

Nozul Soğutma Sisteminde Verimliliğin Arttırılmasına Yönelik Bir Araştırma

Mustafa AKTAŞ¹  Zafer DENİZ²  Yaren GÜVEN^{1*}  Veysel DURAK³  Merve ULULAR³  Deniz GÖKBEN³ 

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

³Erkunt Sanayi A.Ş., Ar-Ge Merkezi Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başyuru: 18/05/2023
Düzeltilme: 29/05/2023
Kabul: 31/05/2023

Anahtar Kelimeler

Döküm
Maça Üretimi
Nozul
Soğutma Sistemi
Maça Sandığı

Article Info

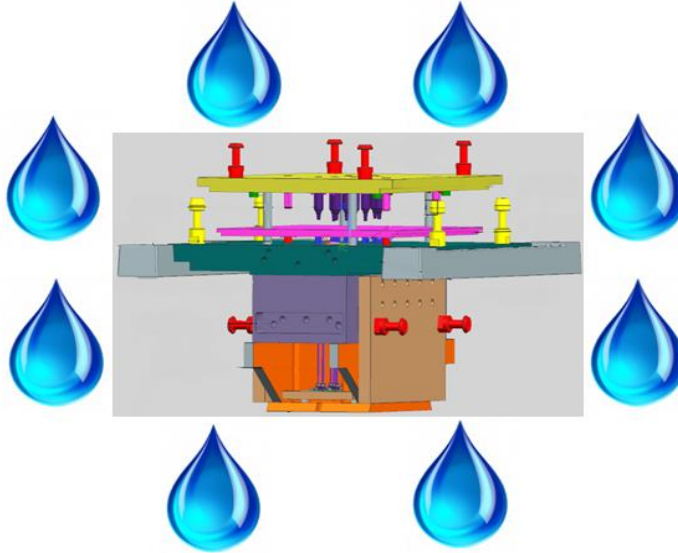
Research article
Received: 18/05/2023
Revision: 29/05/2023
Accepted: 31/05/2023

Keywords

Casting
Core Production
Nozzle
Refrigeration System
Core Box

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Nozul soğutulması için kullanılan kapalı çevrim su sirkülasyon sistemi ve verimlilik sağlayan mekanik buhar sıkıstırmalı soğutma sistemi tasarlanarak analiz edilmiştir. / The closed loop water circulation system used for nozzle refrigerating and the mechanical vapor compression refrigeration system providing efficiency were designed and analyzed.



Şekil A: Çalışmanın şematik özeti / **Figure A:** Schematic summary of the study

Önemli noktalar (Highlights)

- Su kullanımında verimlilik sağlayan bir eko tasarım yapılmıştır. / An eco-design that ensures efficiency in water use.
- Üretimde verimlilik sağlayan bir nozul soğutma sistemi geliştirilmiştir. / A nozzle refrigerating system has been developed that ensures efficiency in production.
- Yaz ve kış şartlarında oluşan su sıcaklık değişiminin önüne geçilmiştir. / Water temperature change in summer and winter conditions was prevented.

Amaç (Aim): Soğutma sisteminde su israfının önlenmesi ve maddi tasarruf sağlanması amaçlanmıştır. / It was aimed to prevent wastage of water and to provide financial savings in the refrigeration system.

Özgünlük (Originality): Kapalı çevrim su sirkülasyonuna sahip buyeni soğutma sistemi ile döküm sektöründe su verimliliği sağlanmıştır. / With this new refrigeration system with closed loop water circulation, water efficiency has been achieved in the casting industry.

Bulgular (Results): Maça sandıklarında kullanılan kumun nozul içerisinde ve ucunda katılaşmasının önüne geçilmiş ve üretimdeki aksaklıklar azaltılmıştır. / The solidification of the sand used in the core boxes in the nozzle and at its tip has been prevented and the problems in production have been reduced.

Sonuç (Conclusion): 1 maça sandığında 13.851 m³/yıl su tasarrufu sağlanarak yıllık 51.935,77 TL kazanç sağlanmıştır. / 13,851 m³/year of water saving was achieved in 1 core box, resulting in an annual gain of 51,935.77 TL.



Nozul Soğutma Sisteminde Verimliliğin Arttırılmasına Yönelik Bir Araştırma

Mustafa AKTAŞ¹ Zafer DENİZ² Yaren GÜVEN^{1*} Veysel DURAK³ Merve ULULAR³ Deniz GÖKBEN³

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

³Erkunt Sanayi A.Ş., Ar-Ge Merkezi Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 18/05/2023
Düzelme: 29/05/2023
Kabul: 31/05/2023

Anahtar Kelimeler

Döküm
Maça Üretimi
Nozul
Soğutma Sistemi
Maça Sandığı

Özet

Endüstri tarihinin en eskilerinden biri olan döküm, kum kalıplama ve metal ergitme olarak iki ana prosedürden oluşur. Döküm işlemi temel olarak sıvı metalin nihai parça için istenen geometride boşluk içeren bir kalıba dökülmesinden meydana gelir. Maça, parçanın içerisindeki boşlukları oluşturan kalıbın bir kısmı veya dökümün içinden geçen delik olarak tanımlanır. Mikserde asit ve reçine ile kurlaşan kum, maça makinesindeki kum haznesine alınarak 2-6 bar arası hava basıncında nozullar aracılığı ile sandık içerisine püskürtülür. Sandık içerisindeki maça pişirme işlemi esnasında nozul ve çevresinin etkin soğutulmaması, nozullardan püskürtülen kumun katılaşarak tıkanmasına sebep olur. Oluşan bu tıkanma sonucunda kesitin daralması ile kum akışı bozulmakta ve verimlilik azalarak üretim kalitesine olumsuz yönde etkilenmektedir. Mevcut sistemde maça sandıklarındaki nozulların soğutulması için şebeke suyu kullanılmakta olup, kullanılan su soğutma işleminden sonra 35°C kadar ısınıp rögara atık su olarak aktarılmaktadır. Yaz aylarında yükselen su sıcaklığı ile nozul uçlarındaki artan tıkanmalar sonucunda soğutma sistemi için daha fazla su kullanılmakta, bu da su israfına ve maliyet artışına sebebiyet vermektedir. Bu çalışmada, kapalı çevrim su sirkülasyon sistemi ve R134a soğutucu akışkanlı mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi tasarlanarak tasarım analiz edilmiştir. Bu yeni tasarım ile bir maça sandığında 13.851 m³/yıl su tasarrufu ve yıllık 51.935,77 TL kazanç sağlanarak, bu kapsamda su israfının azaltılmasına yönelik yeni bir metot ortaya konmuştur.

A Research on Increasing Efficiency in Nozzle Refrigeration System

Article Info

Research article
Received: 18/05/2023
Revision: 29/05/2023
Accepted: 31/05/2023

Keywords

Casting
Core Production
Nozzle
Refrigeration System
Core Box

Abstarct

Casting, one of the oldest in industrial history, consist of two main procedures, sand molding and metal melting. The casting process basically consist of casting the liquid metal into a mold with a cavity in the desired geometry for the final component. The core is defined as the part of the mold that creates the cavities in the part or the hole that goes through the casting. The sand, which is cured with acid and resin in the mixer, is taken into the sand chamber in the core machine and sprayed into the crate through nozzles at an air pressure of 2-6 bar. The ineffective cooling of the nozzle and its surroundings during the core cooking process in the crate, causes the sand sprayed from the nozzles to solidify and blockage. As a result of this blockage, with the narrowing of the section, the sand flow is disrupted and the productivity decreases, negatively affecting the production quality. Mains water is used in the existing system to cool the nozzles in the core crates and after the cooling process the water used is heated up to 35°C and transferred to the manhole as waste water. As a result of the rising water temperature in the summer months and the increasing blockages at the nozzle tips, more water is used for the cooling system, which leads to water waste and increased costs. In this study, closed loop water circulation system and mechanical vapor compression refrigeration system with R134a refrigerant were designed and analyzed. With this new design, a water saving of 13.851 m³/year and an annual saving of 51.935.77 TL was achieved in a core box, and a new method was put forth to reduce water waste in this context.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Döküm işlemi, üretilmek istenen parçanın şekline ait boşluk bulunan kalıplara pik, çelik, yolluk hammaddeleri ve alaşım elementlerinin ark,

endüksiyon ya da kupol ocaklarında ergitilmiş metalin dökülmesi ile gerçekleştirilir [1].

Döküm sürecinde maçalar parça içerisinde istenilen boş yapının oluşturulması amacı ile

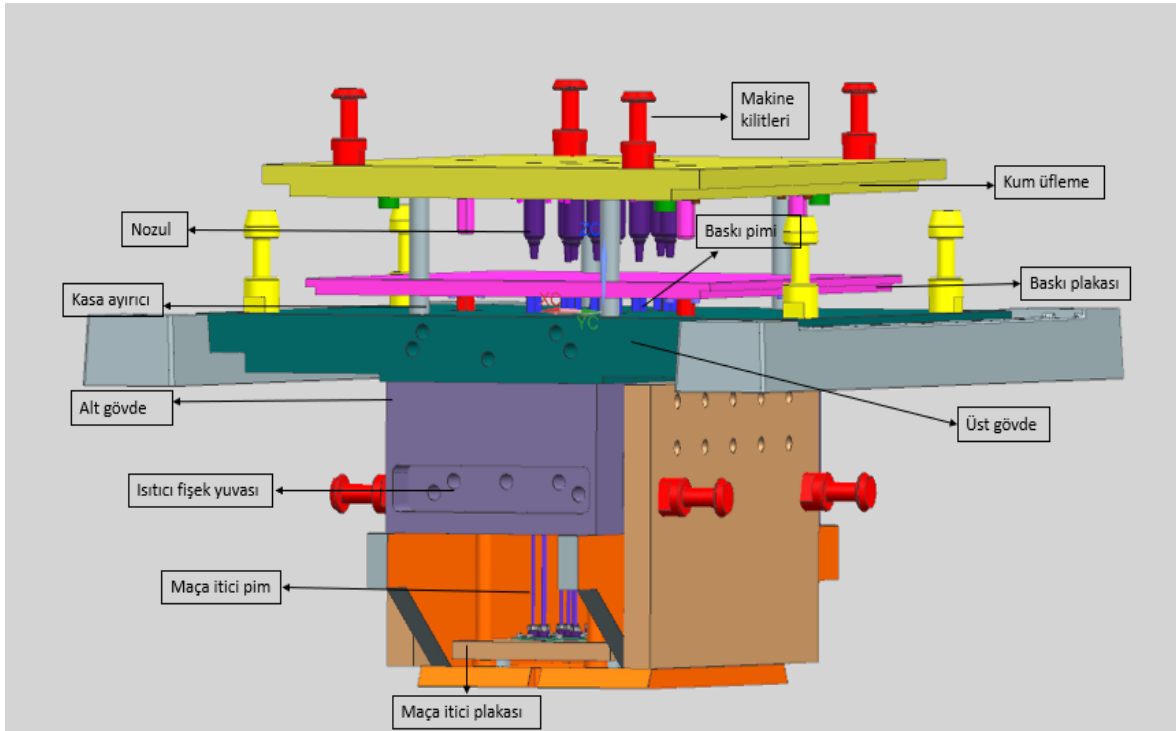
kullanılır. Örneğin motor bloğunun su ceketi, silindir kafaları ve valfler gibi içi boş bir dökümün iç geometrik formunu oluşturur [2]. Ortalama 1500°C sıcaklıktaki ergimiş metal ile temas edecek ve metalin katılaşması ile döküm parçanın iç boşluklarını oluşturacak maçanın, bu yüksek sıcaklık ve yüksek hidrostatik basınç altında katılaşma bitinceye kadar dağılmayacak özellikte imal edilmesi gerekir. Maça kumu, reçineler (bağlayıcılar) ile karıştırılarak pişirilir ve ardından katalizör gaz ile sertleştirilerek dökümde kullanılmak üzere kalıba yerleştirilir [3].

Maça üretimi için Furan yöntemi, cold-box yöntemi, hot-box yöntemi, pep-set yöntemi ve CO₂ yöntemi gibi çeşitli yöntemler kullanılır [4]. Hot-box yönteminde kum, reçine ve sertleştirici uygun mikserde karıştırılıp 150-250°C'de pişirilir. Hot-box yöntemi diğer yöntemlere göre daha azzamanda pişirme süresi ile daha fazla miktarda

maça ürettiği için büyük ölçekli seri üretimlerde tercih edilir [5].

Üst plaka, alt plaka ve ısıtıcıdan oluşan hot-box sandıklarında kullanılan nozullar akışkan tipine ve püskürtme alanlarına göre sınıflandırılır. Akışkan tipine göre nozullar 5 farklı uygulama alanına sahiptir. Bunlar hidrolik nozullar, pnömatik nozullar, hava nozulları, noktasal püskürtme nozullar ve sis nozulları olarak sınıflandırılabilirler. Püskürtme parametreleri ise püskürtme etkisi, kapasitesi, modeli ve püskürtme dağılımı gibi değişkenlerden oluşur [6].

Şekil 1'de hot-box maça sandığınınayrıntısı verilmiştir.



Şekil 1. Hot-box maça sandığı (Hot-box core crate)

Pourfattah ve Sabpooshani [7], nozul soğutma sistemi performansı üzerine yaptıkları çalışmalar sonucunda nozullardaki ısı transferinin nozul çapına, yoğunluğuna, debisine ve soğutucu sıvının çarpma hızına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca akış hızının artması ile sıvının soğutma kapasitesinin yükseldiğini belirtmişlerdir. Döküm prosesinde nozulların tasarımları, boyutu, bağlantı noktası ve kalınlığı incelendiğinde farklı konfigürasyonların malzeme akışını değiştirdiği belirtilmiştir [8].

Wang vd [9] kömür tüketimini azaltmak, CO₂ emisyonlarını azaltmak ve termik santrallerin ekonomik durumlarını iyileştirmek amacıyla yeni bir hava/su hibrit soğutma sistemi geliştirmişlerdir. Sonuçlar, bu sistem ile santralde yıllık kömür tüketiminin yaklaşık 1.400 ton, CO₂ emisyonunun 3.490 ton azaltılabileceğini ve 50.000 ton su tasarrufu sağlanabileceğini göstermiştir.

Aili vd [10] termik santrallerde evaporatif ıslak soğutmalı ve soğutmasız gündüz-gece ışınımlı gökyüzü soğutmasının su tasarrufu potansiyelini incelemişlerdir. Hibrit bir evaporatif-radyatif

soğutma sisteminin ABD'nin kuru ve sıcak bölgelerinde %30-60, diğer bölgelerinde ise %50-90 oranında yıllık su tasarrufu sağladığını gözlemlemiştir.

Tsafarasvd [11] kurak bölgelerdeki evaporatif soğutmalı seraların tasarımını değiştirmenin su tasarrufu potansiyelini araştırmışlardır. Değiştirilmiş sera tasarımı, evaporatif soğutmada %40'tan fazla su tasarrufu sağlamıştır.

Hot-box sandıkları, maça kumunun pişme sıcaklığına kadar ısıtılır. Kum püskürtme başlığından maça sandığına kum doldurulur ve maçanın pişme zamanına kadar beklenir. Bu bekleme süresinde nozullardan gelen kum, nozul ve çevresinin etkin soğutulmaması durumunda katılaşabilir ve kesitin daralması ile akış yapısı bozulabilir. Oluşan katılaşma nozul/nozullardan kum akışını durdurmakta veya azaltarak istenilen kalitede üretim yapılamamasına, üretimin kesintiye uğramasına sebebiyet verebilir. Soğutucu sıvı akış yapısı ile soğutucu sıvı, nozul ucuna kadar yönlendirilerek özellikle nozul ucu tıkanmalarının önüne geçilir ve böylece döküm teknolojisinde üretimde verimlilik sağlanır.

Bu çalışma ile sıcak maça üretim makinalarında kullanılan su tüketiminde verimlilik sağlanması ve maça sandıklarında kum üfleme amacı ile kullanılan nozulların gövde ve ucunda katılaşmanın önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Verimlilik sağlanması amacıyla yapılan tasarımın, maça üretim makinaları ve sandıkları üzerine çalışma yapan araştırmacılara ışık tutması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Teorik Analiz (Theoretical Analysis)

Mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminde çalışan kompresörün izantropik verimi;

$$\eta_{iz} = 1 - 0,05 \frac{P_C}{P_E} \quad (1)$$

kompresör gücü ise;

$$\dot{W}_K = \dot{m} (h_2 - h_{1r}) \quad (2)$$

bağıntıları ile hesaplanır [12].

Kullanılan R134a soğutucu akışkanın debisi;

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_E}{(h_1 - h_4)} \quad (3)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanır. Evaporatörde soğutma suyundan çekilen ısı;

$$\dot{Q}_E = \dot{m} c \Delta T \quad (4)$$

bağıntısından, kondenserden atılan ısı ise;

$$\dot{Q}_C = \dot{m} (h_2 - h_3) \quad (5)$$

bağıntısından bulunur [12]. Bu durumda ısı pompasının etkinlik katsayısı;

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{W}_K} \quad (6)$$

bağıntısı, soğutma makinesinin etkinlik katsayısı ise;

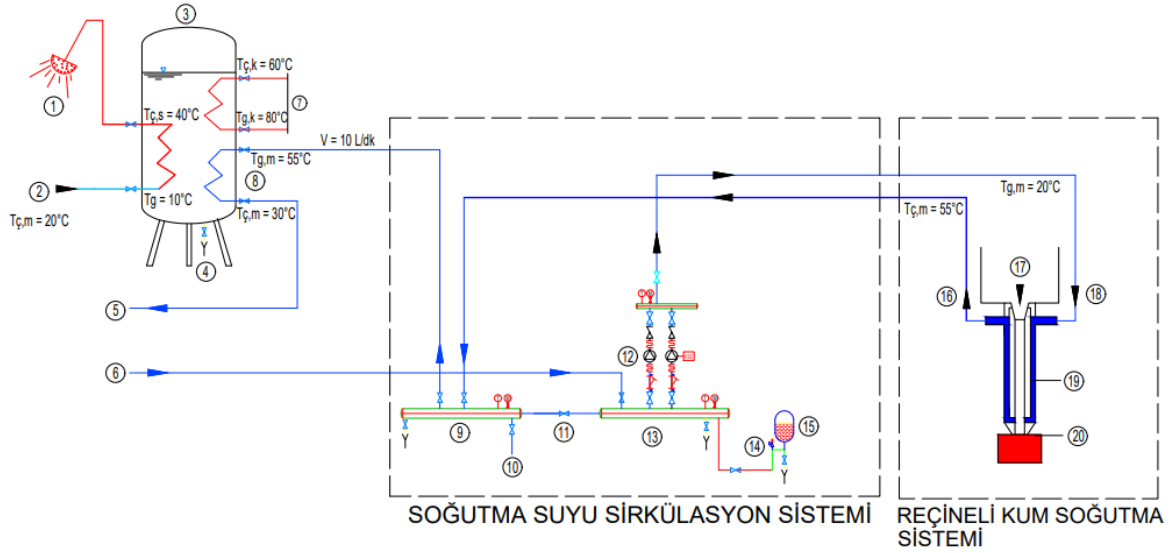
$$COP_{SM} = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{W}_K} \quad (7)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanır [13].

2.2. Tasarım (Design)

Sistemde mevcutta kullanılan maça sandığı nozul sisteminin soğutulması için şebeke suyu kullanılmakta ve kullanılan su 20°C'de sisteme girip, reçineli kum aktaran nozulları soğutmada kullanıldıktan sonra 55°C'ye kadar ısınmaktadır. Elde edilen sıcak su, sıcak su hazırlama sisteminin ön ısıtmasında kullanılmak üzere boyler sistemine gönderilmektedir. Boyler sisteminde bir miktar daha ısıyı çekilen soğutma suyu yağmur suyu rögarına atılmaktadır. Maça sisteminde nozullar günlük 9 saat çalışmakta olup sistemde kullanılan suyun debisi deneysel olarak 10 L/dakika olarak ölçülmüştür.

Mevcut sistem su akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.

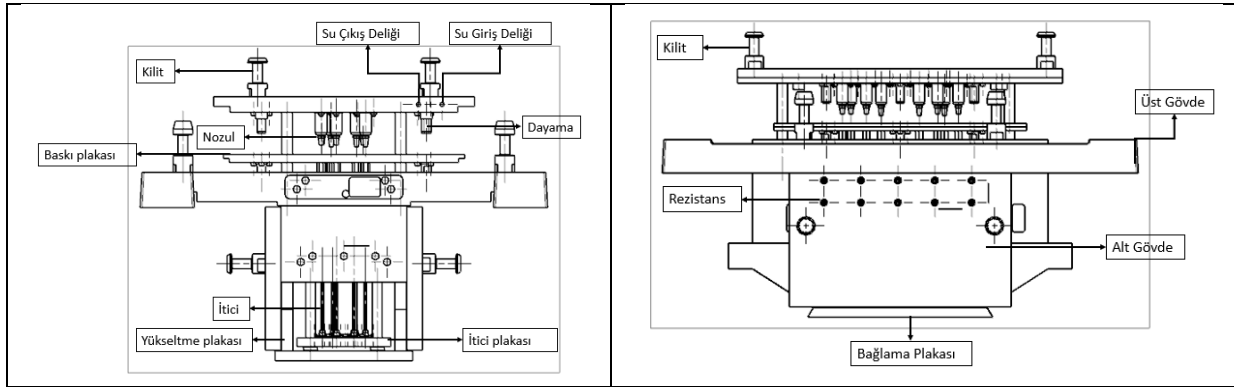


- | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| ① DUŞ SİSTEMİ | ⑥ ŞEBEKE SOĞUK SU HATTI | ⑪ BAYPASS VANASI | ⑯ SICAK SU ÇIKIŞI |
| ② SOĞUK SU HATTI | ⑦ KAZAN BOYLER ISITMA POMPASINDAN | ⑫ SİRKÜLASYON POMPASI | ⑰ REÇİNELİ KUM GİRİŞİ |
| ③ SOYUNMA ODALARI SICAK SU BOYLER | ⑧ KULLANIM SICAK SUYU ISITMA YÜKÜ | ⑬ BASMA KOLEKTÖRÜ | ⑱ SOĞUK SU GİRİŞİ |
| ④ BOŞALTIMA | ⑨ DÖNÜŞ KOLEKTÖRÜ | ⑭ EMNİYET VENTİLİ | ⑳ SICAK ÜST PLAKA |
| ⑤ ATIK SU HATTI | ⑩ ŞEBEKE DOLDURMA | ⑮ BÜZÜŞME TANKI | |

MEVCUT SİSTEM

Şekil 2. Üretim tesisinde kullanılan mevcut soğutma sistemi akış şeması (Flow schema of the current refrigeration system used in the production facility)

Sistem sıcak sandık yapısı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Sıcak sandık yapısı (Hot-box structure)

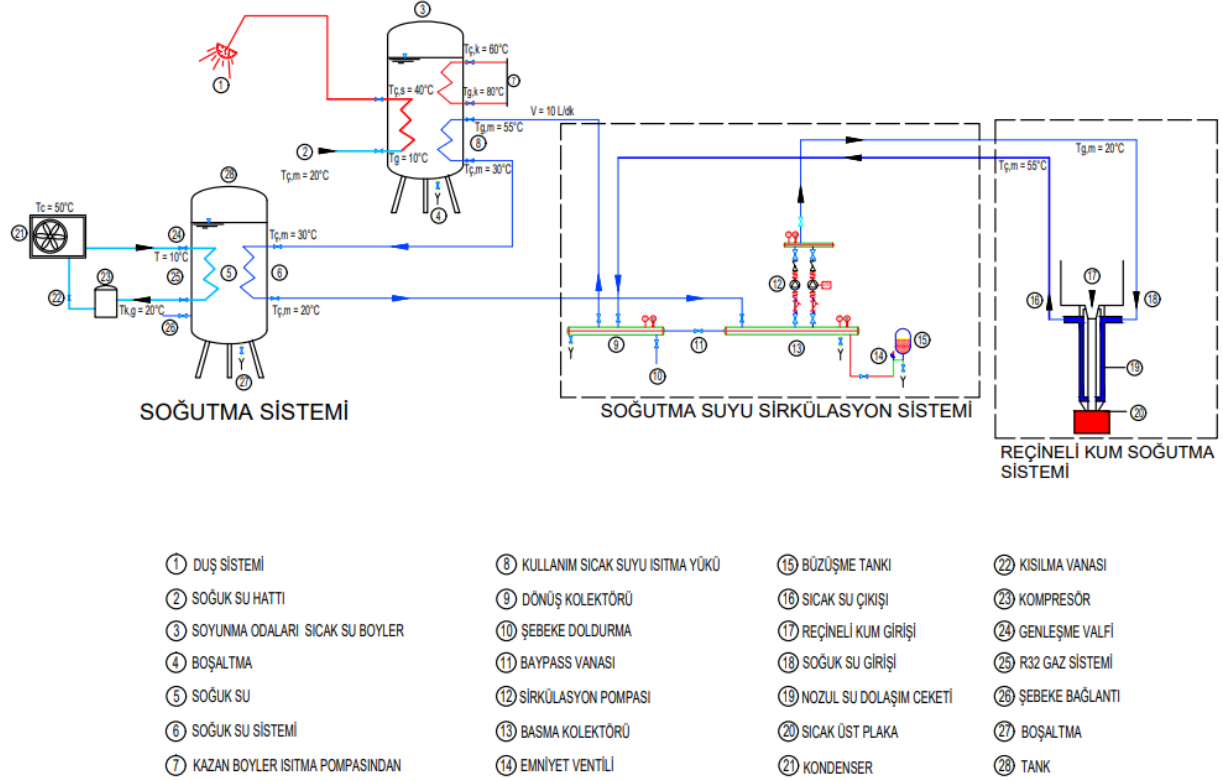
Mevcut sistemde yaz ve kış aylarında şebeke suyunda sıcaklık farklılıklarının olması yaz aylarında su sıcaklığının yükselmesinden dolayı maça soğutma sistemi için daha fazla suya ihtiyaç duyulması ve kullanılan suyun da enerjisinin bir kısmı kullanıldıktan sonra atık su olarak atılmasından dolayı mevcut sistemde su ve sermaye israfı meydana gelmektedir. Yılda 285 gün çalışan bu sistemde günde $5,4 \text{ m}^3$ su harcandığı hesaplanmış ve sanayide kullanılan suyun birim fiyatının $39,41 \text{ TL/m}^3$ olduğu göz önüne alındığında [14] yılda; $5,4 \text{ m}^3/\text{gün} \times 285$

$\text{gün/yıl} \times 39,41 \text{ TL/m}^3 = 60.652 \text{ TL}$ suya para harcanmaktadır. Su israfının önüne geçmek ve maliyet tasarrufu sağlamak amacıyla yeni bir sistem tasarlanmıştır.

Yapılan analizler neticesinde su kullanımında verimliliği sağlamak amacıyla Şekil 4'te verilen yeni sistem tasarlanmıştır. Mevcut sistemde su sıcaklığının mevsimlere göre değişiklik göstermesi ve yüksek sıcaklıklarda nozul ucundaki bölgelerde kum katılaşmasının oluşması sistemin durmasına ve temizlik işlemlerinden sonra tekrar devam

ettirilmesine neden olmaktadır. Tıkanma sorunu günlük üretimi de etkilemektedir. Kumun katılaşmasının önüne geçmek için su sıcaklığının belirli değerlerin altında olması gereklidir. Mevcut sistemde yaşanan aksaklıkların giderilmesi ve su israfının azaltılması için kapalı çevrim su sirkülasyon sistemi ve R134a soğutucu akışkanının

kullanıldığı su soğutma sistemleri entegre edilmiştir. Bu iki sistemin ilavesi ile su israfı azaltılmış, su dışarı atılmadan filtre edilerek maça kum nozullarının soğutulması amaçlanmıştır. Bu sayede mevsimlere göre soğutma sıcaklığında oluşan sıcaklık değişimlerinin önüne geçilmiştir.



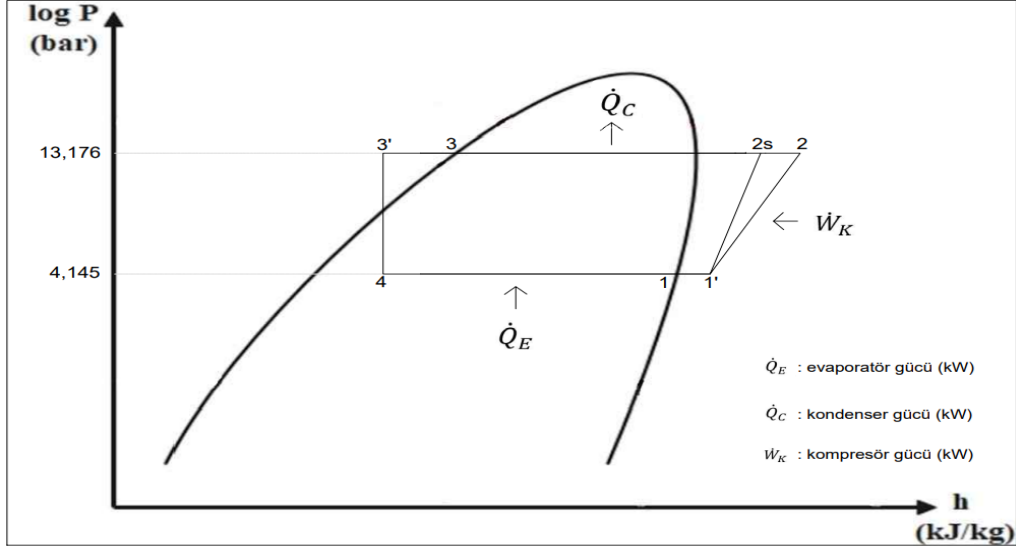
SOĞUTMA SİSTEM ŞEMASI

Şekil 4. Yenilikçi su soğutma sistemi akış şeması (Innovative water refrigeration system flow schema)

Soğutma sisteminde kullanılan su 55°C'ye kadar ısınmakta daha sonra suyun ısıısının bir kısmı duş boylerinde birinci serpantine girmekte ve ısı geri kazanımı ile soğutma sistemine girmeden önce sıcaklığı 20°C'ye kadar sıcaklığı düşürülmektedir.

Boylere 10°C'de giren su, 40°C olarak çıkmaktadır.

Şekil 5'te soğutma sistemine ait logP-h diyagramı görülmektedir.



Şekil 5. R134a logP- h diyagramı (R134a logP-h diagram)

Bu sistemde elektrik harcayan ekipman kompresör olup nozullar günde 9 saat soğutulmaktadır. Bu da $1,335221 \text{ kW} \times 9 \text{ saat/gün} = 12,01699 \text{ kWh/gün}$ elektrik tüketilecektir.

Yapılan hesaplamalarda kullanılan değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hesaplamalarda kullanılan değerler (Values used in calculations)

Parametre	Değer
Nozulların günlük çalışma süresi (saat)	9
Kullanılan suyun debisi (L/dakika)	10
Suyun özgül ısısı (kJ/kgK)	4,18
Soğuk su giriş sıcaklığı (°C)	20
Sıcak su çıkış sıcaklığı (°C)	55
Boylere giren su sıcaklığı (°C)	10
Boylere çıkan su sıcaklığı (°C)	40
Kondenzasyon sıcaklığı (K)	323,15
Evaporasyon sıcaklığı (K)	283,15
Aşırı soğutma (K)	10
Aşırı kızdırma (K)	10
h_1 (kJ/kgK)	412,558
h_2 (kJ/kgK)	442,533
$h_3 = h_4$ (kJ/kgK)	256,16
Kondenzasyon basıncı (bar)	13,176
Evaporasyon basıncı (bar)	4,145
Sistemin yıllık çalışma süresi (gün)	285
Sanayi su birim fiyatı (TL/m ³)	39,41
Sanayi elektrik birim fiyatı (TL/kWh)	2,545
Tank su giriş sıcaklığı (°C)	30
Tanksu çıkış sıcaklığı (°C)	20

Yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Sonuçlar (Results)

Parametre	Değer
Günlük tüketilen su miktarı (m ³ /gün)	5,4
Suyun debisi (kg/s)	0,166667
Nozullarda ısınan sudan çekilen ısı (kW)	24,38333
Evaporatörde soğutma suyundan çekilen ısı (kW)	6,966667
Soğutucu akışkanın kütleli debisi (kg/s)	0,044544
İzantropik verim	0,841062
Kondenserden atılan ısı (kW)	8,301887
Kompresör gücü (kW)	1,335221
COP ısı pompası	6,217615
COP soğutma makinesi	5,217615
Yıllık su gider maliyeti (TL)	60651,99
Günlük elektrik tüketimi (kWh/gün)	12,01699
Yıllık elektrik maliyeti (TL)	8716,22
Maliyet tasarrufu (TL)	51935,77

Sanayide kullanılan elektriğin birim fiyatı 2,545 TL/kWh olarak kabul edildiğinde [15]; 12,01699 kWh/gün x 285 gün/yıl x 2,545 TL/kWh = 8.716,22 TL/yıl maliyet oluşmaktadır. Mevcut sistemde yıllık 60.652 TL su maliyeti bulunmaktadır. Yeni sistemde ise yıllık elektrik maliyeti 8.716,22 TL'dir. Mevcut sistemden soğutma entegreli sisteme geçildiği takdirde yıllık 51.935,77 TL tasarruf edilmesi mümkündür.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada döküm sektöründe su tüketiminde verimlilik sağlayacak yeni bir eko tasarım yapılmış ve bu tasarım analiz edilmiştir. Yeni tasarım ile elektrik enerjisi maliyeti 8.716,22 TL ve yıllık su maliyeti de 60.652 TL olup, yıllık 51.935,77 TL kazanç sağlanacaktır. Bu sayede hem su israfı ortadan kalkmış hem maliyet azaltılarak hem de yaz ve kış ayları şartlarında oluşan su sıcaklık değişiminin önüne geçilmiştir. Soğutma su sıcaklığının stabil olduğu bu yeni sistem ile maça sandıklarında kullanılan kumun nozul içerisinde ve ucunda katılaşmasının da önüne geçilerek üretimde olabilecek aksamalar da azaltılabilecektir. Böylece işletmede de verimlilik sağlanacaktır. Bu tasarım ile bir maça sandığında 13.851 m³/yıl su tasarrufu sağlanabilecektir.

Bu tasarımda soğutma sistemine dış hava ile kış aylarında suyun soğutulmasını sağlayabilecek bir harici dış ısı değiştirici ve fan entegre edilerek kullanıldığında kış aylarında soğuk dış hava kullanılarak su soğutulabilecek ve soğutma

sisteminin çalışma süresi azaltılarak elektrik enerjisi maliyeti de düşürülebilecektir.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

c	Özgül ısı, kJ/kgK
COP_{IP}	Isı pompasının etkinlik katsayısı
COP_{SM}	Soğutma makinesinin etkinlik katsayısı
h	Entalpi, kJ/kg
h_1'	Soğutucu akışkanın kompresöre giriş entalpisi, kJ/kg
h_2	Soğutucu akışkanın kompresörden çıkış entalpisi, kJ/kg
h_3	Soğutucu akışkanın kondenserden çıkış entalpisi, kJ/kg
h_4	Soğutucu akışkanın evaporatöre giriş entalpisi, kJ/kg
\dot{m}	Kütleli debi, kg/s
\dot{Q}_C	Kondenser gücü, kW
\dot{Q}_E	Evaporatör gücü, kW
P_C	Kondenzasyon basıncı, bar
P_E	Buharlaştırma basıncı, bar

\dot{W}_K Kompresör gücü, kW
 η_{iz} Kompresörün izantropik verimi, %

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Çalışmaya vermiş olduğu katkılardan dolayı Erkunt Sanayi A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The authors of this article declare that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Mustafa AKTAŞ: Yenilikçi soğutma sisteminin tasarımını ve hesaplamalarını yapmış, makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He made the design and calculations of the innovative refrigeration system and performed the writing process.

Zafer DENİZ: Yenilikçi soğutma sisteminin tasarımını ve hesaplamalarını yapmış, makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He made the design and calculations of the innovative refrigeration system and performed the writing process.

Yaren GÜVEN: Yenilikçi soğutma sisteminin tasarımını ve hesaplamalarını yapmış, makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

She made the design and calculations of the innovative refrigeration system and performed the writing process.

Vesysel DURAK: Deneysel çalışmayı gerçekleştirmiş, tasarımı ve literatür taramasını yapmıştır.

He conducted the experiments, made the design and literature review.

Merve ULULAR: Deneysel çalışmayı gerçekleştirmiş, tasarımı ve literatür taramasını yapmıştır.

She conducted the experiments, made the design and literature review.

Deniz GÖKBEN: Deneysel çalışmayı gerçekleştirmiş, tasarımı ve literatür taramasını yapmıştır.

She conducted the experiments, made the design and literature review.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Treyger, A. (2018). Overview of Foundry Processes and Technologies: Manufacturing Metal Casting, Continuing Education and Development, Inc. 9 Greyridge Farm Court Stony Point, NY 10980.
- [2] TÜDOKSAD Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği (2019). Kullanılmış Döküm Kumunun Değerlendirilmesi ve Geri Kazanımı, 2-6.
- [3] Deore, S. D., Chaudhari, G. B., Chaturvedi, A. G., Gunjal, S. U. (2015). A Study Core and Its Types for Casting Process. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 3, 1571-1580.
- [4] Öztürk, S. (2018). *Döküm Teknolojileri Ders Notları*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği.
- [5] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (1987). Preventing Visual Disorders and Acute Physical Discomfort Due to Dimethylethylamine (DMEA) Exposure, 88-103.
- [6] Son, M. (2021). *Farklı Feometrilere Sahip Nozulların Akış Parametrelerinin Sayısal Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- [7] Pourfattah, F., Sabpooshani, M. (2020). Thermal Management of a Power Electronic Module Employing a Novel Multi-Micro Nozzle Liquid-Based Cooling System: A Numerical Study. *International Journal of Heat Mass Transfer*, 147, 118928.

- [8] Mahmoudi, J. (2022). Numerical Simulation of the Nozzle Configuration in Strip Casting Process. *Journal of Manufacturing Processes*, 77, 561-578.
- [9] Wang, J., Xue, K., Zhang, G., Chen, W., Li, G., Zhang, J., Zhang, G. (2022). Development and Assessment of a Novel Air/Water Hybrid Cooling System Coupling Two Units for Energy and Water Saving. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102330.
- [10] Aili, A., Zhao, D., Tan, G., Yin, X., Yang, R. (2021). Reduction of Water Consumption in Thermal Power Plants with Radiative Sky Cooling. *Applied Energy*, 302, 117515.
- [11] Tsafaras, I., Campen, J. B., Stanghellini, C., de Zwart, H. F., Voogt, W., Scheffers, K., Al Harbi, A., Al Assaf, K. (2021). Intelligent Greenhouse Design Decreases Water Use for Evaporative Cooling in Arid Regions. *Agricultural Water Management*, 250, 106807.
- [12] Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S., Yamankaradeniz, N. (2013). *Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları* (Üçüncü Baskı). Türkiye: Dora Yayıncılık, 30-32.
- [13] Gülmez, M., Aktaş, M., Erten, S., Erdoğan, F. N., Öder, M. (2022). Design of an Air Source Heat Pump Having a Waste Heat Defrosting Method with Natural Refrigerant. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 10, 468-478.
- [14] İnternet: ASKİ. “Su ve Atık Su Tarifesi (TL/m³)”. URL: <https://www.aski.gov.tr/tr/ucretler.aspx>.
- [15] İnternet: T.C. Enerji Piyasası Denetleme Kurumu, (2023). URL: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>.