42] Bulut H., Buyukalaca O., Yılmaz T., “Bin weather data for Turkey”, Department of Mechanical Engineering / University of Cukurova, Applied Energy 70 (2001) 135 -155
- [43] Hanbell Firması Teknik Kataloğu ve programı (www.hanbell.com)
- [44] İsko Plastik Firması Ürün Kataloğu (<http://www.iskogrup.com>)
- [45] Knief U., GEA -Küba Kältetechnik GmbH & Hölzlein S., M+W Zander Systems, Report: “Free Cooling is Worthwhile!” GEA -Küba Kältetechnik GmbH, Forum Küba magazine for expertise in refrigeration technology Teknik Dergisi, Sayı: 2, Ağust 1999 Sayısı
- [46] Dr. Schneider Kunststofftechnik GmbH Firması Ürün Kataloğu (<http://www.dr-schneider.com>)
- [47] Bilge M.,” Endüstride ve Ticari Yapılarda Doğal Soğutma (Free Cooling) Sistemlerinin Uygulanması” Makalesi VIII. TESKON, 2007

Notlar:

Notlar: