

Orijinal Makale/Research Article

Soğutucu akışkan-hava ile çalışan evaporatör imalatında kullanılacak parametrelerin hesaplanması için bir bilgisayar programının yazılması

Melik Ziya YAKUT¹, Reşat SELBAŞ²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Evaporatör
Isı değiştiricisi
Soğutucu serpantin
Windows uygulaması

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 27.02.2021
Kabul Tarihi: 26.04.2021

Öz: Soğutma çevrimindeki dört ana elamandan biri olan evaporatör (soğutma serpantini veya buharlaştırıcı), bu çalışmada kanatlı borulu ısı değiştiricisi olarak kullanılmıştır. Evaporatörlerin boyutlandırılmasına ait parametrelerin belirlenmesinde zorluklar bulunduğu için bir bilgisayar programı yazılarak hesaplanmıştır. Çalışma platform bağımsızlığı yüksek olan, hassas yuvarlatma hatası oranı ile matematiksel işlemlere uygun yapısından ötürü Microsoft Visual Studio.NET platformunun C# yazılım dili ile hazırlanmıştır. Programda, evaporatörün ısı değerleri ve buna bağlı olarak fiziksel tasarımının parametreleri hesaplanabilmektedir. Tez çalışmasının olanaklarıyla, programın matematiksel denklemleri kullanarak evaporatörün toplam soğutma yükü 2.0379 kJ, boru yüzey alanı 2.1070 m², boru sayısı 19, kanatçık sayısı 90 olarak hesaplanmış ve imal edilen evaporatörün sıcaklık sonuçları ölçülüp karşılaştırıldığında programın sonuçlarının %92'nin üzerinde doğru olduğu belirlenmiştir. Bir başlangıç programı olarak hazırlanan bu tez çalışmasının ilerideki versiyonlarında daha verimli sonuçlar alınabilmesi için esnek programlama yapısı sayesinde matematiksel ve deneysel sonuçlar kolaylıkla eklenebilecektir.

Atf için/To Cite:

Yakut M. Z. Selbaş R. Soğutucu akışkan-hava ile çalışan evaporatör imalatında kullanılacak parametrelerin hesaplanması için bir bilgisayar programının yazılması. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 13(1), 14-22, 2021.

A computer program for calculating parameters to be used in refrigerant-air operated evaporator manufacturing

Keywords

Evaporator
Heat exchanger
Cooling coil
Windows application

Article history:

Received: 27.02.2021
Accepted: 26.04.2021

Abstract: The evaporator (cooling coil or blower coil), one of the four main elements in the refrigeration cycle, was used as a finned tube heat exchanger in this study. There are difficulties in determining the parameters for sizing evaporators. It was calculated by writing a computer program due to difficulties in determining the parameters for sizing the evaporators. A program was written that has high working platform independence and makes calculations with the C# programming language of the Microsoft Visual Studio.NET platform with its structure suitable for precise roundoff error ratio mathematical operations. In the program, the thermal values of the evaporator and, accordingly, the parameters of its physical design can be calculated. With the possibilities of the thesis study, using the mathematical equations of the program, the total cooling load of the evaporator was calculated as 2.0379 kJ, the pipe surface area was 2.1070 m², the number of pipes was 19, the number of fins was 90, and when the temperature results of the manufactured evaporator were measured and compared, it was determined that the results of the program were over 92% correct. Mathematical and experimental results can be easily added thanks to the flexible programming structure in order to obtain more efficient results in future versions of this thesis study prepared as a starter program.

1. Giriş

Mühendislik uygulamalarında en çok karşılaşılan ve verimliliği önemli şekilde etkileyen işlemlerden birisi ısı değişim sürecidir. Farklı sıcaklıklara sahip iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı aktarım işlemi ısı değiştiriciler tarafından gerçekleştirilmektedir. Birçok endüstri uygulamasında, bir yüzey ile birbirlerinden ayrılan ve farklı sıcaklıklara sahip akışkanlar arasında ısı transferi meydana gelir. Isının bir akışkandan bir diğer akışkana aktarımı, proseslerin çoğunda hedeflenen ve önem arz eden bir olaydır [1].

Isı değiştiriciler, kullanım amacına, ısı geçiş şekline, akış türüne, akışkan sayısına veya akışkanların faz değişimlerine göre sınıflandırılabilir ve değişik konstrüksiyonlarda, kapasitelerde, boyutlarda üretilebilmektedirler. Mühendislik uygulamalarında birçok tipte bulunabilen ısı değiştiricilerinin, kullanıldığı alana göre tasarımı ve optimizasyonu verimlilik açısından büyük önem taşımaktadır. Isı değiştiricilerinin tasarımı ve optimizasyonunda pek çok parametre etkilidir. Isı değiştiricinin konstrüksiyonu, performans parametreleri (sıcaklıklar, debiler, basınç düşümleri), akışkanların tipleri, fazları, ekonomik faktörleri, ısı geçiş mekanizması, ısı değiştiricilerinin tasarımında ve verimli bir şekilde kullanılmasında etkilidir.

Isı değiştiricilerinin yaygın olarak kullanıldığı alanlardan birisi de soğutma sistemleridir. Hava soğutmalı ısı değiştiricileri, soğutma sistemlerinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Kanatlı borulu ısı değiştiricileri ısı geçişi sağlanacak olan yüzey alanını artırmak amacıyla çok sayıda kanattan ve düzenli dizilmiş bir boru demetinin bu kanatların içinden sıkı geçme ile geçirilmesiyle oluşturulan yapılardır Şekil 1'de gösterildiği gibi.



Şekil 1. Kanatlı borulu ısı değiştirici görünümü

Kanatlı borulu ısı değiştiricilerinin çalışma prensibi oldukça basit olmakla beraber, ısı geçişini etkileyen parametrelerin fazlalığı sebebi ile performans analizlerini yapmak bir hayli zordur. İdeal bir ısı transfer sistemi gerçek uygulamalarından bir miktar farklılık gösterir. Bu durumun sebebi ideal sistemlerde, gerçek uygulamalar için geçerli olmayan bazı kabullerin

yapılmasıdır. Örneğin, ideal bir soğutma çevriminde kullanılan soğutucu akışkanın evaporatör ve kondanser içerisinden geçişi esnasındaki sürtünmelerden kaynaklanan basınç düşmeleri ihmal edilmektedir [2].

Soğutma sistemlerinde hava ile soğutucu akışkan arasında ısı transferini sağlamak için kondanser ve/veya evaporatör olarak en çok tercih edilen ısı değiştirici tipi, kanat borulu kompakt ısı değiştiricileridir. Soğutma sistemleri tasarımında gerekli zaman ve maliyetin azaltılması, yeni çalışma koşullarına kolayca uyum sağlayabilen modeller ile mümkün olabilmektedir [3].

İmalat aşamasında önce bu ısı değiştiricilerinden optimum verim alınabilmesi için alternatif bilgisayar programlarıyla sistem gerçek uygulama verilerine çok yakın olacak şekilde irdelenebilir. Isı değiştiricilerin tasarımı termodinamik, akışkanlar dinamiği, mukavemet, optimizasyon ve maliyet başta olmak üzere birçok konuyu içeren karmaşık bir süreçtir. Bu konuyla ilgili ASPEN Plus, HTRI, HTFS, THERM ve CCTherm gibi çeşitli ticari programlar mevcuttur. Bu programlar ısı değiştiricilerin tasarlanmasına ve derecelendirilmesini mümkün kılmaktadırlar. Isı değiştiricilerin tasarımı esnasında optimizasyon yöntemlerinin uygulanması, en uygun maliyetli ve yüksek performanslı ısı değiştiricinin elde edilmesini mümkün kılar [4].

Bir üç boyutlu kanatlı tip ile birleştirilmiş bir helezonik kanatlı ısı eşanjörünün ısı transfer özelliklerini araştırmak için girişimlerde bulunmuşlardır. Isı eşanjöründeki akış ve ısı transfer performansını tahmin etmek için Fluent 6.0 adı verilen ticari bir hesaplama akışkan dinamiği (CFD) programını kullanmışlardır [5],[6]. İki sıralı, kanatlı ve borulu ısı eşanjörünün hava tarafı performansını, kanatçık aralığı, boru aralığı, kanat kalınlığı ve boru çapının ısı değiştiricinin performansı üzerindeki etkilerini STAR-CD CFD programıyla araştırılmıştır [7]. FRTCOILS CO2 Gaz Soğutucusu Modülü ara yüzü programını anlatmışlardır. Sistemin en önemli kısımlarından olan evaporatör ve gaz soğutucu tasarımları için gerekli yazılım geliştirme çalışmalarını yürütmüşlerdir. Yazılım çalışmaları laboratuvarında yapılan prototip testleri ile desteklemişlerdir. Oluşturulan yazılım programından elde edilen sonuçlar ile deneysel verilerin uygunluğu görülmüştür. Sonuç olarak kanatlı borulu CO2 ısı değiştiricisi tasarımına olanak sağlayan yazılım programını elde etmişlerdir [8]. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımı olan ANSYS FLUENT kullanılarak halka şeklindeki kanatlı boruların sayısal bir incelemesi yapılarak, optimizasyonunun yapılması sağlanmıştır [9]. Matematiksel model olarak ϵ -NTU kullanarak havadan havaya termosifon bazlı ısı

eşanjörünün performansını tahmin etmek için bir araç yöntemi çalışmışlardır [10]. Farklı tasarımlı ısı değiştiricilerinin, düz kanatlı plakalı ve kanatsız gövde borulu türlerinin CFD programıyla analiz ederek parametrelerin etkilerini tartışmıştır [11]. Parabolik oluklu güneş kolektörü (PTSC) ile organik Rankine çevriminin entegre olarak çalıştığı sistemin bileşenleri arasında yer alan gövde – boru tipi ısı değiştiricisinin COMSOL Multiphysics programında çoklu fizik (ısı transferi ve akışkanlar mekaniği) modellemesi yapmıştır [12]. MATLAB programıyla üç boyutlu düzlemde plakalı kanatlı tüplü evaporatörün üreteceği buhar miktarının hesabını yapmış, deneysel sistemle sonuçları karşılaştırılmıştır [13]. Kanatlı borulu ısı değiştirici için yapılan deneysel çalışmayla elde edilen verilerin matematiksel hesaplamayla ulaşılan değerlerle belirsizlik analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmayla deneysel sonuçlardan elde edilen verilerin ne kadar gerçekçi olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca hava ve su tarafına olan ısı geçişleri için yapılan analiz sonucunda hava tarafına olan ısı geçişinin belirlenmesindeki belirsizliğin daha yüksek çıktığı hesaplanmıştır [14]. Isı değiştiricisinin borularının eliptik oranı, kanat mesafelerini, Reynold sayısının ısı transferine oranını ANSYS Fluent programıyla analiz ederek farklarını incelemiştir [15],[16]. Levhali ısı değiştiricisinin analizini Taguchi ve ANSYS Fluent programıyla performans incelenmiş ve optimizasyon uygulamasının sonuçları tartışılmıştır [17].

Ancak bu çalışmaların dışında aygıt platformlarından bağımsız olarak bir programa sahip olunması hem esneklik hem de verimlilik katacaktır. Günümüzde en popüler programlama dillerinden birisi de C#'dır. Yazılım dünyasında çok fonksiyonlu ve aktif olarak gelişen programlama dillerinden biridir ve kısa sürede şık ve işlevsel uygulamalar oluşturmaya olanak sağlar. Ancak, bu temel programlama dilleri matematiksel programlama problemlerini çözmek için çok fazla hazır araçları, diferansiyel denklem sistemleri, matematiksel fizik problemleri, vb. gibi detaylı araçları hazır olarak içermez. Bilimsel ve pratik problemleri çözmek için gerekli olan yerleşik matematiksel kitaplıklar içermezler ve Extreme Optimizasyon, IMSL Sayısal Kitaplık vb. gibi üçüncü taraf matematiksel kitaplıkların ise lisans maliyetleri yüksektir [18].

İlgili literatür çalışmalarında, özellikle ısı değiştiricilerinin kompleks yapısı teorik incelemede matematiksel modelin oluşturulmasını zorlaştırmıştır. Bu nedenle analitik çözüm mümkün olamamaktadır. Hesaplamaya taban oluşturacak eşitliklerin türetilmesi ancak deneysel verilerle mümkün olabilmektedir. Bu nedenle literatürde çok sayıda ampirik eşitliklerle karşılaşılmaktadır. Hazırlanan modeller üzerine verilen eşitlikler ile sunulan çözümlerde büyük farklılıklar söz konusudur. Dolayısıyla literatürlerde çelişkili veriler

mevcuttur. Bu tür çelişkilerin giderilmesi ve güvenilir ve hassas hesaplamaların ortaya konulması sonuçların deneysel bulgularla test edilmesi ile ancak mümkün olabilecektir.

Yapılan bu çalışmada, kanatlı borulu ısı değiştirici olan evaporatörün hazırlanan bilgisayar programı ile hassas yuvarlatma hatası belirlenerek hesaplama olanağı sunulmuştur. Günümüzde pek çok hazır hesaplama program kullanılmaya rağmen, bu programlar ya oldukça pahalı, yüksek sistem performansı istemekte ya da farklı platformlarda da kullanılamamaktadır. Hazırlanan bu program sayesinde her bilgisayarda kolayca kullanılabilen, devamındaki çalışmalarla da farklı platformlarda da çalıştırılabilen bir formatta sunulmuştur.

Programda hava ve su akışkanlarının fiziksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak hassas yuvarlatma hatası oranının en az bir şekilde hesaplanmasını da içermektedir. Çalışmada kullanılan örnek soğutucu akışkan, su ile hava için sıcaklık değerlerine bağlı olarak yoğunluk, ısı iletim katsayısı, Prandtl sayısı, özgül ısı ve dinamik viskozite gibi değerler ile neme bağlı değerler programa girilen bağıntılar sayesinde hesaplanabilmektedir.

Bu çalışma ile matematiksel yöntemlerden faydalanarak evaporatördeki toplam soğutma yükü, toplam boru yüzey alanı, boru kesit alanı, boru sayısı, serpantin uzunluğu, serpantin genişliği, serpantin giriş alanı, kanatçık sayısı, kompaktlık değerlerine ulaşarak bir evaporatör için uygun değerlerin saptanması ve deneysel olarak amaca ulaşılabilmesinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Mevcutta bulunan programlara göre konusuna özgün olarak tasarlanmış, yuvarlatma hata oranı en az bir şekilde ve farklı bir programlama altyapısı ile sunulmuştur. Bu program gelecekte daha verimli sonuçlara ulaşmak uygun halde tasarlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

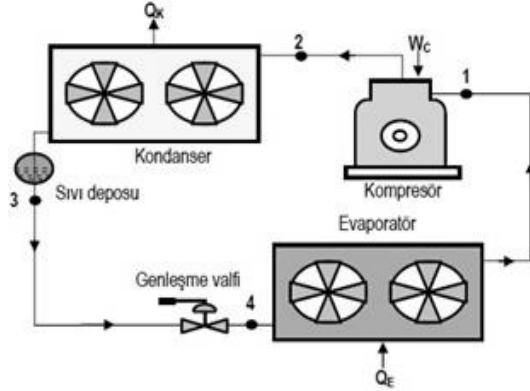
Hesaplama için gerekli olan bağıntılar belirlenip C# yazılım dili kullanılarak program hazırlanmıştır. Oluşturulan soğutma ünitesinin evaporatörü ile sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Soğutma sisteminin çalışması esnasında aşağıda belirtilen kabuller yapılmıştır:

- Boru hatlarındaki basınç kayıpları ihmal edilmiştir.
- Basınç kayıpları ihmal edilmiş olup faz değişimleri sabit basınçlarda gerçekleşmiştir.
- Sisteminde dolaşan soğutucu akışkan debisi sabittir.
- Dış ortama ısı transferi olmadığı kabul edilmiştir.

2.1. Soğutma Sistemi ve Evaporatör

Materyalin oluşturulmasında 2,421 kW gücünde ve verimi %80 olan havalı tip kondenser, 0.421 kW gücünde kompresör, COP değeri 4.75 olan ve soğutma kapasitesi 2 kW gücünde olan bir soğutma ünitesi kurulmuştur.



Şekil 2. Soğutma çevrimi şeması

Şekil 2'deki gibi 1 noktasından doymuş buhar olarak çıkan soğutucu akışkan, bir kompresör ile basıncı artırılıp kondansere gönderilir. Kondansere 2 noktasından giren soğutucu akışkan ve burada ısıyı atıp sabit basınçta yoğunlaşır. Buradan 3 noktasından genişleme valfine geçer. Genişleme valfinden geçen soğutucu akışkan sabit entalpi ile genişleyerek 4 noktasından ıslak buhar halinde çıkar. Evaporatöre giren ıslak buhar halindeki soğutucu akışkan buradan geçerek ortamın ısıyı çeker ve buharlaşarak tekrar kompresöre girer. Soğutma çevrimi böylece devam eder. Bu çevrimde kullanılan evaporatör de soğutucu akışkan su ve hava kullanılmıştır. Akışım tipi zıt akışlıdır.

2.2. Evaporatör Tasarımı Hesaplama Bağlılıkları

Sistemin boyutlarının hesaplanabilmesi için programa ilgili bağıntıların girilmesi sağlanmıştır. Hesaplamalar için aşağıdaki literatürde bulunan ifadelerden faydalanılmıştır [19].

Toplam soğutma yükü Q_{top} (kW), havanın debisinin m_H , entalpileri (h_1, h_2) arasındaki farkla çarpımıyla; nemli havanın özgül nemlerinin (w_1, w_2) farkı ile doymuş su buharının entalpisinin h_{Buhar} , çarpımının farkına eşittir ve bu eşitlik, denklem 1'de gösterilmiştir.

$$\dot{Q}_{top} = \dot{m}_H((h_1 - h_2) - (w_1 - w_2)h_{Buhar}) \quad (1)$$

Kuru tarafın ısı transfer yüzeyi A_{Kuru} (m^2), kuru tarafta transfer edilen ısı miktarı Q_{Kuru} , kuru havanın ısı direnci R_{Kuru} ile çarpımının, kuru havanın logaritmik

sıcaklık farkı ΔT_{Kuru} ile bölünmesi eşittir ve denklem 2'de gösterilmiştir.

$$A_{Kuru} = \frac{Q_{Kuru} \times R_{Kuru}}{\Delta T_{Kuru}} \quad (2)$$

Islak tarafın ısı transfer yüzeyi A_{Islak} (m^2), ıslak tarafta transfer edilen ısı miktarı Q_{Islak} , ıslak havanın ısı direnci R_{Islak} ile çarpımının, ıslak havanın logaritmik sıcaklık farkı ΔT_{Islak} ile bölünmesi eşittir ve denklem 3'te gösterilmiştir.

$$A_{Islak} = \frac{Q_{Islak} \times R_{Islak}}{\Delta T_{Islak}} \quad (3)$$

Toplam ısı transfer yüzeyi A_{Top} (m^2), denklem 2 ile denklem 3'teki elde edilen değerlerin toplamına eşittir ve denklem 4'te gösterilmiştir.

$$A_{Top} = A_{Islak} + A_{Kuru} \quad (4)$$

Islak bölgenin ısı transferi katsayısı K_{Islak} (W/m^2K), ıslak havanın ısı direnci R_{Islak} ile ters orantılıdır ve denklem 5'teki gibi ifade edilmiştir.

$$K_{Islak} = 1/R_{Islak} \quad (5)$$

Kuru bölgenin ısı transferi katsayısı K_{Kuru} (W/m^2K), kuru havanın ısı direnci R_{Kuru} ile ters orantılıdır ve denklem 6'daki gibi ifade edilmiştir.

$$K_{Kuru} = 1/R_{Kuru} \quad (6)$$

Su borusunun kesiti $A_{Boru Kesit}$ (m^2) hesabı, suyun debisinin m_s , suyun yoğunluğu ρ_s ile suyun özgül hacminin V_s çarpımına orantısı şeklinde denklem 7'deki gibi ifade edilmiştir.

$$A_{Boru Kesit} = \frac{m_s}{\rho_s \times V_s} \quad (7)$$

Serpantin giriş alanı $A_{Giriş}$ (m^2) hesabı, havanın debisinin m_H , havanın yoğunluğu ρ_H ile havanın özgül hacminin V_H çarpımına orantısı şeklinde denklem 8'deki gibi ifade edilmiştir.

$$A_{Giriş} = \frac{m_H}{V_H \times \rho_H} \quad (8)$$

Serpantin uzunluğu L (m), serpantin giriş alanı $A_{Giriş}$ karekökü alınarak denklem 9'daki gibi hesaplanmaktadır.

Melih Ziya Yakut, Reşat Selbaş, Soğutucu akışkan-hava ile çalışan evaporatör imalatında kullanılacak parametrelerin hesaplanması için bir bilgisayar programının yazılması

$$L = (A_{Giriş})^{0.5} \quad (9)$$

Boru sayısı N_{Boru} hesabı için serpantin yüksekliğinin H , borular arasındaki dikey mesafe S_T ile oranın 1 eksiğiyle denklem 10'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$N_{Boru} = \frac{H}{S_T} - 1 \quad (10)$$

Serpantin genişliği $W(m)$, serpantin hacminin, serpantin giriş alanına oranıyla denklem 11'deki gibi hesaplanır.

$$W = \frac{Hacim}{A_{Giriş}} \quad (11)$$

Kanatçık sayısı Z , hesabında pek çok parametre ile hesaplanmaktadır. Bunlar: toplam ısı transfer yüzeyi A_{Top} , boru dış çapı D_{Dis} , boru sayısı N_{Boru} , serpantin derinliği doğrultusundaki sıra sayısı N_R , serpantin uzunluğu L , serpantin yüksekliği H , serpantin genişliği W , kanatçık kalınlığı ile denklem 12'deki eşitlikle hesaplanmaktadır. Burada paya etki eden parametreler arttıkça, sistemin büyüklüğü artmakta ve soğutma için ihtiyaç olan kanatçık sayısı da artacaktır.

$$Z = \frac{A_{Top} - \pi \cdot D_{Dis} \cdot N_{Boru} \cdot N_R \cdot L}{2 \cdot H \cdot W - \frac{(\pi \cdot D_{Dis})^2 \cdot N_{Boru} \cdot N_R}{2} - \pi \cdot D_{Dis} \cdot N_{Boru} \cdot N_R \cdot Kanat} \quad (12)$$

Serpantin kompaktlığı $Kompakt(1/m)$, toplam ısı transfer yüzeyi A_{Top} , serpantin uzunluğu L , borular arasındaki dikey mesafe S_T , borular arasındaki yatay mesafe S_L , boru sayısı N_{Boru} , serpantin derinliği doğrultusundaki sıra sayısı N_R arasındaki ilişki denklem 13'te gösterilmiştir.

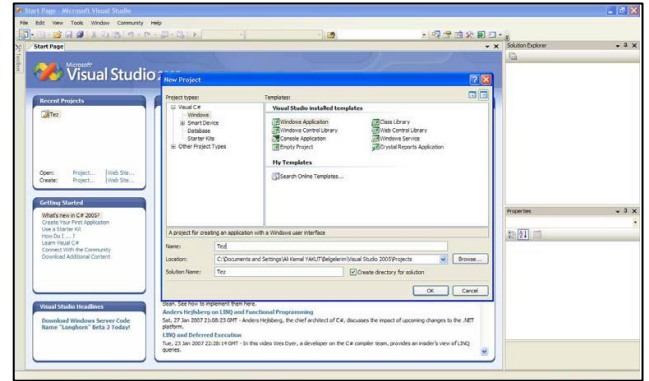
$$Kompakt = \frac{A_{top}}{L \times S_T \times S_L \times N_{Boru} \times N_R} \quad (13)$$

Bu denklemlerin gerekli alt değerleri ve sabitler ayrıca hesaplanarak programda ifade edilmiştir.

2.3. Programlama

Pek çok şekilde programlama yapabilmek mümkün olsa da uygun dil ve platform bulunması önemlidir. Şekil 3'teki gibi masaüstü uygulama geliştirmede uzun süredir deneyimi bulunan Microsoft şirketinin Visual Studio.NET platformu bu çalışmada tercih edilerek kullanılmıştır. Bu platformda farklı dillerle programlama yapma imkânı desteklense de C dili kökenli bir yazılım dili olan C# dili de özellikle tercih

edilmiştir. C# dilinin güçlülüğü ile detaylı matematiksel bağıntıları çözebilen kütüphanesinden de yararlanarak evaporatörün tasarımında kullanılacak bağıntılar tek tek kodlanmıştır.



Şekil 3. Visual Studio.NET platformu uygulama geliştirme ekranı

Hazırlanan program için 5 adımlı tab menü ile tasarımı yapılmıştır. Bu sayede daha pratik ve anlaşılır bir tasarım olmuştur. Adımlara geçilmeden önce ilk olarak veri girişinin yapıldığı ekranla başlanmaktadır ve ileri düğmesiyle 5 adımlı çözümleme ekranlarına geçilmektedir. Program açılışında havanın kütlesi, giriş ve çıkış sıcaklığı, basıncı ve giriş hızı verileri hesaplamaya başlamak için istenmektedir.



Şekil 4. Giriş değerlerinin verildiği ana menüsü

Şekil 5'te su tarafı için de giriş-çıkış sıcaklığı ve suyun hızı verisi alınmaktadır. 1.adımda program havanın ve suyun ısıya bağlı özellikleri hesaplanır. Suyun özgül ısı, yoğunluğu, debisi hesaplanmaktadır. Hava kısmının ise giriş ve çıkış ısı iletim katsayısı, dinamik viskozitesi, yoğunluğu, özgül ısı, debisi ve ısı yayılım katsayısı hesaplanmaktadır.

Melih Ziya Yakut, Reşat Selbaş, Soğutucu akışkan-hava ile çalışan evaporatör imalatında kullanılacak parametrelerin hesaplanması için bir bilgisayar programının yazılması

1. Adım | 2. Adım | 3. Adım | 4. Adım | 5. Adım

HESAPLA

Su Tafaını:

Özgül İst : 4,1949317558 kJ/Kg K

Yoğunluk : 1004,954858114 Kg/m³

Suyun Debisi : 0,0971605119 Kg/s

Suyun Hızı : 1,2 m/s

Havanın İst Geçişin:

Giriş İst İletim Kat. : 2,6377E-05 kW/m K

Çıkış İst İletim Kat. : 2,6658E-05 kW/m K

Dinamik Viskozite : 1,85678E-05 Kg/m s

Yoğunluk : 1,1643571329 Kg/m³

Özgül İst : 0,009810228 kJ/Kg K

Prandtl Sayısı : 0,709932

Havanın Giriş Hızı : 2 m/s

Havanın Debisi : 0,2 Kg/s

İst Yayılım Katsayısı : 0,0230919223 Kg/s

Su Buharı - Nemli Hava:

Doymuş Su Buharının Entalpisi : 2555,15 kJ/Kg

Nemli Havanın Entalpisi : 71,4749201721 kJ/Kg

Doymuş Havanın Entalpisi : 57,79 kJ/Kg

Giriş Su Buharının Kısmi Basıncı : 2576,9575742795 Pa

Çıkış Su Buharının Kısmi Basıncı : 2364,8483745827 Pa

Su Buharının Özgül Hacmi : 54,2783894644 m³/Kg

Nemli Havanın Özgül Hacmi : 57,195682524 m³/Kg

Giriş Nemli Havanın Özgül Nemi : 0,0162318925 Kg/Kg

Çıkış Nemli Havanın Özgül Nemi : 0,0148639191 Kg/Kg

Şekil 5. 1.Adım su ve hava ile 2.adım su buharı ve nemli havaya ait değerlerin hesaplanma menüsü

2.adımda su buharı ve nemli havaya ait hesaplama kısmını oluşturmaktadır. Doymuş su buharının, nemli havanın ve havanın entalpisi, giriş ve çıkıştaki su buharının kısmi basıncı, su buharının ve nemli havanın özgül hacmi, giriş ve çıkıştaki nemli havanın özgül nemi hesaplanmaktadır ve buradan Şekil 6'daki 3.adıma geçilir.

1. Adım | 2. Adım | 3. Adım | 4. Adım | 5. Adım

HESAPLA

Toplam Soğutma Yüğü :

QToplam = 2,0379085834 kJ

Toplam soğutma yüğü bulunmuştur.

İst Transfer Katsayısı:

KIslak = 0,0567687304 W/m² K

Kkuru = 0,0528923093 W/m² K

Islak ve kuru olmak üzere İst transfer katsayıları hesaplanmıştır.

Toplam Boru Yüzei Alanı :

AToplam = 2,1070979635 m²

Toplam soğutma yüğü bulunmuştur.

Şekil 6. 3.Adımda ısı hesaplamalar ve toplam boru yüzeyi alanı hesaplanma menüsü

3.adımda diğer adımlarla elde edilen sonuçlara göre toplam soğutma yükü, ısı transfer katsayısı ve toplam boru yüzeyi alanı hesaplanarak görüntülenir.

1. Adım | 2. Adım | 3. Adım | 4. Adım | 5. Adım

HESAPLA

Su Buharı - Nemli Hava:

Boru Kesit Alanı : 8,05679E-05 m²

Boru İç Çapı : 0,0101282883 m

Boru Dış Çapı : 0,012 m

Gerekli Serpantin Giriş Alanı : 0,0858843023 m²

Serpantin Yüksekliği : 0,2930602367 m

Serpantin Uzunluğu : 0,2930602367 m

Kullanılan Boru Sayısı : 19

Toplam Hacim : 0,0050168999 m³

Serpantin Genişliği : 0,058414632 m

Derinlikteki Sıra Sayısı : 4

Kanatçık Kalınlığı : 0,001 m

Kanatçık Sayısı : 90

Şekil 7. 4.Adım sistemin fiziksel özelliklerinin hesaplanma menüsü

4.adımda ise Şekil 7'deki gibi sistemin fiziksel özellikleri hesaplanmaktadır. Bunlar boru kesit alanı, iç ve dış çapı, gerekli serpantin giriş alanı, yüksekliği, uzunluğu, serpantinde kullanılan boru sayısı, toplam hacim, genişlik, kanatçık kalınlığı ve sayısıdır. Bu adımdan sonra Şekil 8'deki son adıma geçilir.

1. Adım | 2. Adım | 3. Adım | 4. Adım | 5. Adım

HESAPLA

Kompaktlık :

Kompaktlık = 420,4668109675 1/m

Hesaplamalar sonucunda kompaktlık değeri bulunmuştur.

Logaritmik Sıcaklık Farkı;

ΔT_m Islak = 17,0367407788 °C

ΔT_m Kuru = 19,6226112324 °C

Islak ve kuru havanın Logaritmik sıcaklık farkı bulunmuştur.

Şekil 8. 5.Adım kompaktlık ve logaritmik sıcaklık farkı hesaplanma menüsü

5.Adımda da evaporatörün kompaktlık ve logaritmik sıcaklık farklarının hesaplanıp görüntülediği menüsüdür. 5 adımlı menü tasarımı ileride geliştirmeye uygun olarak tasarlanmıştır.

3. Bulgular

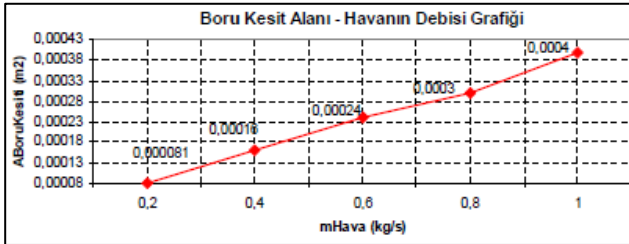
Hazırlanan programla elde edilen değerler Tablo 1'deki gibi sistemin giriş değerleri ve çıkış değerleri şeklinde özetlenerek verilmiştir.

Tablo 1'de sonuçlar değerlendirildiğinde 19 borulu, 90 kanatçıklı evaporatörün, 3000 1/m değerinin altında çıkan kompaktlık değeri ile kompakt olduğu belirlenmiş, oluşturacağı soğutma miktarı ve boru yüzey alanı yine tabloda belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

Tablo 1. Girilen değerlere göre programdan elde edilen sonuçlar

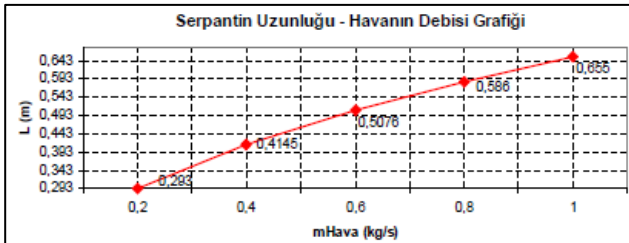
Giriş Değerleri	Hava	Kütlesi	0.2 kg/s
		Giriş Sıcaklığı	30 °C
		Çıkış Sıcaklığı	20 °C
		Basınç	101325 Pa
		Giriş Hızı	2 m/s
Su	Su	Giriş Sıcaklığı	5 °C
		Çıkış Sıcaklığı	10 °C
		Hızı	1.2 m/s
Çıkış Değerleri	Toplam Soğutma Yüğü		2.0379 kJ
	Toplam Boru Yüzey Alanı		2.1070 m ²
	Boru Kesit Alanı		0.00008 m ²
	Boru Sayısı		19
	Serpantin Uzunluğu		0.2930 m
	Serpantin Genişliği		0.0584 m
	Serpantin Giriş Alanı		0.0858 m ²
	Kanatçık Sayısı		90
	Kompaktlık		420.4668 1/m

Yine hazırlanan programla elde edilen verilere göre verilere bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Şekil 9'da boru kesit alanının hava debisine bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 9. Boru kesit alanının, hava debisine bağlı olarak değişimi

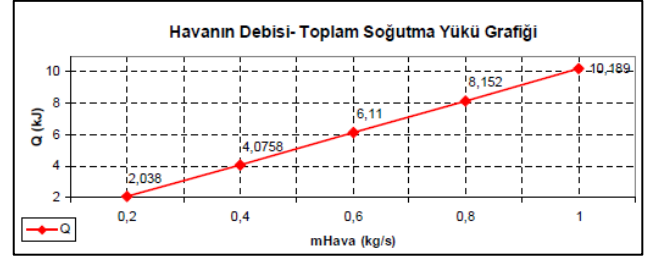
Burada havanın debisi arttıkça boru kesit alanı da artmaktadır. Şekil 10'da ise serpantin uzunluğunun hava debisine bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 10. Serpantin uzunluğunun, hava debisine bağlı olarak değişimi

Burada havanın debisi arttıkça serpantin uzunluğu da artmakta ancak artış lineer değildir. Şekil 11'de toplam soğutma yükünün hava debisine bağlı değişimi görülmektedir.

Şekil 11'de havanın debisi arttıkça toplam soğutma yükünün de arttığı görülmektedir.



Şekil 11. Toplam soğutma yükünün hava debisine bağlı değişim grafiği

Yapılan ölçümlerle imal edilen evaporatörün ürettiği değerler, hesaplamalar için, sıcak hava hızı 2 m/s ile soğuk su hızı 1.2 m/s alınarak, sıcak hava giriş sıcaklığı 30 °C ve soğuk su giriş sıcaklığı ise 5 °C olarak ölçülerek girilmiştir. Bu girilen değerlere bağlı olarak da ısı değişicisi çıkışındaki sıcaklıklar ölçülmüştür. Hazırlanan programda soğutucu akışkan suyun çıkış sıcaklığı 10 °C, sıcak havanın çıkış sıcaklığı 20 °C iken, imal edilen evaporatörde soğutucu akışkan suyun sıcaklığı 10.8 °C ile %7.4 hatayla, sıcak havanın çıkış sıcaklığı 19.4 °C ile %3.09 hatayla ölçülmüştür. Bu sonuçların da kabul edilebilir olduğu görülmektedir.

5. Sonuçlar

Evaporatörün boyutlandırılmasında belirlenen matematiksel modelin çözümü için hazırlanan C# bilgisayar programı ile farklı tip ısı değiştiricileri için hesaplamalar yapılmıştır. Kullanılan tüm matematiksel ifadeler, ilgili literatürlerde verilen, doğruluğu kanıtlanmış ampirik ifadelerdir. Zıt akışlı, kanatlı borulu hava ile soğutucu akışkanı su olan ısı değiştiricisinin performans ve tasarım değişkenlerinin karşılaştırılması açısından elde edilen bulguların değerlendirilmesi yapılmıştır. Havanın debisine bağlı olarak sistemin daha fazla ısı transferi yapabileceği anlaşılmıştır. Bunda serpantin uzunluğu ve boru kesit alanı etkili olmaktadır.

Hesaplama sonucu olarak evaporatörün toplam soğutma yükü 2.0379 kJ, boru yüzey alanı 2.1070 m², boru sayısı 19, kanatçık sayısı 90 olarak hesaplanmıştır. Ortaya çıkan bu sonuçlarla imal edilen evaporatörün, elde edilen havanın ve suyun çıkış sıcaklıklarıyla gerçekte ölçülen değerlerin karşılaştırılmasıyla

programın %3.09 ve %7.4 hatalarla %92'nin üzerinde doğruluk payına sahip olduğu görülmektedir. Bu türde hazırlanan mühendislik hesaplama programlarının deneysel gerçek değerlerle sonuçlarının karşılaştırılması güvenilirliği sağlansa da uzun yıllardır geçerliliği kabul etmiş olarak kullanılan diğer mevcut programlarla da karşılaştırılması yapılarak kullanılabilir. Bu durum için farklı soğutucu akışkanlarla ve denenmesi gelecek çalışmalarda yapılacaktır.

Hazırlanan bu programla yapılan hesaplamalarda ortaya çıkan veriler incelendiğinde her ne kadar yüksek oranda yakınsamış olsa da tam olarak yakalanamamasında yapılan kabullerden kaynaklanan farklar bulunmaktadır. Hazırlanan program bu alana özel olarak tez çalışması için yazılmıştır. Esnek çalıştırılabilme yapısı ile pratik kullanımlı bir program olmuş, geliştirmeye açık bir kod yapısında tasarlanmıştır. Bu konuyla ilgili daha detaylı kayıt hesabı yapan denklemlere veya kayıplar için hata analizlerine ayrıca ihtiyaç duyulmaktadır. Daha verimli hale gelebilmesi için ideal değerlerle çalıştırılması kabulünün dışına çıkılarak değişkenlerin zamana bağlı olarak analizinin daha gerçekçi sonuçlara ulaşması için gerekli olacaktır. Programın gelecek versiyonlarında bu amaçlar hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- [1] Kabul A, *Alternatif soğutucu akışkan kullanılan bir soğutma sisteminde termodinamik ve ısı transferinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi*. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Eğitim Enstitüsü, Isparta, Türkiye, 2008.
- [2] Kızıllıkan Ö, *Alternatif soğutucu akışkanlı değişken hızlı kompresörlü bir soğutma sisteminin teorik ve deneysel incelenmesi*. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Eğitim Enstitüsü, Isparta, Türkiye, 2008.
- [3] Mançuhan E, Mutlu T, Kiran-Yıldırım B, Titiz-Sargut S. Farklı Soğutucu Akışkanların Kullanıldığı Kanatlı Borulu Bir Evaporatörün Matematiksel Modeli. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 31, 66-74, 2019.
- [4] Selbaş R, Kızıllıkan Ö, Marcus R. A New Design Approach for Shell and Tube Heat Exchangers Using Genetic Algorithms from Economic Point of View. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 45, 268-275, 2006.
- [5] Zhang JF, He YL, Tao WQ. 3D Numerical Simulation on Shell and Tube Heat Exchangers with Middle-Overlapped Helical Baffles and Continuous Baffles, part I: Numerical Model and Results of Whole Heat Exchanger with Middle-Overlapped Helical Baffles *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 5371-5380, 2009.
- [6] Zhang JF, He YL, Tao WQ. 3D Numerical Simulation on Shell and Tube Heat Exchangers with Middle-Overlapped Helical Baffles and Continuous Baffles, part II: Simulation Results of Periodic Model and Comparison between Continuous and Noncontinuous Helical Baffles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 5381-5389, 2009.
- [7] Lu CW, Huang JM, Nien WC, Wang CC. A numerical investigation of the geometric effects on the performance of plate finned-tube heat exchanger. *Energy Conversion and Management*, 52(3), 1638-1643. 2011.
- [8] Kasap F, Acül H, Canbaz H, Erbil S. R744 (CO₂) Soğutucu Akışkanlı Soğutma Sistemleri, Kanatlı Borulu R744 (CO₂) Evaporatör ve Gaz Soğutucu Tasarım Esasları. *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 13-16 Nisan 2011.
- [9] Bilirgen H, Dunbar S, Levy EK. Numerical modeling of finned heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 61(2), 278-288, 2013.
- [10] Danielewicz J, Sayegh MA, Śniechowska B, Szulgowska-Zgrzywa M, Jouhara H. Experimental and analytical performance investigation of air to air two phase closed thermosyphon based heat exchangers. *Energy*, 77, 82-87, 2014.
- [11] Tahseen TA, Ishak M, Rahman MM. An overview on thermal and fluid flow characteristics in a plain plate finned and un-finned tube banks heat exchanger. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 363-380, 2015.
- [12] Erdoğan A, Ouellette D, Çolpan CÖ. Gövde Boru Tipi Isı Değiştiricisinin Comsol Multiphysics Programında Sayısal Modellenmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(692), 1-16, 2018.
- [13] Starace G, Fiorentino M, Meleleo B, Risolo C. The hybrid method applied to the plate-finned tube evaporator geometry. *International Journal of Refrigeration*, 88, 67-77, 2018.
- [14] Kırtepe E, Özbalt N. Kanatlı-borulu ısı değiştiricilerde belirsizlik analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9(1), 161-175, 2018.
- [15] Buyruk E, Karabulut K. Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde Kanat Açısının Isı Transferine Olan Etkisinin Üç Boyutlu Sayısal Olarak İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), 49-62, 2017.
- [16] Wang P, Jiang J, Li S, Luo X, Wang S, Zhao W. An investigation of influence factor including different tube bundles on inclined elliptical fin-tube heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 142, 2019.
- [17] Ünverdi M, Küçük H. Taguchi yöntemi ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak tasarlanan levhalı ısı değiştiricilerin performanslarının karşılaştırılması. *Pamukkale*

Melih Ziya Yakut, Reşat Selbaş, Soğutucu akışkan-hava ile çalışan evaporatör imalatında kullanılacak parametrelerin hesaplanması için bir bilgisayar programının yazılması

Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(4), 373–386, 2019.

[18] Ivan G, Andrei P, Nikolay S, Vladislav L. Solving of Mathematical Problems in the C# Based on Integration with MATLAB. *2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and*

Information Technology (USBREIT), Yekaterinburg, Russia, 14-15 May 2020.

[19] Genceli, O., *Isı Değiştiricileri*. Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 1999.