

KÜBİK ŞERİT VE B ŞERİT İNTERPOLASYON YÖNTEMİ KULLANILARAK SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN DOYMA TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN HASSAS OLARAK OLUŞTURULMASI

M. Turhan ÇOBAN

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bornova, İZMİR

Turhan.coban@ege.edu.tr

ÖZET

Soğutma endüstrisinde doyma basıncı, doyma sıvı ve gaz fazı yoğunluğu, doyma entalpisi, doymuş sıvının viskozite, ısı iletkenlik, yüzey gerilim kuvveti gibi parametreler gerek termodinamik çevrimin oluşturulması ve analizi gerekse yoğunlaştırıcı, buharlaştırıcı gibi alt birimlerin modellenmesinde oldukça önemlidir. Bu tür parametrelerin oluşturulmasında genellikle lineer ve lineer olmayan en küçük kareler eğri uydurma yönteminden yararlanılır. Bu çalışmada ikinci dereceden B şerit eğri uydurma metodu ve Kübik şerit eğri uydurma metodu kullanılarak termodinamik verileri tablo verilerinden oluşturacağız. Sonuçları karşılaştırarak hangi metodun daha iyi sonuç vereceğini değerlendireceğiz.

Anahtar kelimeler : soğutucu akışkanlar, termodinamik özellikler, doyma

1. GİRİŞ

Doyma basıncı, yoğunluk, entalpi, entropi, ısı iletim katsayısı, viskozite gibi termodinamik doyma eğrilerinin veriden sıcaklığın fonksiyonu olarak elde edilmesi için lineer veya lineer olmayan en küçük kareler metoduyla bir eğri uydurmaya çalıştığımızda bunun oldukça zor bir proses olduğunu gözlemledik. Bu zorluğun en önemli sebebi kritik nokta civarında değerlerin çok hızlı değişmesidir. Eğri seçiminde genellikle bu özellik göz önünde bulundurulur, ancak bu durumda eğrimiz lineer olmayan bir durum alır ve yine de kritik nokta civarında elde ettiğimiz sonuçlar mükemmel sayılamayacak kadar hatalı olabilir. Eğri uydurmada en küçük kareler metodunun kullanılmasının bir sebebi verilerimizde bulunabilecek hataları ortalamasıdır, aynı zamanda göreceli olarak basit bir denklem elde edebiliriz. Ancak en küçük kare metodunda oluşan hataların miktarı çok büyük olabilir. Eğer verimizde hata yoksa en küçük kareler yöntemi bu alandaki avantajını da yitirir. Bu çalışmada temel metod olarak B-şerit eğri uydurma metodu ve Kübik şerit eğri uydurma metodunu kullanacağız ve sonuçları karşılaştırarak daha kararlı sonuçlar veren metodu saptamaya çalışacağız. B-şerit metodu göreceli olarak basit bir hesaplama metodu olduğundan eğer aynı fonksiyon uyumu yakalanabilirse temel metod olarak değerlendirilebilir, aksi takdirde Kübik şerit metodu temel metod olarak değerlendirilecektir. Her iki metoddaki soğutma endüstrisinde kullanılan başlıca termodinamik özelliklerin eğri uydurmasını Amerikan ısıtma, soğutma ve havalandırma derneği (ASHRAE) 2005 temeller el kitabında[1] verilen temel verileri kullanarak oluşturulacaktır. Çeşitli verilerin uyumu irdelenecektir. Önce kullanacağımız iki temel eğri uydurma metodunu tanıtalım

2. KÜBİK ŞERİT EĞRİ UYDURMA METODU

Kübik şerit eğri uydurmanın temeli tüm noktalardan geçen polinomlarla noktaları bağlamaktır. Örneğin üçüncü dereceden bir polinom düşünebiliriz.

$$r_k(x) = a_k(x-x_k)^3 + b_k(x-x_k)^2 + c_k(x-x_k) + y_k \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.1)$$

Kübik şerit veri uydurma prosesinde polinomların veri noktalarından geçmesi gerekir.

$$r_k(x_{k+1}) = y_{k+1} \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.2)$$

aynı zamanda birinci türevlerin de sürekli olması gerekir.

$$r'_{k-1}(x_k) = r'_k(x_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.3)$$

üçüncü dereceden polinom için ikinci türevleri de eşitleyebiliriz.

$$r''_{k-1}(x_k) = r''_k(x_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.4)$$

tüm sistemi çözmek için iki şart daha gerekir. Bu şartlar

$$r''_1(x_1)=0 \quad (2.5)$$

$$r''_{n-1}(x_n)=0 \quad (2.6)$$

olarak alınırsa buna doğal kübik şerit interpolasyonu adını veririz. Başka sınır şartları belirlememiz de mümkündür.

$$h_k=x_{k+1}-x_k \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.7)$$

Tüm bu şartlar bir denklem sistemi olarak bir araya toplanırsa :

$$a_k h_k^3 + b_k h_k^2 + c_k h_k = y_{k+1} - y_k, \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.8)$$

$$3a_{k-1} h_{k-1}^2 + 2b_{k-1} h_{k-1} + c_{k-1} - c_k = 0, \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.9)$$

$$6a_{k-1} h_{k-1} + 2b_{k-1} + 2b_k = 0, \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.10)$$

$$2b_0 = 0 \quad (2.11)$$

$$6a_{n-1} h_{n-1} + 2b_{n-1} = 0 \quad (2.12)$$

seti oluşur bu set $3n-3$ denklem içerir. Bu sayıda denklemi bir arada çözmeye işlemi matris çözümlemesine oldukça ağır bir yük getirebilir artı hata olasılıklarını artırır. Toplam çözülmesi gereken denklem sayısını azaltmanın bir yolu değiştirilmiş özel bir üçüncü dereceden polinom kullanmaktır. Eğer kübik polinomumuz

$$s_k(x) = a_k(x-x_k) + b_k(x_{k+1}-x) + [(x-x_k)^3 c_{k+1} + (x_{k+1}-x)^3 c_k] / (6h_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.13)$$

şeklinde verilmiş ise

$$s'_k(x) = a_k - b_k + [(x-x_k)^2 c_{k+1} - (x_{k+1}-x)^2 c_k] / (2h_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.14)$$

$$s''_k(x) = [(x-x_k) c_{k+1} + (x_{k+1}-x) c_k] / h_k \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.15)$$

olur burada a_k ve b_k c_k nin fonksiyonu olarak yazılabilir.

$$b_k = [6y_k - h_k c_k] / (6h_k), \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.16)$$

$$a_k = [6y_{k+1} - h_k^2 c_{k+1}] / (6h_k), \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.17)$$

Bu durumda çözülmesi gereken denklem sistemi sadece c_k terimlerine dönüşür.

$$h_{k-1} c_{k-1} + 2(h_{k-1} - h_k) c_k + h_k c_{k+1} = 6 \left[\frac{y_{k+1} - y_k}{h_k} - \frac{y_k - y_{k-1}}{h_{k-1}} \right], \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.18)$$

bu sistemde toplam $n-2$ denklem mevcuttur.

$$w_k = \frac{y_{k+1} - y_k}{h_k}, \quad 1 \leq k \leq n \quad (2.19)$$

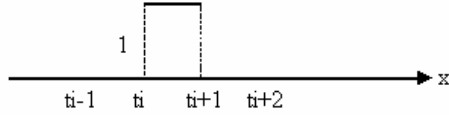
tanımını yaparsak çözülecek denklem sistemini

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & c_0 \\ h_1 & 2(h_1 + h_2) & h_2 & \dots & 0 & 0 & 0 & c_1 \\ 0 & h_2 & 2(h_2 + h_3) & \dots & 0 & 0 & 0 & c_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 2(h_{n-3} + h_{n-2}) & h_{n-2} & 0 & c_{n-2} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & h_{n-2} & 2(h_{n-2} + h_{n-1}) & h_{n-1} & c_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \\ 6(w_2 - w_1) \\ 6(w_3 - w_2) \\ \dots \\ 6(w_{n-2} - w_{n-3}) \\ 6(w_{n-1} - w_{n-2}) \\ B \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

şeklini alır. Burada A ve B kullanıcı tarafından verilmesi gereken ikinci türev sınır şartlarıdır.

3. B-ŞERİT EĞRİ UYDURMA METODU

Bu bölümümüzde B şerit interpolasyonunu inceleyeceğiz. Başlangıç olarak sonsuz sayıda noktadan oluşmuş bir set düşünelim



Şekil 1 B_i^0 şerit tanımı

..... < $t_2 < t_1 < t_0 < t_1 < t_2 < \dots$

Bu noktalar için tanımlayacağımız sıfırıncı dereceden bir B_i^0 şerit elemanın tanımı

$$B_i^0(x) = \begin{cases} 1 & t_i \leq x < t_{i+1} \\ 0 & t_i > x \geq t_{i+1} \end{cases} \quad (3.1) \text{ bu tanım Şekil 1 de grafik olarak gösterilmiştir. Fonksiyonun değeri } t_i$$

noktasında 1 t_{i+1} noktasında 0; t_i ile t_{i+1} arasında t_{i+1} noktası hariç olmak üzere yine bir, bu bölgenin dışında 0 değeri almaktadır. Bu fonksiyon dirac-delta fonksiyonu olarak bilinir. B şerit fonksiyonu aynı zamanda her durum için pozitif tanımlı bir fonksiyondur. Yani tüm x ve i değerleri için

$B_i^0(x) \geq 0$ yazılabilir. Aynı zamanda tüm x değerleri

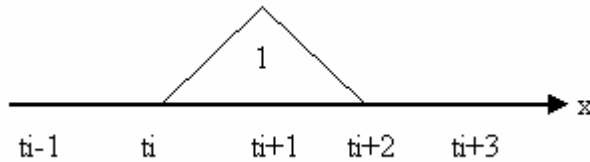
$$B_i^k(x) = \left(\frac{x - t_i}{t_{i+1} - t_i} \right) B_i^{k-1}(x) + \left(\frac{t_{i+2} - x}{t_{i+2} - t_{i+1}} \right) B_{i+1}^{k-1}(x) \quad (3.2) \text{ için } \sum_{i=-\infty}^{i=\infty} B_i^0(x) = 1 \text{ olur. } B_i^0 \text{ tanımlandığında}$$

daha üst dereceden B şerit fonksiyonları bu tanımdan yola çıkılarak tanımlanabilir.

(3.3)

$$B_i^k(x) = \begin{cases} 0 & x \geq t_{i+2} \text{ veya } x \leq t_i \\ \frac{x - t_i}{t_{i+1} - t_i} & t_i < x < t_{i+1} \\ \frac{t_{i+2} - x}{t_{i+2} - t_{i+1}} & t_{i+1} < x < t_{i+2} \end{cases} \quad (3.4)$$

B_i^1 şerit fonksiyonu şekil 2 de gösterilmiştir.



Şekil 2 B_i^1 şerit tanımı

Bu fonksiyon için de

$$\sum_{i=-\infty}^{i=\infty} B_i^1(x) = 1 \quad (3.5) \text{ bağıntısı geçerlidir.}$$

B şerit interpolasyon formülü k inci dereceden B şerit için

$$f(x) = \sum_{i=-\infty}^{i=\infty} C_i^k B_i^k(x) \quad (3.6) \text{ şeklinde ifade edilir. Ancak bu denklem yukarıdaki denklemle birlikte}$$

değerlendirilir ise:

$$f(x) = \sum_{i=-\infty}^{i=\infty} C_i^k \left[\left(\frac{x - t_i}{t_{i+1} - t_i} \right) B_i^{k-1}(x) + \left(\frac{t_{i+2} - x}{t_{i+2} - t_{i+1}} \right) B_{i+1}^{k-1}(x) \right] \quad (3.7) \text{ formunu alır. Buradan da denkleminizi}$$

$$f(x) = \sum_{i=-\infty}^{i=\infty} C_i^{k-1} B_i^{k-1}(x) \quad (3.8) \text{ formuna dönüştürebiliriz. Katsayılar arasında}$$

$$C_i^{j-1} = C_i^j \left(\frac{x-t_i}{t_{i+j}-t_i} \right) + C_{i-1}^j \left(\frac{t_{i+j}-x}{t_{i+j}-t_i} \right) \quad (3.9)$$

Bu temel bağıntılardan yararlanarak B şerit interpolasyonu adım adım oluşturabiliriz. En genel formda interpolasyon formülümüz :

$$S(x) = \sum_{i=-\infty}^{i=\infty} A_i B_{i-k}^k(x) \quad (3.10) \text{ ise}$$

Önce 0ıncı dereceden şerit interpolasyon ile başlırsak, bu denkleme

X	t ₀	t ₁	...	t _n
Y	y ₀	y ₁	Y _n

verisini uyduracağız. Yani S(t_i)=y_i 0 ≤ i ≤ n olmasını istiyoruz. Eğri uydurmaya B_i⁰ şeridinden başlırsak

$$B_i^0(t_j) = \delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad (3.11) \text{ olduğundan problemin çözümü basit olarak}$$

A_i=y_i 0 ≤ i ≤ n seçmekten ibarettir. Bu durumda şerit

$S(x) = \sum_{i=0}^n y_i B_i^0(x)$ (3.12) formunu alacaktır. Oıncı derece şeritten birinci derece şerite geçerek çözümümüz yine basit bir denklemdir.

$$B_{i-1}^1(t_j) = \delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad (3.13)$$

$S(x) = \sum_{i=0}^{i=n} y_i B_{i-1}^1(x)$ (3.14) şeklinde olacaktır. Burada yine A_i=y_i 0 ≤ i ≤ n olmuştur. Daha yüksek dereceden polinomlar için, örneğin 2 derece polinom için

$$\sum_{i=-\infty}^{i=\infty} A_i B_{i-2}^k(t_j) = \frac{1}{t_{j+1}-t_{j-1}} [A_j(t_{j+1}-t_j) + A_{j+1}(t_j-t_{j-1})] \quad (3.15) \text{ bağıntısını yazabiliriz. Bu durumda}$$

şağıdaki denklem sistemi elde edilir

$$A_j(t_{j+1}-t_j) + A_{j+1}(t_j-t_{j-1}) = y_j(t_{j+1}-t_{j-1}) \quad 0 \leq j \leq n \quad (3.16) \text{ Bu denklem sistemini çözenin bir}$$

yolu A₀ değerine herhangi bir değer atayarak geri kalan değerleri A₀ değerinden türetme yoluna gitmektir. Bu durumda denklem

$$A_{j+1} = \alpha_j + \beta_j A_j \quad 0 \leq j \leq n \quad (3.17) \text{ formunda yazılabilir.}$$

Buradaki katsayılar

$$\alpha_j = y_j \left(\frac{t_{j+1}-t_{j-1}}{t_j-t_{j-1}} \right) \quad \beta_j = \frac{t_j-t_{j+1}}{t_j-t_{j-1}} \quad 0 \leq j \leq n \quad (3.18)$$

şeklinde yazılabilir. Katsayıların değerlerini küçük tutabilmek için bizim seçtiğimiz A₀ değeri

$$\Phi = \sum_{i=0}^{n+1} A_i^2 \quad (3.19) \text{ fonksiyonunu minimum yapacak şekilde seçilmesi tavsiye edilir. Buradan A}_0 \text{ değerini}$$

bulmak için (Bütün A_i değerlerinin A₀ dan türediğini hatırlayalım) şu şekilde bir denklem yazabiliriz

$$A_{j+1} = \gamma_j + \delta_j A_0 \quad 0 \leq j \leq n \quad (3.20)$$

denklemdaki γ_j ve δ_j ardışık yerine koyma prosesi ile saptanabilir.

$$\gamma_0 = \alpha_0 \quad \delta_0 = \beta_0 \quad \gamma_j = \alpha_j + \beta_j \gamma_{j-1} \quad \delta_j = \beta_j \delta_{j-1} \quad 0 \leq j \leq n \quad (3.21)$$

$$\Phi = A_0^2 + A_1^2 + A_2^2 \dots A_n^2$$

$\Phi = A_0^2 + (\gamma_0 + \delta_0 A_0)^2 + (\gamma_1 + \delta_1 A_0)^2 + \dots + (\gamma_n + \delta_n A_0)^2$ (3.22) olur. A_0 ın minimum değerini seçmek için bu fonksiyonun türevini 0 a eşitlememiz gerekir.

$$\frac{d\Phi}{dA_0} = 2A_0 + 2(\gamma_0 + \delta_0 A_0)\delta_0 + 2(\gamma_1 + \delta_1 A_0)\delta_1 + \dots + 2(\gamma_n + \delta_n A_0)\delta_n = 0 \quad (3.23)$$

bu denklem kısaca

$$qA_0 + p = 0 \text{ şeklinde yazılırsa}$$

$$q = 1 + \delta_0^2 + \delta_1^2 + \dots + \delta_n^2 \quad (3.24)$$

$$p = \gamma_0\delta_0 + \gamma_1\delta_1 + \gamma_2\delta_2 + \dots + \gamma_n\delta_n \quad (3.25)$$

şeklinde yazabiliriz. Bu tanımla ikinci dereceden B şerit interpolasyon katsayılarını bulmak için gereken tüm denklemler oluşmuş olur. Bu denklem sisteminde herhangi bir matris çözümü olmadığından ve değerler ardışık yerine koyma ile oluşturulduğundan programın oluşturulması kübik şerit interpolasyonuna göre çok daha kolaydır.

4. BİLGİSAYAR KODLARININ GELİŞTİRİLMESİ

Soğutucu akışkanların termofiziksel özelliklerinin hesaplanması için gereken kodlar Java programlama dilinde geliştirilmiştir. Bu dil nesne kökenli bir dildir. Bu yüzden programlarımız nesnelere şeklinde geliştirilmiştir.

Temel olarak programlar kübik şerit ve B şerit interpolasyonu için iki set olarak geliştirilmiştir. Programlar açık kod olarak verildiğinden java programlama dilinde kendi soğutma sistemi analizlerini yapanlar tarafından kullanılabilir. Girdi ve çıktı metodlarının tanımı altta verilmiştir:

Kübik şerit interpolasyon formülünü kullanan set ref_CS2.java programıyla tanımlanmıştır.

public ref_CS2(String soğutucu_akışkan_ismi)

kurucu metoduyla çağrılabilir. Buradaki değişken ismi kullanılacak değişkenin ismi olması gerekir. Geçerli soğutucu akışkan isimleri programda çağrılacağı şekliyle şunlardır:

"R134a","R123","R718","R12","R22","R23","R32","R123","R124","R125","R143a","R152a","R455fa","R404 A","R407C","R410A","R507A","R717","R744","R50","R170","R290","R600","R1150","R1270","R702","R70 2P","R704","R728","R732","R740"

Açık olarak soğutucu akışkanların ismini yazarsak

Kloro-Floro Karbon Soğutucu akışkanlar

Metan serisi

R-12 (diklorodiflorometan)

R-22 (klorodiflorometan)

R-23 (triflorometan)

R-32 (diflorometan)

Etan Serisi

R-123 (2,2-dikloro-1,1,1-trifloroetan)

R-124 (2-kloro-1,1,1,2-tetrafloroetan)

R-125 (pentafloroetan)

R-134a (1,1,1,2-tetrafloroetan)

R-143a (1,1,1-trifloroetan)

R-152a (1,1-difloroetan)

Propan Serisi

R-245fa (1,1,1,3,3-pentafloropropan)

Zetropic karışımlar (% kütle oranı)

R-404A [R-125/143a/134a (44/52/4)]

R-407C [R-32/125/134a (23/25/52)]

R-410A [R-32/125 (50/50)]

Azeotropik karışımlar

R-507A [R-125/143a (50/50)]

İnorganik Soğutucu Akışkanlar

R-717 (amonyak)

R-718 (su/buhar)

R-744 (carbondioksit)

Hidrokarbon gurubu

R-50 (metan)

R-170 (etan)

R-290 (propan)

R-600 (n-butan)

R-600a (izobutan)

R-1150 (etilen)

R-1270 (propilen)

Kryojenik (çok düşük sıcaklık) Soğutucu Akışkanlar

R-702 (normal hydrogen)

R-702p (parahydrogen)

R-704 (helium)

R-728 (nitrogen)

R-732 (oxygen)

R-740 (argon)

Akışkanlarla ilgili veriler Amerikan Isıtma havalandırma ve soğutma derneği(ASHRAE) verilerinden alınmıştır[1]

sınıf tanımlandıktan sonra çeşitli termodinamik özellikler direk olarak çağrılarak kullanılabilir. Kurucu metodun program içinde çağrılması

ref_CS2 a=new ref_CS2("R134a");

şeklinde olacaktır. Bundan sonra çeşitli termodinamik özellikler sabitler ve alt metodlar üzerinden direk olarak çağrılabilir.

SABİTLER ve anlamlar

a.M; Molekül ağırlığı kg/kmol

a.BP; 1.01325 barda kaynama sıcaklığı

a.FP; 1.01325 barda donma sıcaklığı

a.Tc; kritik sıcaklık derece C

a.Pc; kritik basınç kPa

a.roc; kritik yoğunluk kg/m³

METODLAR ve anlamları

a.Psb(t); t (derece C) sıcaklığında kaynamaya başlama basıncı, kPa

a.Psd(t); t (derece C) sıcaklığında kaynama bitiş basıncı, kPa

a. Tsb (ps); ps (kPa) basıncında sıvı kaynama başlama sıcaklığı, derece C

a. Tsd (ps); ps (kPa) basıncında sıvı kaynama bitiş sıcaklığı, derece C

a.rol(t); t (derece C) sıcaklığında sıvı yoğunluğu kg/m³

a.rov(t); t (derece C) sıcaklığında gaz yoğunluğu kg/m³

a.h_l(t); t (derece C) sıcaklığında sıvı entalpisi KJ/kg

a.h_v(t); t (derece C) sıcaklığında gaz entalpisi KJ/kg

a.h_lv(t); t (derece C) sıcaklığında gaz sıvı entalpi farkı, KJ/kg

a.s_l(t); : t (derece C) sıcaklığında sıvı entropisi KJ/kgK

a.s_v(t); : t (derece C) sıcaklığında gaz entropisi KJ/kgK

a.s_lv(t); t (derece C) sıcaklığında gaz-sıvı entropi farkı KJ/kgK

a.viscosity_l(t); t (derece C) sıcaklığında sıvı viskozite Pas

a.viscosity_v(t); t (derece C) sıcaklığında gaz viskozite Pas

a.k_l(t); t (derece C) sıcaklığında sıvı ısı iletkenlik katsayısı KJ/mK

a.k_v(t); KJ/mK : t (derece C) sıcaklığında gaz ısı iletkenlik katsayısı KJ/mK

a.Cpl(t); KJ/kgK : t (derece C) sıcaklığında sıvı sabit sıcaklıkta özgül ısı KJ/kg K

a.Cpv(t); KJ/kgK: t (derece C) sıcaklığında gaz sabit sıcaklıkta özgül ısı KJ/kg K

a.soundv_l(t); : t (derece C) sıcaklığında sıvı sabit sıcaklıkta ses hızı 1 m/s
a.soundv_v(t); : t (derece C) sıcaklığında gaz sabit sıcaklıkta ses hızı 1 m/s

B şerit interpolasyonu programları temel olarak aynı formdadır. B şerit interpolasyon formülünü kullanan set ref_BS.java programıyla tanımlanmıştır.

```
public ref_BS(String soğutucu akışkan_ismi)  
ref_BS a=new ref_BS("R134a");
```

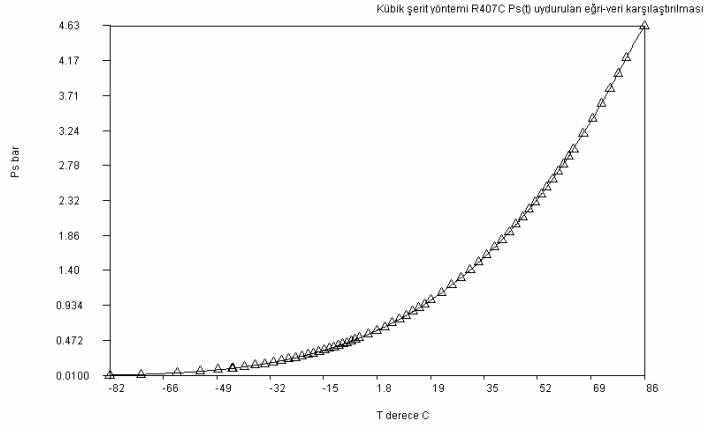
Ayrıca her iki programda bilgisayar programcılarının dışındaki soğutma sektöründe kullanılmasını sağlamak için kullanıcı arayüzü programları ref_CS_Table2.java ve ref_BS_Table.java programları hazırlanmıştır. Bu kullanıcı arayüz programlarının direk olarak çalışan versiyonları ref_CS.jar ve ref_BS.jar da hazırlanmıştır. Bu iki programı internet ortamında çalıştırmak için ref_CS.html ve ref_BS.html internet versiyonları mevcuttur. Şekil 1 de ref_CS.jar programı kullanıcı arayüzü görülmektedir.

İsim	Değer	Birimler
Soğutucu akışkan adı	R134a	
Soğutucu akışkan formülü	1,1,1,2-tetrafluoroethane CF3CH2F	
M, Soğutucu akışkan molekül ağırlığı	102.03	kg/kmol
Tb, kaynama noktası	-26.074	derece C
Td, donma noktası	-103.3	derece C
Tc, kritik sıcaklık	101.06	derece C
Pc, kritik basınç	4059.3	kPa
roc, kritik yoğunluk	511.9	kPa
t doyma sıcaklığı	0.0	derece C
Psb, doymuş sıvı basıncı	292.80000000000007	kPa
mu_v, doymuş buhar viskozitesi	292.80000000000007	kPa
rol, doymuş sıvı yoğunluğu	1294.8	kg/m^3
rov, doymuş buhar yoğunluğu	14.427932477276007	kg/m^3
hl, doymuş sıvı entalpisi	200.0	KJ/kg
lv, doymuş buhar entalpisi	398.60000000000001	KJ/kg
hlv, kaynama entalpisi	198.60000000000008	KJ/kg
sl, doymuş sıvı entropisi	1.0	KJ/kgK
sv, doymuş buhar entalpisi	1.7271	KJ/kgK
slv, kaynama entropisi	0.7271000000000001	KJ/kgK
mu_l, doymuş sıvı viskozitesi	2.7110000000000003E-4	Pa.s
	1.0729999999999999E-5	Pa.s
k_l, doymuş sıvı ısı iletkenlik katsayısı	0.09200000000000001	KJ/mK
k_v, doymuş buhar ısı iletkenlik katsayısı	0.011510000000000001	KJ/mK
Cp_l, doymuş sıvı özgül ısı	1.341	KJ/kgK
Cp_v, doymuş buhar özgül ısı	0.8969999999999999	KJ/kgK

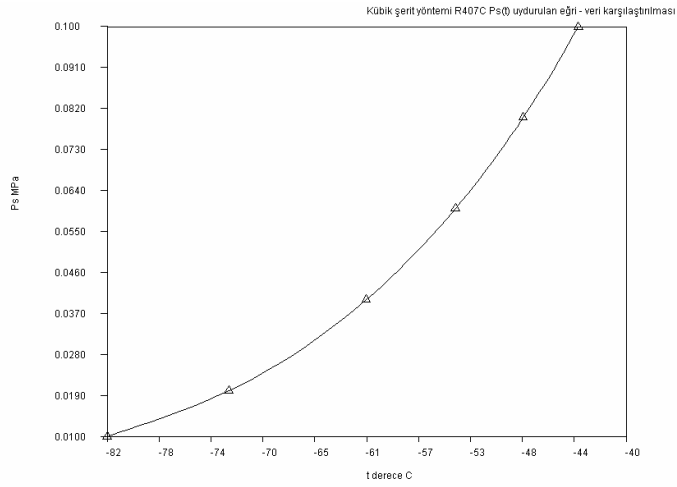
Şekil 3. ref_CS.jar kullanıcı arayüzü programı görünümü

5. B ŞERİT VE KÜBİK ŞERİT METODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

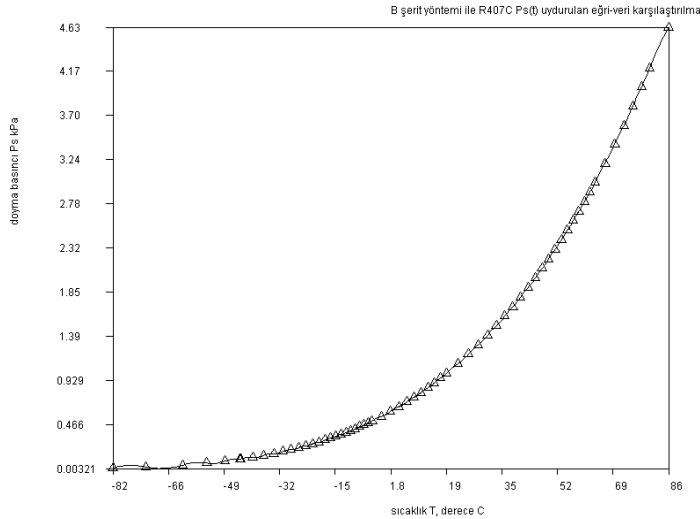
Şerit eğri uydurma metodları için en küçük kareler metodu ile eşdeğer bir hata terimi oluşturmak mümkün değildir, Veri tüm noktalardan geçtiği için böyle bir hata hesaplaması 0 hata verecektir, ancak bu eğri uydurmamızın mükemmel olduğu anlamına gelmez. Burada Kubik şerit ve B şerit yöntemlerinin Soğutucu akışkanların eğri uydurmasındaki performanslarını anlamak için uydurulan eğrilerin grafiklerini çizerek problem görülen bölgelerin genişletilerek grafik formda incelenmesi yöntemi kullanılacaktır.



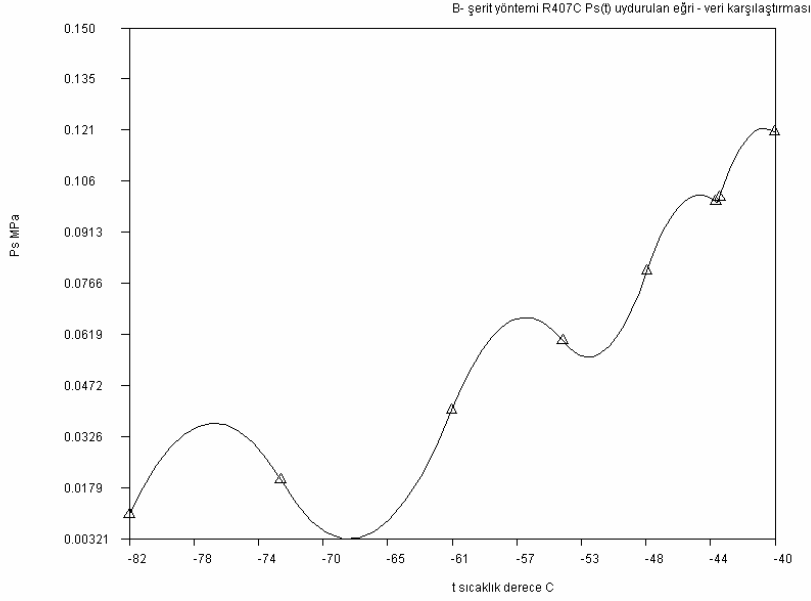
Şekil 4. R407C doyma başlangıç basıncı sıcaklık verisinin ve Küçük şeritle uydurulmuş eğrinin görünümü



Şekil 5. R407C doyma başlangıç basıncı sıcaklık verisinin ve Küçük şeritle uydurulmuş eğrinin -82 ile -40 derece C bölgesindeki (genişletilmiş) görünümü

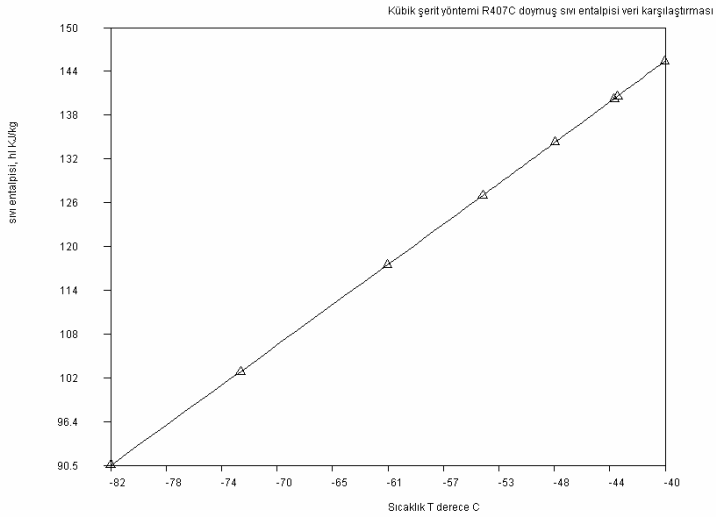


Şekil 6. R407C doyma başlangıç basıncı sıcaklık verisinin ve B şeritle uydurulmuş eğrinin görünümü

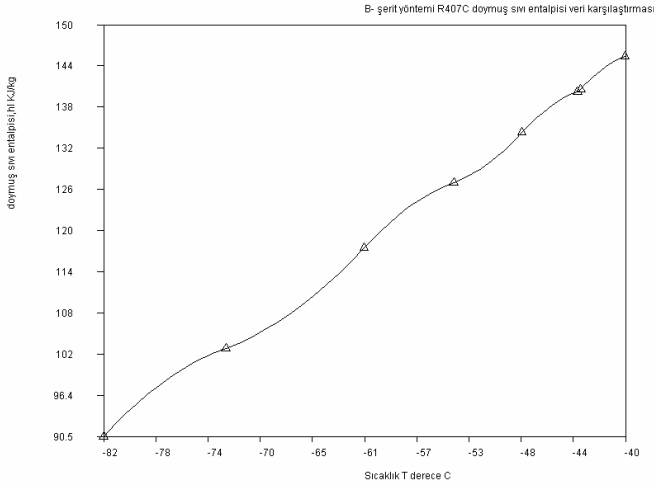


Şekil 7. R407C doyma başlangıç basıncı sıcaklık verisinin ve B şeritle uydurulmuş eğrinin -82 ile -40 derece C bölgesindeki (genişletilmiş) görünümü

İlk örnek olarak R407C soğutucu akışkanı için başlangıç doyma basıncı grafiğini uydurulan eğri ve orijinal veri noktaları olarak inceledik. Şekil 4 de Kübik şerit ve Şekil 6 de B şerit interpolasyonu fonksiyonları görülmektedir. Bu grafiklerde her iki grafikte nerdeyse mükemmel bir uyum eğrisi göstermektedir. Ancak eğrileri -80 den -40 derece C ye kadar olan bölümlerini detaylı olarak çizdiğimizde (Şekil 5 ve Şekil 7) B şerit metodunda bu bölgede dalgalanmalar görüyoruz, Kübik şerit metodunun daha iyi bir uyum fonksiyonu verdiğini gözlemleyebiliriz.



Şekil 8. R407C doyma sıvı entalpi verisinin ve Kübik şeritle uydurulmuş eğrinin -82 ile -40 derece C bölgesindeki (genişletilmiş) görünümü



Şekil 9. R407C doyma sıvı entalpi verisinin ve B şeritle uydurulmuş eğrinin -82 ile -40 derece C bölgesindeki (genişletilmiş) görünümü

İkinci örnek olarak R407C soğutucu akışkanı için sıvı entalpisi grafiğini uydurulan eğri ve orijinal veri noktaları olarak inceledik. Şekil 8 da Kübik şerit ve Şekil 9 da B şerit interpolasyonu fonksiyonlarının -80 den -40 derece C ye kadar olan bölümleri genişletilmiş olarak görülmektedir. Burada da B şerit metodunda bir üstteki kadar ciddi olmamakla beraber yine sinizoidal bir salınım gözlenmektedir.

6. SONUÇLAR

Kübik şerit eğri uydurma yöntemi, B şerit yöntemine göre daha fazla hesaplama gerektirdiğinden iki yöntemin aynı hassaslığı vermesi durumunda normal olarak standart metod olarak B şerit metodunun kullanması gerekir, ancak uydurulan eğrilerde B-şerit yönteminde görülen küçük salınımlar, kübik şerit metodunu daha kararlı sonuçlar vermesi sebebiyle standart olarak kullanılan temel metod haline getirmektedir. Her iki metod da en küçük kareler metodu sonuçlarına göre çok iyi sonuçlar sunmaktadır.

7. REFERANSLAR

1. 2005 ASHRAE HANDBOOK Fundamentals, 2005 ISBN 1-931862-71-0 ASHRAE Inc.
2. M. Turhan Çoban, Java Programlama diliyle Sayısal Çözümleme , Bileşim yayınları, ISBN 978-975-27-200-3
3. Robert s. Reid, John M. Prausnitz, Bruce E. Poling, The Properties of Gases and Liquids, Mc Graw Hill, ISBN 0-07-051799-1