

67866

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Doç. Dr. Esen BOLAT *E Bolat*
Doç. Dr. Sema BAYKARA *Sema*
Doç. Dr. Alişan KINCAĞ *A. Kincag*

BİR KİMYA TESİSİNDE ENERJİ
GEREKSİNİMLERİNİN EN AZA İNDİRİLMESİ

Kimya Müh. Elif Hatice GÜRKAN

F.B.E. Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında

Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Esen BOLAT

İSTANBUL, 1997

	Sayfa
İçindekiler.....	I
Teşekkür.....	III
Özet.....	IV
Summary.....	V
1. GİRİŞ.....	1
2. ISI DEĞİŞTİRİCİ AĞLARI İÇİN DARBOĞAZ ANALİZİ.....	3
2.1. DARBOĞAZ VE MİNİMUM ENERJİ HEDEFLERİ.....	3
2.1.1. Hedefler.....	3
2.1.2. Sıcaklık - Entalpi Farkı Diyagramı.....	5
2.1.3. Bileşik Eğriler ve Darboğaz.....	7
2.1.4. Problem Çizelge Algoritması.....	11
2.2. DARBOĞAZIN ANLAMİ.....	16
2.3. BÜYÜK BİLEŞİK EĞRİ.....	20
2.4. AĞ DİYAGRAM.....	22
2.5. DARBOĞAZ TASARIM YÖNTEMİ.....	23
2.5.1. Darboğazda Olurluk Kriterleri.....	23
2.5.1.1. Darboğazda başlama.....	24
2.5.1.2. Bireysel eşlenmeler için CP eşitsizliği.....	24
2.5.1.3. CP çizelgesi.....	27
2.5.2. Tasarım Yöntemi Özeti.....	27
2.6. ΔT_{min}'un ÖNEMİ.....	28
2.7. MİNİMUM SERVİS AKIMI TASARIMINI BASİTLEŞTİRMEK	29
2.7.1. Isı Yükü Döngüleri.....	29
2.7.2. Isı Yükü Yolları.....	30
2.7.3. Akım Bölme.....	30
2.8. SERMAYE ENERJİ İLİŞKİSİ.....	31
3. UYGULAMALAR.....	33
3.1. Uygulama 1.....	33

3.2. Uygulama 2.....	40
3.3. Uygulama 3.....	48
3.4. Uygulama 4.....	55
3.5. Uygulama 5.....	63
3.6. Uygulama 6.....	71
3.7. Uygulama 7.....	79
3.8. Uygulama 8.....	88
3.9. Uygulama 9.....	97
3.10. Uygulama 10.....	104
4. SONUÇ.....	112
KAYNAKLAR.....	113
EKLER.....	115
EK 1.....	115
EK 1.1.....	115
EK 1.2.....	117
EK 1.3.....	119
EK 2.....	121
EK 2.1.....	121
EK 2.2.....	123
EK 2.3.....	125
EK 3.....	127
EK 3.1.....	127
EK 3.2.....	129
EK 3.3.....	131
EK 4.....	133
EK 4.1.....	133
EK 4.2.....	135
EK 4.3.....	137
EK 5.....	139

EK 5.1	139
EK 5.2	141
EK 5.3	143
EK 6	145
EK 6.1	145
EK 6.2	147
EK 6.3	149
EK 7	151
EK 7.1	151
EK 7.2	153
EK 7.3	155
EK 8	157
EK 8.1	157
EK 8.2	159
EK 8.3	161
EK 9	163
EK 9.1	163
EK 9.2	165
EK 9.3	167
EK 10	169
EK 10.1	169
EK 10.2	171
EK 10.3	173
ÖZGEÇMİŞ	175

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç.Dr. Esen BOLAT'a ve bana yardımcı olan Sayın Doç.Dr. Uğur AKMAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca, yaşantım boyunca benden ilgi ve desteklerini eksik etmeyen aileme teşekkür ederim. Tez çalışmam sırasında her zaman yanımda olan arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

ÖZET

Çevre kısıtlamaları ve ekonomik durum değişince, tesisler daha az enerji kullanımına yönelmiştir. Bu amaçla, proseslerde kullanılan ısının optimal şekilde entegrasyonuna çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda geliştirilen darboğaz analizi, minimum birim sayısıyla minimum enerji kullanımına optimum bir yaklaşım sunmuştur.

Bu çalışmada, darboğaz analizinde maliyet bakımından ayrı bir önemi olan ΔT_{\min} 'in seçimi üzerinde durulmuştur. Ele alınan uygulamalarda, ΔT_{\min} değerleri 5, 10, 15 ve 20 olmak üzere değiştirilerek, ısı değiştirici ağında gerekli olan birim sayısı ve servis akımı enerji gereksinimleri darboğaz analizini uygulayan THEN bilgisayar programı ile bulunmuş ve karşılaştırılmıştır. Darboğaz analizi hesaplamaları pratikte ise daha çok uygulanan $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}$ için ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Darboğaz analizi sonucunda, ele alınan uygulamalarda, ısıtma ihtiyacı 65 - 95,7 %, arasında soğutma ihtiyacı ise 63,4 - 97,9 % arasında düşürülmüştür.

SUMMARY

When environment restrictions and state of economy change, trend has gone towards using less energy. For this purpose, the heat used in processes has been tried to be integrated in optimal case. As a result of these studies the pinch analysis developed in UMIST by B. Linnhoff offers an optimum approach with minimum number of units and minimum energy usage.

In this study, choice of ΔT_{\min} , which is very important in pinch analysis, is emphasized. In the applications, the value of ΔT_{\min} is changed as 5, 10, 15 and 20 and the unit number and utility energy requirements necessary in the heat exchanger network is determined by THEN computer programme and compared. However, the pinch analysis calculation is shown in detail for $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}$ which is the most applied value in practice. In the applications by pinch analysis heating requirement is decreased to 65 - 95,7 % and the cooling requirement is decreased to 63,4 - 97,9 %.

1. GİRİŞ

1980'lerin başında, proses integrasyonu ya da darboğaz teknolojisi, toplam sistem tasarımlarını yürütmek için proses mühendislerine temel bilgiler ve araçlar sundu. Proses integrasyonu teknolojisi, termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarının proses ve servis akımı sistemlerine sistematik olarak uygulanmasında yararlı olan bir yöntemdir.

Proses integrasyonu araçları kullanılarak, prosesler ve onları çevreleyen servis akımı sistemleri ile ilgili bazı sorulara, ayrıntılı proses benzetimine girmeden cevap bulunur. Bu durum, mühendise iki büyük hedefe ulaşmak için imkan verir: ayrıntılı benzetim ve optimizasyondan önce proses ve servis akımı sistemi akış diyagramlarını kurmak ve proses ve servis akımı sistemlerinin mühendisliğine yol göstermek (1).

Tasarım çalışmaları, projeyi erken bitirmek ya da ayrıntılı bir tasarım geliştirmek tercihlerine odaklanabilir. Bir tasarım kavram aşamasında odaklama, ayrıntılı tasarım hesaplarından çok, en iyi akış şeması alternatiflerini bulmaya yöneliktir. Akış şemaları alternatiflerini karşılaştırmak için, herbir alternatifin, optimum tasarım şartlarını tahmin etmek gerekir. Ancak, optimum tasarım şartlarının tahmininin minimum çaba ile yapılması istenir. Burada devreye darboğaz analizi girer.

Toplam tasarım maliyetlerinin ısı değiştirici ağı alternatiflerine etkisini kestirmek, maksimum ısı geri kazanımına yakın bir değeri olan çeşitli ısı değiştirici ağı alternatiflerini tasarlamak ve sonra, bu ağlar için darboğazda akış optimizasyonunu ve ΔT_{\min} optimizasyonunu incelemek gerekir. Bu tip bir durum inceleme yaklaşımıyla, optimum ısı değiştirici ağının bulunması garanti edilemez ama enerji integrasyonunun önemi daha iyi anlaşılabilir (2).

Bu yöntemin en önemli katkısı, mühendislere interaktif olarak kullanılabilen basit kavramlar sunmasıdır. Bu yaklaşım, bilgisayarı devre dışı bırakarak mühendisi devreye sokar ve fabrika düzenini, güvenliğini, çalışabilirlik etkenlerini dikkate alır. Bu sayede, sadece ısıl verimliliği değil (darboğaz teknolojisinin girdisi), endüstriyel olarak kabul edilebilirliği (mühendisin girdisi) de içeren tasarım çözümleri sağlanabilir (3,4).

Darboğaz analizinin prensipleri, ısı ve güç termodinamiğine dayanır ve temel stratejisi, tasarım öncesinde hedefleri ortaya koymaktır. Ancak yöntem, destilasyon, ısı pompaları, ortak üretim türbinleri, fırınlar vs. gibi sistemleri ve sermaye, çalıştırılabilirlik ve emisyonlar gibi enerji dışı konuları kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Enerji ve proses sistemlerinin bir entegre tasarımı için genel bir yaklaşım ortaya çıkmıştır.

Amaç, tasarımdan ziyade hedefleme olmuştur. Uygulamada, öncelikle proses analizi için kullanıldığından gittikçe yaygınlaşan bir şekilde darboğaz teknolojisi yerine darboğaz analizi olarak anılır.

Darboğaz analizi, entegre sistemlerin kavramsal tasarımında alternatif seçeneklerin tasarlanmasını ve elenmesini sağlar. Başka bir deyişle, bu yöntem sadece ısı değiştiricilerinin tasarımıyla sınırlanmamakta, kavramsal proses tasarımı için genel bir yöntem olarak kullanılmaktadır (3).

Bu yöntem, geniş problemlerde kesine yakın bir şekilde "en iyi " tasarımları saptamak için yapılan elle hesaplamalarda kullanılmak için yeterince basittir. "En iyi" tasarımlar belli sayıda proses birimi ile mümkün olan en yüksek derecede enerji geri kazanımı sağlarlar. Bundan başka, iyi kontrol edilebilme, tesis planlaması, iç emniyet v.s. için gerekli olan bir ağ düzeni gösterir (5).

Özetle, analizin amacı servis akımı tüketimini azaltmak üzere, bir ısı değiştirici ağında akımları birbiriyle ya da dış servis akımlarıyla birleştirerek, sıcak ve soğuk proses akımlarını eşlendirmektir (6).

2. ISI DEĞİŞTİRİCİ AĞLARI İÇİN DARBOĞAZ ANALİZİ

2.1. DARBOĞAZ VE MİNİMUM ENERJİ HEDEFLERİ

2.1.1. Hedefler

Bir tasarım reaktörde başlar ve diğer proses kademelerine doğru ilerler. Başlıca proses kademeleri (reaktörler, ayırıcılar ve geri döngüler) madde ve enerji denklemlerini etkiler. Bunlara bağlı olarak, ısıtma ve soğutma yükleri (ısı değiştirici ağı ve servis akımları) bulunur. Ancak, toplam tasarım probleminde bir ilk geçişin tamamlanması için, ısı değiştirici ağı (HEN)* tasarımının tamamlanması gerekmez. Tasarım yapılmadan tam proses tasarım performansının belirlenmesi için, ısı değiştirici ağı ve servis akımları için, enerji ve sermaye maliyetlerinin kestirilmesine olanak sağlayan hedefler konulabilir. Bu hedefler, ayrıca, tasarımcının, HEN ve servis akımlarının enerji ve sermaye maliyetleri için hedefler geliştiren proseslerle ilgili değişiklikler önermesine olanak sağlar.

HEN ve servis akımları için tasarımdan çok hedefler kullanmak, pek çok tasarım alternatifinin hızlı ve uygun bir şekilde elenmesine izin verir. Pek çok tasarım alternatifinin ancak tam tasarım kademesinde elenmesi, çaba ve zaman bakımından pratik olmaz. Önce, enerji hedeflerinin nasıl kurulacağı ayrıntıları ile incelenir, daha sonra sermaye maliyetleri kurulur (7).

HEN tasarımı, kimya proseslerinin tasarımında çok önemli bir yer tutar. Tipik olarak, geliştirilmiş HEN tasarımıyla hazırlanan akış şemaları ile, sermaye tasarrufu yanısıra %20-30 enerji tasarrufu da sağlanır. Darboğaz tasarımı, proses akımlarını belirtilen besleme şartlarından belirtilen hedef şartlarına ısıtmak veya soğutmak için, proses ve servis akımı ısı değiştiricilerinin yerleştirilmesi ile ilgilidir. Amaç, toplam maliyeti, yani yıllık ödemeler cinsinden ifade edilen sermaye ve işletme maliyetlerini minimize etmektir. Bu amaca ulaşmak amacıyla, sistematik yöntemlerin geliştirilmesi, on yıldan daha fazla bir süreden beri kimya mühendisliği literatüründe aktif bir ilgi alan oluşturur. Bu tip bir yaklaşım, ağ sıcaklık darboğazı ve ağ performans hedefleri denilen iki önemli buluşla değiştirildi.

HEN* : İngilizce "Heat Exchanger Network" kelime grubunun kısaltılmış şekli .

Ağ sıcaklık darboğazı, HEN tasarımında olabilir maksimum ısı geri kazanımının yerini gösterir. Ağ performans hedefleri, minimum servis akımı kullanımı, minimum toplam yüzey alanı ve minimum birim (proses ve servis akımı ısı değiştiricileri) sayısı için kullanılır. Bu hedeflerin hesaplanması kolaydır ve tasarımdan bağımsızdır. Böylece, hedefler, tasarımcıyı daha iyi tasarımlara teşvik etmek ve tasarımcıya çözümün optimuma yakın olduğu güveni vermek için kullanılabilir.

Minimum servis akımı yükleri için geliştirilen hedefleme yöntemlerinde, ısı değiştiriciler, ısıtıcılar ve soğutuculardaki mümkün olan en iyi proses geri kazanımı derecesini, minimum sıcaklık farkının (ΔT_{\min}) bir fonksiyonu cinsinden tanımlar. Tercih edilen tasarım, güvenli ve uygulanabilir olmalı ve en düşük enerji ve sermaye maliyetini göstermelidir (6).

Sermaye maliyetleri, minimum birim sayısı ve minimum toplam yüzey alanı hedefleri ışığında incelenebilir. Ancak, enerji geri kazanımı dereceleri aynı olduğunda, aynı problemin çeşitli çözümleri benzer toplam yüzey alanları verir. Ağ tasarımının ilk aşamalarında minimum birim sayısı hedefi çok önemlidir. Minimum sayıdan daha fazla olan birimler, daha çok kurma, borulama, aletlendirme ve bakım çalışmasına ihtiyaç duyar ve sermaye maliyetinin çok artmasına neden olur.

Minimum birim sayısı, proses ve servis akımlarının bir fonksiyonudur:

$$N_{\min} = \sum N_j - 1 \quad (2.1)$$

Burada, N_{\min} = Minimum birim sayısı

$\sum N_j$ = Proses ve servis akımlarının sayısının toplamı

Bu denklem, Euler'in genel ağ teoreminin özel bir durumu olarak açıklanmıştır. Euler teoreminin genel şekli, minimum sayıya karşı bir ağdaki birimlerin gerçek sayısı ile ağın ayrılabilirliği ayrı bileşenlerin sayısı ve döngü sayısı arasındaki ilişkiyi verir (5,8).

Minimum maliyet ağları, genel olarak, doğru enerji geri kazanımı derecesini ve doğru birim sayısını gösterir. Bu, tasarım yöntemiyle iki adımda başarılır. Birincisi, belirtilen bir minimum sıcaklık farkına karşılık gelen yöntem, minimum enerji için

gerekli olduğundan daha fazla birim kullanılmadan, minimum enerji çözümünü amaçlar. Bu iş, darboğaz olayının çok iyi anlaşılmasıyla başılır. Dolayısıyla yöntem, "darboğaz tasarım yöntemi" olarak adlandırılır. Minimum sıcaklık farkının en iyi başlangıç değerini hızla saptamak için darboğaz tasarım yönteminin nasıl kullanılabileceğini gösterir. İkincisi, yöntem, birim sayısının kontrollü azaltılması ile ilgilidir. Bu, minimum servis akımı kullanımından "vazgeçmeyi" gerektirir.

Darboğaz tasarım yönteminde, minimum servis akımı tasarımı için akım bölünmesinin kaçınılmaz olduğu durumlar tanımlanır. Bu akım ayrılımları, istenmeyen bir durumdur; çünkü, kontrol ve borulama çalışmasında zorluklar getirir ve gerekli olmadıkça yapılmamalıdır. Akım bölünmesinin önlenebilir olup olmadığını aydınlatmak için, açık bir mantık yürütülür. Ancak, akımların bölünmesi yönteminin yetersizliği yüzünden, bundan emin olunamaz. (5).

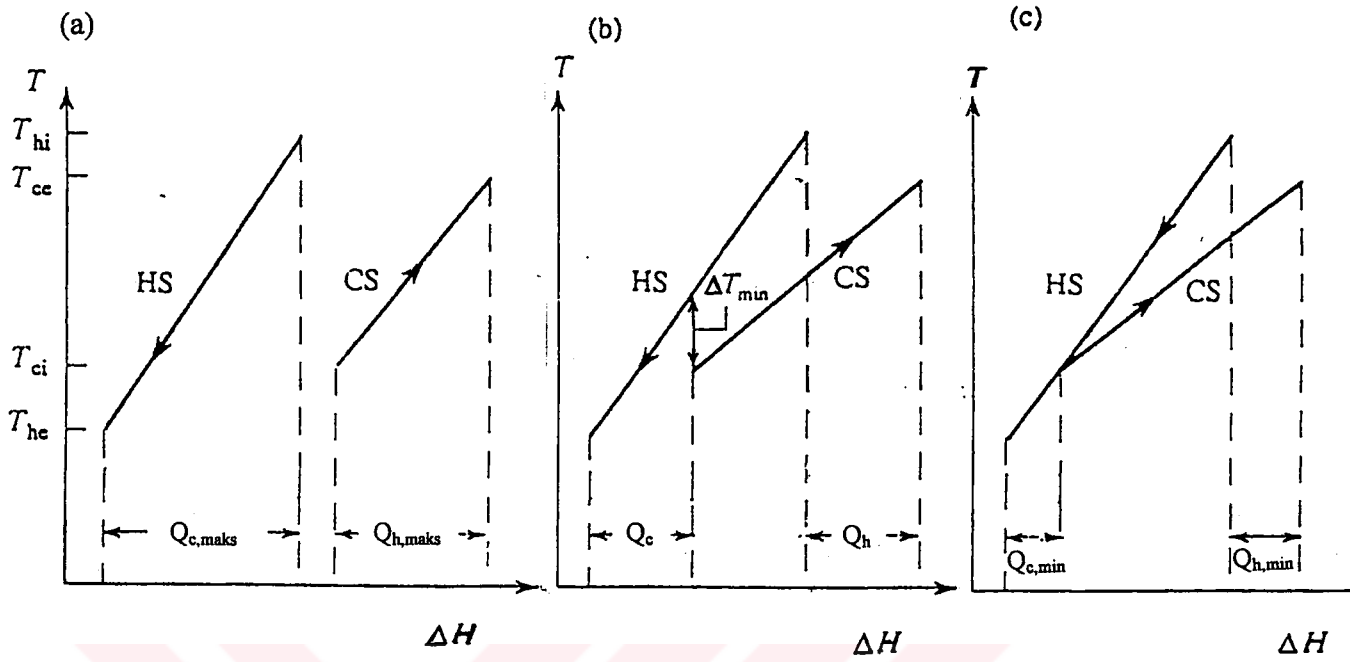
2.1.2. Sıcaklık - Entalpi Farkı Diyagramı

Sıcaklık - entalpi farkı diyagramları, HEN analizinde temel rol oynar. Şekil 2.1'de biri sıcak akım (HS) diğeri soğuk akım (CS), iki akımlı bir diyagram verilmektedir. Sıcak akım, giriş (besleme) sıcaklığı T_{hi} 'den, çıkış (hedef) sıcaklığı T_{he} 'e soğutulur; soğuk akım ise giriş (besleme) sıcaklığı T_{ci} 'den, çıkış (hedef) sıcaklığı T_{ce} 'e ısıtılır. Proseslerin yönü şekilde oklar ile belirtilmektedir.

Tüm akım sıcaklıklarının, özgül ısı kapasitelerinin ve kütleli akış debilerinin sabit olduğu kabul edilir. Isı aktarım hızları sıcak ve soğuk akım için sırasıyla şöyledir:

$$Q_h = m_h (h_{he} - h_{hi}) = \Delta H_h \quad (2.2)$$

$$Q_c = m_c (h_{ce} - h_{ci}) = \Delta H_c \quad (2.3)$$



Şekil 2.1. Bir Sıcak Akımın Bir Soğuk Akım ile İntegrasyonu

Isıtma ve soğutma amaçları için, bir soğuk servis akımı (soğutma suyu) ve bir sıcak servis akımı (buhar) bulunur. Bunların ısı yükleri sırasıyla Q_{cu} ve Q_{hu} 'dur. Bu düzenleme, maksimum servis yüklerini saptar ($Q_{cu,maks}$ ve $Q_{hu,maks}$). Tüm tasarım alternatifleri içinde, bu durum, en düşük yatırım ve en yüksek servis akımı maliyetleri ile tanımlanır. Servis akımı maliyetleri, yatırım maliyetleri ve iki akımın sıcaklıkları düşünüldüğünde, Şekil 2.1a'daki düzenlemenin minimum maliyet yönünden optimum olmadığı görülür.

Şekil 2.1b'de gösterildiği gibi, soğuk akım entalpi farkı eksenine paralel kaydırılarak elde edilen düzenleme ile, soğuk akımın kısmi ısıtılması soğuk akımın kısmi soğutulması ile yapılabilir. Sıcak ile soğuk akımın örtüşen entalpi farkı aralığı ısı değiştirici yükü Q_{hx} 'ne karşılık gelir. Isı değiştirici içinde minimum sıcaklık farkının ΔT_{min} olduğu bölge, darboğaz noktası ya da basitçe darboğaz olarak bilinir. Darboğazdaki sıcaklık farkı, ısı değiştirici içindeki ısı aktarımını ve ısı aktarım alanı A_{hx} 'nin büyüklüğünü etkiler. Soğuk akımın darboğazdaki paralel bir kaydırması, sıcaklık farkının aynı zamanda servis akımlarının yüklerinin bir ölçüsü olduğunu gösterir. Daha küçük bir ΔT_{min} , daha geniş bir Q_{hx} ve A_{hx} ve daha küçük Q_{hu} ve Q_{cu} verir.

Şekil 2.1c'de termodinamik yönden en iyi olan düzenleme görülür: $\Delta T_{\min} = 0$, $Q_{hu,\min}$ ve $Q_{cu,\min}$. Ancak, $\Delta T_{\min} = 0$ durumunda, sonsuz ısı aktarım alanı ve sonsuz sermaye maliyeti gerekir. Bu pratik yönden olanaksızdır.

Yalnızca iki akım durumunda, ısı değiştiricideki darboğazın yeri akımların ısı kapasitesilerine ($m.C_p$) bağlıdır. Böylece,

$m_h.C_{p_h} > m_c.C_{p_c}$: Darboğaz, ısı değiştiricinin T_{hi} ve T_{ce} ucunda görülür.

$m_h.C_{p_h} < m_c.C_{p_c}$: Darboğaz, ısı değiştiricinin T_{ci} ve T_{he} ucunda görülür.

$m_h.C_{p_h} = m_c.C_{p_c}$: Sıcaklık-entalpi farkı diyagramında profiller paraleldir.

Darboğaz oluşmaz.

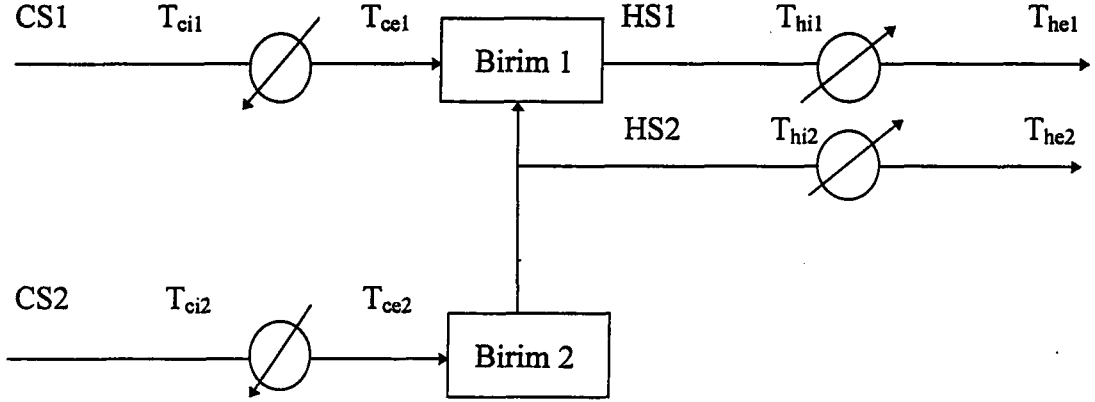
2.1.3. Bileşik Eğriler ve Darboğaz

Isı değiştirici ağının analizinde, önce, madde ve enerji denkliklerinden, ısı kaynakları (ısı veren sıcak akımlar) ve ısı kuyuları (ısı alan soğuk akımlar) belirlenir.

Buhar kullanılarak soğuk akım ısıtılır, soğutma suyu kullanılarak da sıcak akım soğutulur. Sistemlerde genellikle 180°C 'de buhar ve 20°C 'de soğutma suyu kullanılır. Ancak, bu aşırı enerji maliyetine neden olur. Bunun yerine, ısı geri kazanımı için çaba harcanır. Bu amaçla geliştirilen darboğaz yaklaşımı, aşağıdaki kabullere dayanır (9):

- 1) Tüm ısı aktarımları karşıt akışlı ısı değiştiricilerde yer alır.
- 2) Her akımın ortalama özgül ısı sabittir.
- 3) Her akımın entalpisi sadece sıcaklığa bağlıdır.
- 4) Kinetik ve potansiyel enerji değişiklikleri ihmal edilebilir.
- 5) Çevreye olan ısı aktarımı ihmal edilebilir.

Şekil 2.2'de, şematik olarak, bir proses gösterilmektedir. Şekil 2.2'de akımların ikisi ısı kaynağı, ikisi de ısı kuyusudur. Sıcak ve soğuk akımların özellikleri, Tablo 2.1'de verildiği gibi, ayrı çıkarılabilir. Bu tabloda CP, kütle akış debisi ile özgül ısı kapasitesinin çarpımıdır ($CP = m \cdot C_p$).

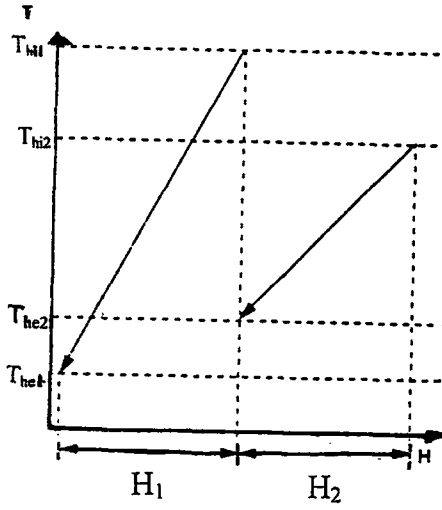


Şekil 2.2. İki Sıcak ve İki Soğuk Akımlı Bir Prosesin Akış Diyagramı

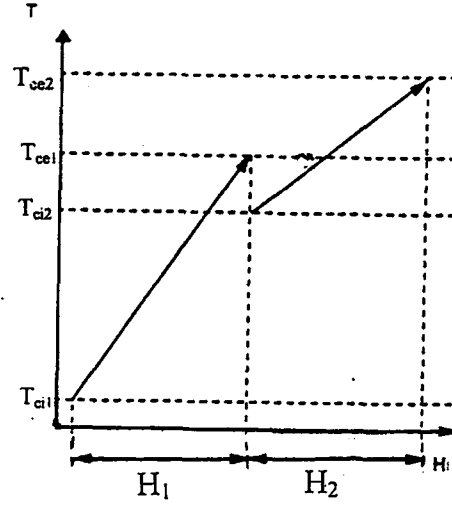
Tablo 2.1. Akım Verileri

Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	T _i (°C)	T _e (°C)
CS1	CP _{c1}	T _{ci1}	T _{ce1}
HS1	CP _{h1}	T _{hi1}	T _{he1}
CS2	CP _{c2}	T _{ci2}	T _{ce2}
HS2	CP _{h2}	T _{hi2}	T _{he2}

Şekil 2.3'de, sıcak ve soğuk akımlar ayrı ayrı gösterilir. Bu akımların bir bütün olarak nasıl hareket edeceğini saptamak üzere, sıcak akımlar ve soğuk akımlar, verilen toplam sıcaklık aralıklarında ayrı ayrı birleştirilir. Sıcaklık eksenini, akımların besleme ve hedef sıcaklıkları tarafından tayin edilen aralıklara ayırır. Her sıcaklık aralığındaki akım doğruları, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'deki veriler kullanılarak, sıcak (Şekil 2.4a) ya da soğuk (Şekil 2.4b) bileşik eğrileri üretmek için birleştirilir (1). Her sıcaklık aralığında, bileşiğin entalpi değişimi, tek tek akımların entalpi değişimlerinin toplamıdır ($\Delta H = \Delta T \cdot \Sigma CP$).



a) Sıcak Akımlar



b) Soğuk Akımlar

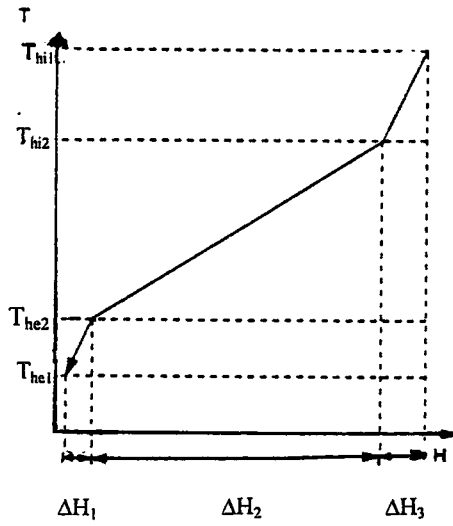
Şekil 2.3. Sıcak ve Soğuk Akımlar

Tablo 2.2. Sıcak Bileşik Eğri Verileri

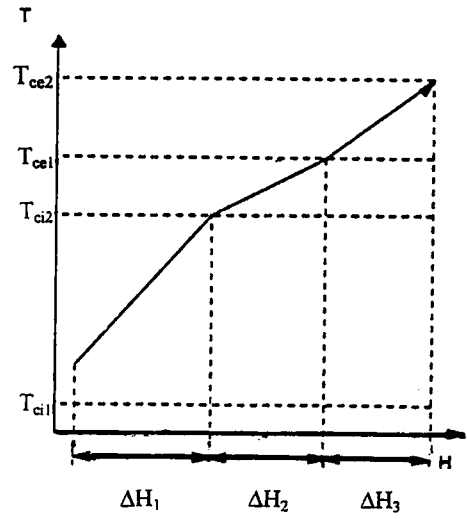
Sıcaklık Aralığı	$\Delta T_{\text{aralık}}$	CP	$\Delta H_{\text{aralık}}$
$T_{he1} - T_{he2}$	$\Delta T_{h(1)}$	CP_{h2}	$\Delta H_{h(1)}$
$T_{hi1} - T_{he1}$	$\Delta T_{h(2)}$	$CP_{h1} + CP_{h2}$	$\Delta H_{h(2)}$
$T_{hi2} - T_{hi1}$	$\Delta T_{h(3)}$	CP_{h2}	$\Delta H_{h(3)}$

Tablo 2.3. Soğuk Bileşik Eğri Verileri

Sıcaklık Aralığı	$\Delta T_{\text{aralık}}$	CP	$\Delta H_{\text{aralık}}$
$T_{ci1} - T_{ci2}$	$\Delta T_{c(1)}$	CP_{c2}	$\Delta H_{c(1)}$
$T_{ce2} - T_{ci1}$	$\Delta T_{c(2)}$	$CP_{c1} + CP_{c2}$	$\Delta H_{c(2)}$
$T_{ce1} - T_{ce2}$	$\Delta T_{c(3)}$	CP_{c1}	$\Delta H_{c(3)}$



a) Sıcak Bileşik Eğri



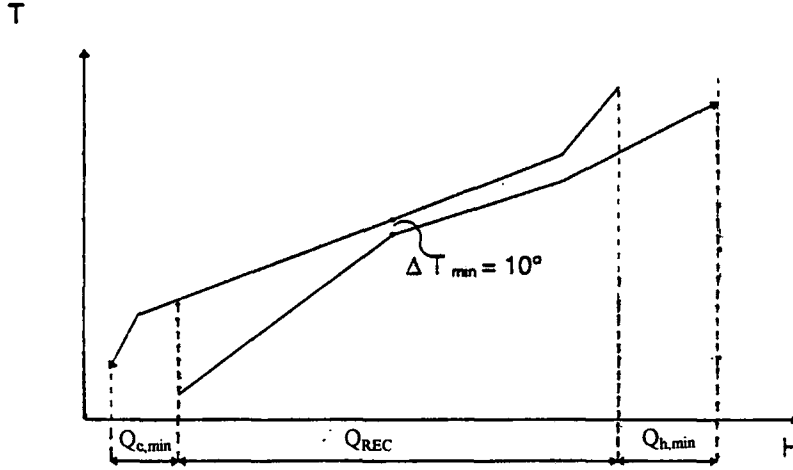
b) Soğuk Bileşik Eğri

Şekil 2.4. Bileşik Eğriler

Bileşik eğrilerin eğimi değiştirilemez ama, biri diğerine göre yatay olarak hareket ettirilerek, birbirlerine göre durumları değiştirilebilir. Bunun nedeni, bir akımın referans entalpisinin, diğerinin referans entalpisinden bağımsız olarak değiştirilebileceğidir (7).

Genelde, soğuk bileşik eğri sıcak bileşik eğriye göre, aralarında ΔT_{\min} 'luk bir fark kalana kadar, yatay olarak kaydırılır (Şekil 2.5). Şekil 2.5'te, eğrilerin örtüştüğü bölgelerde, sıcak bileşik eğriyi oluşturan sıcak akımlardan soğuk bileşik eğriyi oluşturan soğuk akımlara dikey olarak ısı boşaltılır. Dolayısıyla, eğriler arasındaki örtüşmeyi maksimum yapmak, geri kazanılan ısıyı (Q_{REC}) da maksimum yapar (10).

İki eğri arasındaki dikey fark belirlenen minimum sıcaklık farkına (ΔT_{\min}) eşit olana kadar, soğuk bileşik eğri sola kaydırılır. Soğuk bileşik eğrinin sola doğru hareket etmesi, servis akımı kullanımını azaltır (9). ΔT_{\min} 'un sağlandığı nokta "ısı geri kazanımı darboğazı" veya "darboğaz" (T_d) olarak adlandırılır (6). Bu noktada, sıcak ve soğuk bileşik eğrilerin sıcaklık değerleri sırasıyla $T_{h,d}$ ve $T_{c,d}$ olur.



Şekil 2.5. Bileşik Eğrilerin Yaklaştırılması ve Darboğaz Sıcaklığının Saptanması

Eğriler arasındaki yatay fark, proses akımları arasındaki ısı aktarımının maksimum potansiyelini gösterir. Bu durumda, soğuk bileşik eğrinin gerektirdiği ısı, minimum debide sıcak servis akımı ile sağlanır. Benzer şekilde, sıcak bileşik eğri üzerindeki fazla ısıyı almak için, minimum debide soğuk servis akımı gerekir (11).

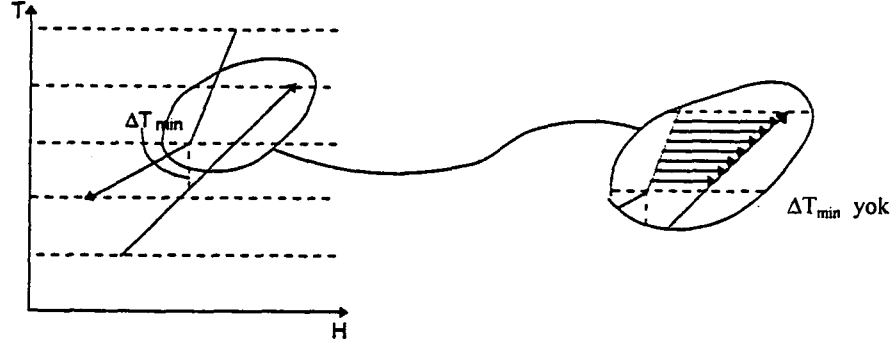
Bileşik eğriler, tasarımcıya, optimum sıcak/soğuk servis akımı hedeflerini tasarımdan önce belirlemesine, ısı aktarımı için gerekli olan sıcaklık farklılıklarını (itici kuvvetler) anlamasına ve darboğazın yerini saptamasına imkan sağlar (3).

2.1.4. Problem Çizelge Algoritması

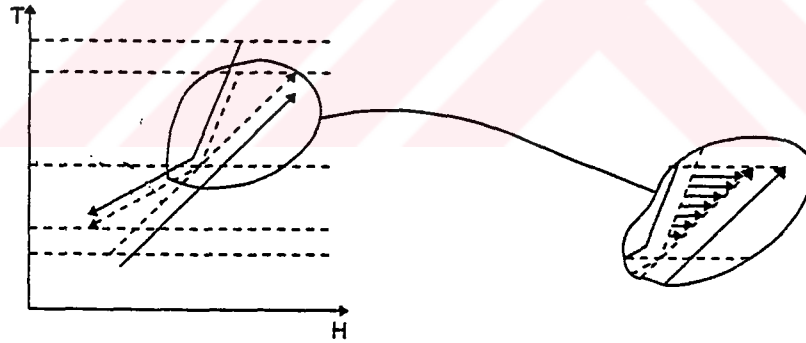
Enerji hedeflerini koymak için bileşik eğriler kullanılabiliriyorsa da, yaklaşım grafiksel bir yapıya dayandırıldığı için, uygun değildir. Enerji hedeflerini grafiksel yapıya ihtiyaç duymadan hesaplamak için, "problem çizelge algoritması" geliştirildi. Proses, önce sıcaklık aralıklarına ayrılır. Ancak, sıcaklık farkları aralık boyunca uygun olmadığından, her sıcaklık aralığında tüm ısıyı geri kazanmak imkansız olur (Şekil 2.6a). Problem çizelge algoritmasına göre, sıcak bileşik eğri pratikten $\Delta T_{min} / 2$ daha

soğuk, soğuk bileşik eğri pratikten $\Delta T_{\min} / 2$ daha sıcak sayılırsa, bu problem aşılır (Şekil 2.6b) (12).

(a)



(b)



Şekil 2.6. Bileşik Eğrilerin Kaydırılması

"Kaydırılmış bileşik eğriler" şimdi darboğazda birbirine dokunur. Pratikte sıcak akımlar $\Delta T_{\min} / 2$ daha sıcak, ve soğuk akımlar ise $\Delta T_{\min} / 2$ daha soğuk olduğundan, kaydırılmış sıcaklık aralığında kaydırılmış bileşik eğriler arasındaki ısıl denge, her bir kaydırılmış sıcaklık aralığında ısı aktarımının olabileceğini gösterir. Her bir kaydırılmış

sıcaklık aralığı içinde, sıcak akımlar soğuk akımlardan ΔT_{\min} kadar daha sıcaktır. Kaydırma, sıcaklık aralıkları içinde sıcaklığı kontrol etme sorununu ortadan kaldırır.

Kaydırma tekniği, enerji hedeflerinin bileşik eğriler oluşturulmadan hesaplanması için, aşağıda verilene benzer bir strateji geliştirme amacıyla kullanılabilir (7).

- 1) Proses darboğazında, ΔT_{\min} için bir optimum değer belirlenir.
- 2) Sıcak akımların sıcaklıkları $\Delta T_{\min}/2$ kadar azaltılarak ve soğuk akımların sıcaklıkları $\Delta T_{\min}/2$ kadar artırılarak, kaydırılmış sıcaklık aralıkları oluşturulur (Tablo 2.4).

Tablo 2.4. Kaydırılmış Akım Sıcaklıkları

Akım Nosu ve Hali	T_i (°C)	T_e (°C)	T_i^* (°C)	T_e^* (°C)
CS1	T_{ci1}	T_{ce1}	$T_{ci1} + \Delta T_{\min}/2$	$T_{ce1} + \Delta T_{\min}/2$
HS1	T_{hi1}	T_{he1}	$T_{hi1} - \Delta T_{\min}/2$	$T_{he1} - \Delta T_{\min}/2$
CS2	T_{ci2}	T_{ce2}	$T_{ci2} + \Delta T_{\min}/2$	$T_{ce2} + \Delta T_{\min}/2$
HS2	T_{hi2}	T_{he2}	$T_{hi2} - \Delta T_{\min}/2$	$T_{he2} - \Delta T_{\min}/2$

- 3) Kaydırılmış bir sıcaklık aralığında,

$$\Delta H_i = (\sum CP_c - \sum CP_h) \Delta T_i \quad (2.4)$$

Burada,

$$\Delta H_i = \text{Kaydırılmış } i \text{ aralığı içinde entalpi farkı}$$

$$\Delta T_i = \text{Kaydırılmış sıcaklık farkı}$$

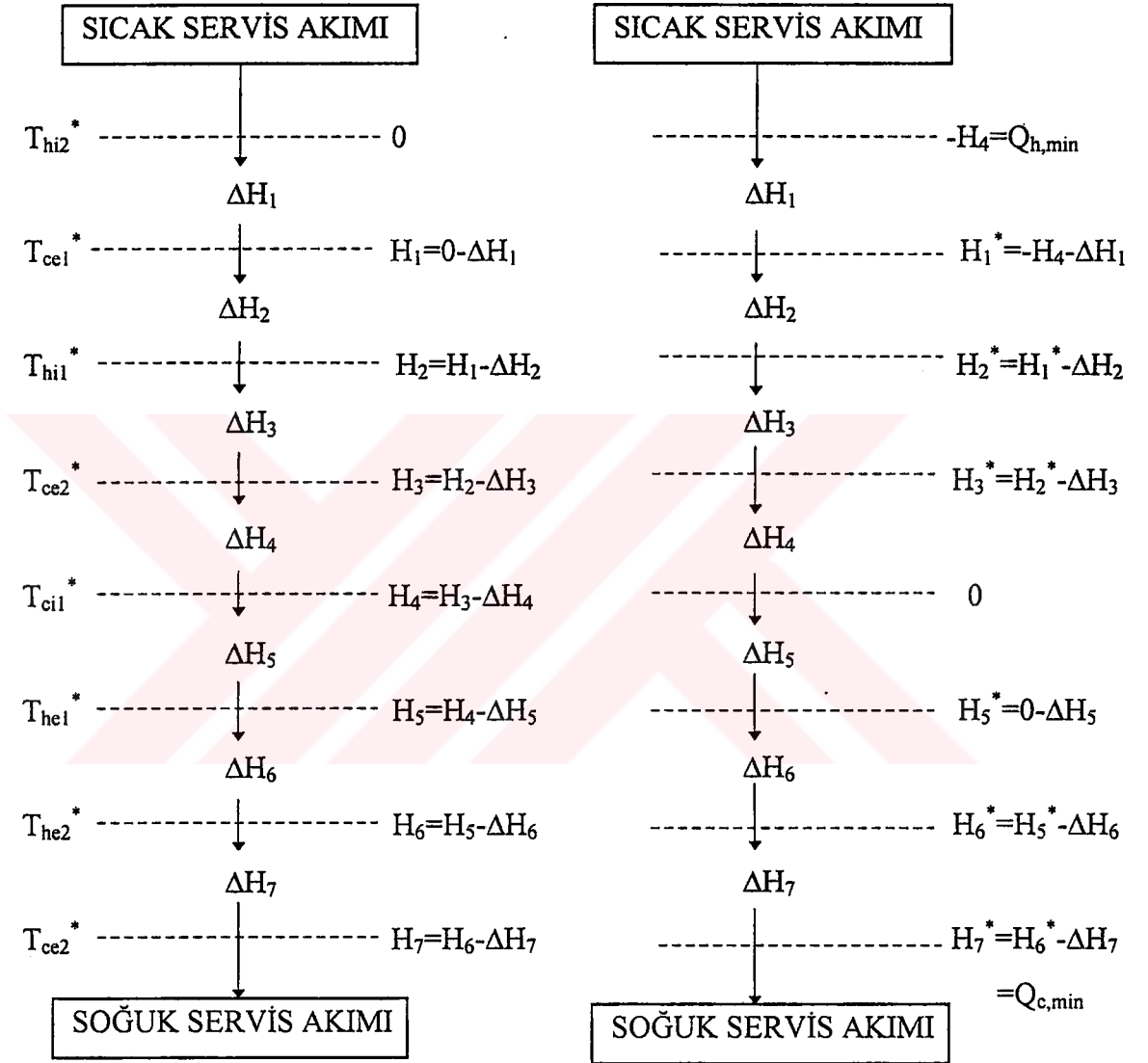
Soğuk akımların etkisi sıcak akımların etkisinden fazla ise, ΔH pozitif olur ve ilgili aralıkta ısı eksikliği olduğunu gösterir. Sıcak akımların etkisi soğuk akımların etkisinden fazla ise, ΔH negatif olur ve ilgili aralıkta ısı fazlalığı olduğunu gösterir. Sistem içersindeki ısı eksikliği, sıcak servis akımından veya daha yüksek bir sıcaklık aralığındaki enerjiden karşılanabilir. Fazla ısı aralıktan aralığa, sıcaklık skalası boyunca aşağı, kademeli olarak verilir (Şekil 2.7).

Kaydırılmış Sıcaklık Değerleri	Kaydırılmış Akım Topluluğu	ΔT_i	$\Sigma CP_c - \Sigma CP_h$	ΔH_i
$T_{hi2} - (\Delta T_{min}/2)$	HS2	$T_{hi2} - T_{ce1} - \Delta T_{min}$	$-CP_{h2}$	ΔH_1
$T_{ce1} + (\Delta T_{min}/2)$		$T_{ce1} - T_{hi1} + \Delta T_{min}$	$CP_{c1} - CP_{h2}$	ΔH_2
$T_{hi1} - (\Delta T_{min}/2)$	HS1	$T_{hi1} - T_{ce2} - \Delta T_{min}$	$CP_{c1} - CP_{h2} - CP_{h1}$	ΔH_3
$T_{ce2} + (\Delta T_{min}/2)$		$T_{ce2} - T_{ci1}$	$CP_{c1} + CP_{h2} - CP_{h1} - CP_{h2}$	ΔH_4
$T_{ci1} + (\Delta T_{min}/2)$	CS1	$T_{ci1} - T_{he1} + \Delta T_{min}$	$CP_{c2} - CP_{h1} - CP_{h2}$	ΔH_5
$T_{he1} - (\Delta T_{min}/2)$		$T_{he1} - T_{he2}$	$CP_{c2} - CP_{h2}$	ΔH_6
$T_{he2} - (\Delta T_{min}/2)$		$T_{he2} - T_{ci2} - \Delta T_{min}$	CP_{c2}	ΔH_7
$T_{ci2} + (\Delta T_{min}/2)$	CS2			

Şekil 2.7. Kaydırılmış Sıcaklık Aralıklarında Isı Denkliği

4) En yüksek sıcaklık değeri ile başlanarak her bir aralıkta aktarılan toplam net ısı hesaplandıktan sonra, her bir kaydırılmış sıcaklık değeri için, net ısı aktarımı hesaplanır (Şekil 2.8). Negatif ise, bir sonraki düşük (i+1) aralığına olası enerji aktarımını gösterir. Kademeyi sağlamak amacıyla, darboğazda ısı akışlarını sıfır yapmak gerekir. Bu nedenle prosese, sıcak bir servis akımından yeterli miktarda ısı eklenmelidir. Sıcak bir servis akımından alınması gereken en az ısı miktarı, en geniş negatif ısı akışıdır. Buna

göre, kademeli diyagramda en geniş negatif ısı akışı miktarı, minimum sıcak servis akımı miktarını verir.



Şekil 2.8. Kademeli Diyagram

Şekil 2.8'deki kademeli diyagramdan, $Q_{h,min} = -H_4$ ve $Q_{c,min} = H_7^*$ olduğu görülür. Isı akışının sıfır olduğu nokta darboğaz noktasıdır. Burada, darboğaz sıcaklığı

$T_d = T_{cil} + (\Delta T_{min}/2)$ 'dir. Sıcak akımlar için darboğaz sıcaklığı, $T_{h,d} = T_d + \Delta T_{min}/2 = T_{cil} + \Delta T_{min}$; Soğuk akımlar için ise darboğaz sıcaklığı, $T_{c,d} = T_d - \Delta T_{min}/2 = T_{cil}$ 'dir. Bu sonuçlar, bileşik eğrilerden elde edilen sonuçlara uygundur. Bu durum, Bölüm 3'te sayısal örneklerle açıkça görülmektedir.

2.2. DARBOĞAZIN ANLAMAMI

Darboğaz noktasının bulunması, problemin karmaşıklığını giderir ve mühendise, kendi kararlarını verme yetisi verir. Bu özellik, endüstriyel uygulamaların emniyetli, kontrol edilebilen iyi düzenlenmiş tasarımlar vermesini temin eder. Kabul edilmiş ilkeler şöyledir (5):

- Enerji hedefleri tasarımdan önce belirlenir.
- Proses darboğaz üstünde ve altında ayrılarak, minimum enerji ağlarının tasarımı yapılır.
- Kontrol sağlanır.

Darboğaz, problemi biri sıcak biri soğuk olmak üzere, iki ayrı bölgeye ayırır. Sıcak uç, darboğaz sıcaklığından daha sıcak olan akımları veya akım kısımlarını kapsar. Bu bölgede sadece servis akımı ısıtmasına ve proses ısı değişimine ihtiyaç duyulur, servis akımı soğutmasına ihtiyaç duyulmaz. Soğuk uç, darboğaz sıcaklığından daha soğuk olan akımları veya akım kısımlarını kapsar. Bu bölgede sadece servis akımı soğutması ve proses ısı değişimine ihtiyaç duyulur, servis akımı ısıtmasına ihtiyaç duyulmaz. Darboğazdan geçen ısı aktarımı yoktur. Her iki servis akımı ihtiyaçları, ulaşılabilir minimum değerdedir.

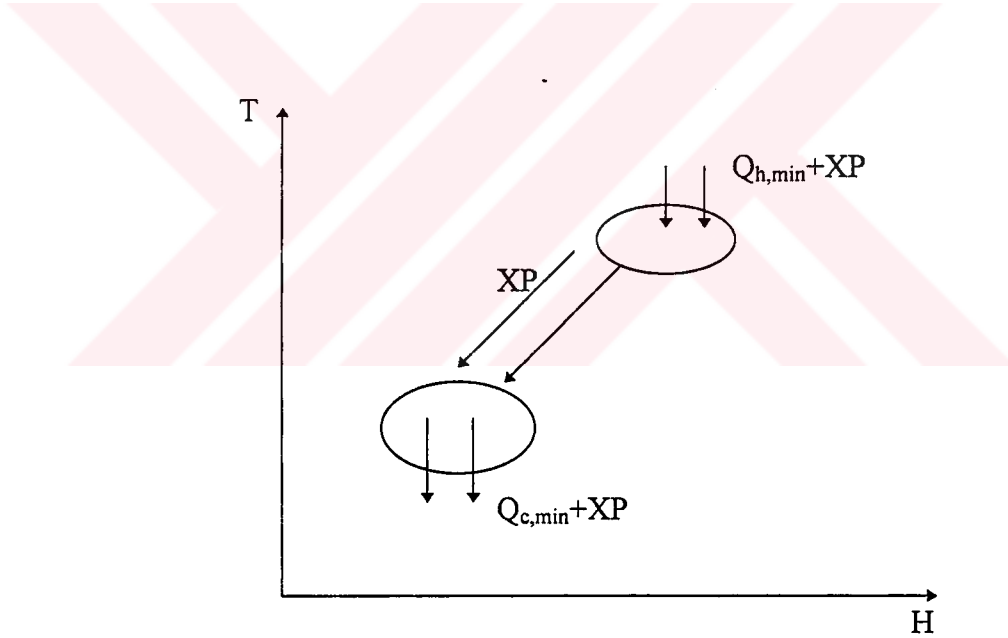
Proses, darboğazın üstünde, minimum sıcak servis akımıyla ısıl dengededir, $Q_{h,min}$. Sıcak servis akımından ısı alınmakta ve herhangi bir ısı verilmesi söz konusu değildir; dolayısıyla, proses bir ısı kuyusu gibi hareket eder (Şekil 2.9). Proses, darboğazın altında, minimum soğuk servis akımıyla ısıl dengededir, $Q_{c,min}$. Soğuk servis akımına ısı verilmektedir. Yani proses, bir ısı kaynağı gibi hareket eder (Şekil 2.9) (13).

anlatmaktadır. Darboğazın üstündeki sistemden, alt sisteme ısı aktarımı "XP" olarak ifade edilirse, darboğaz denklemi şöyle yazılabilir:

$$A = T + XP \quad (2.5)$$

(Gerçek Enerji Tüketimi) (Hedef) (Darboğazdan Isı Akışı)

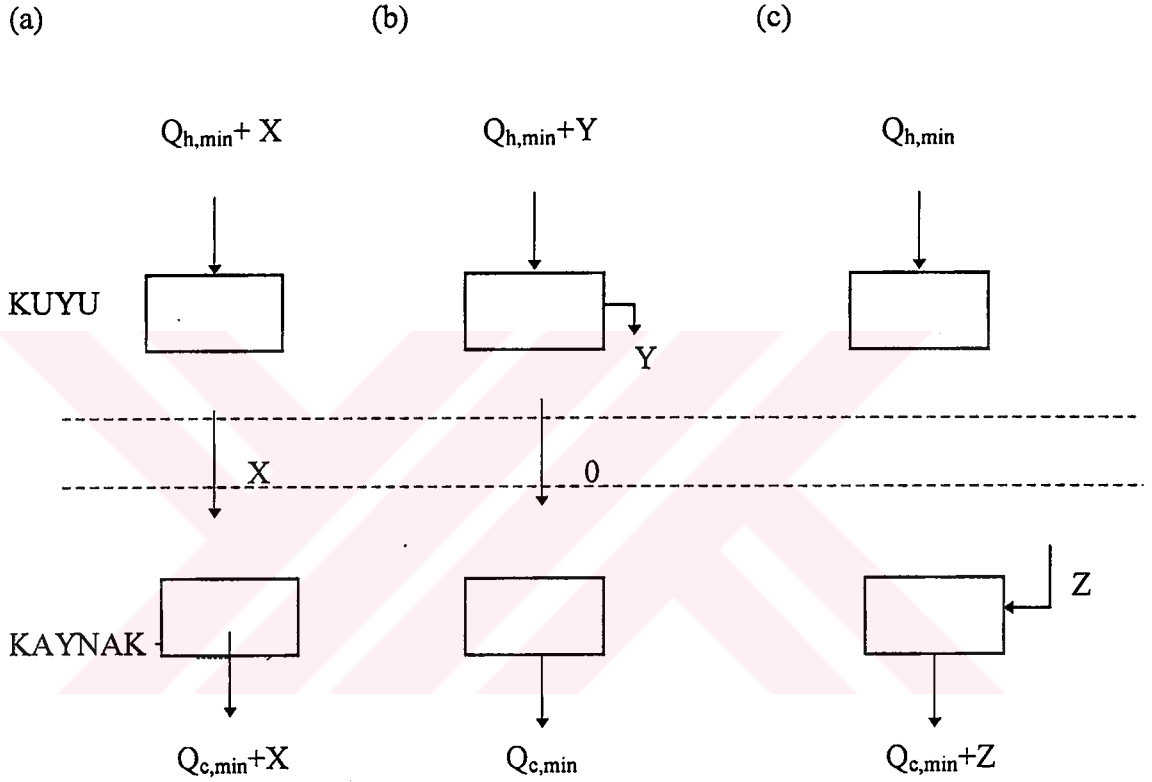
Eğer $XP=0$ ise, gerçek ısı ihtiyacı hedefe eşit olur. Darboğaz prensibine göre, sadece darboğazdan ısı aktarımı minimum yapılarak, karmaşık tasarımlarda ısı geri kazanımı seviyesinin optimumda tutulması sağlanır (3). Başka bir ifadeyle, bileşik eğrilerle belirlenmiş enerji hedefine ulaşmak için, tasarımcı hiç bir şekilde, darboğazdan geçen bir ısı aktarımı gerçekleştirmemelidir (Şekil 2.11) (13).



Şekil 2.11. Darboğazda Prosesten Proseşe Isı Aktarımı

Darboğazdan geçecek şekilde aktarılan ısı (Şekil 2.12.a), kuyu etrafındaki entalpi denklığı dolayısıyla, sıcak servis akımından minimum ihtiyaçlara ek olarak sağlanmalıdır. Kaynak etrafında yapılan entalpi denklığı temelinde, darboğazdan geçerek aktarılan ısı, sıcak servis akımının minimum değerini artırır (Şekil 2.12a). Aynı

düşünce ile, darboğaz üstünde (kuyuda) servis akımı soğutması ve darboğaz altında (kaynakta) servis akımı ısıtması etkileri saptanabilir (Şekil 2.12b ve c). Kuyudan Y kadar ısının uzaklaştırılması servis akımının yükünü Y kadar artırır (Şekil 2.12b). Kaynağa Z kadar ısının verilmesi benzer bir etki gösterir (Şekil 2.12c). Böylece, minimum servis akımı kullanımı için, darboğazın üstünde servis akımı soğutmasına, darboğaz altında ise servis akımı ısıtmasına izin verilmez.



Şekil 2.12. (a) Darboğazdan Geçen Isı Aktarımı

(b) Kuyuda Soğutma

(c) Kaynakta Isıtma

Karmaşık ağlarda, ısı değiştiriciler, servis akımı ısıtıcıları ve soğutucuları darboğazı kesecek şekilde yerleştirilebilir. Bunun sonucunda da, daha fazla sıcak ve soğuk servis akımı ihtiyacı olur. Darboğaz analizi ile, hatalı olan, yani darboğazdan

geçen ve minimum servis akımı tasarımını engelleyen servis akımı ve ısı değiştiricileri saptanabilir (5).

Darboğazdan ısı aktarımına izin vermeyen bir tasarım, maksimum enerji geri kazanımı (MER) sağlar. Belli bir ΔT_{\min} değeri için bu durum, servis akımı yükleri minimize edilerek, sıcak akımların maksimum enerjisinin soğuk akımlara aktarılmasını dolayısıyla, geri kazanılmasını beraberinde getirir. Böylece, bir ısı değiştirici ağının termodinamik optimizasyonu için, aşağıdaki kurallara uyulmalıdır (9,12):

- Darboğazdan ısı aktarılmaz.
- Darboğazın üstünde soğuk servis akımı kullanılmaz.
- Darboğazın altında sıcak servis akımı kullanılmaz.

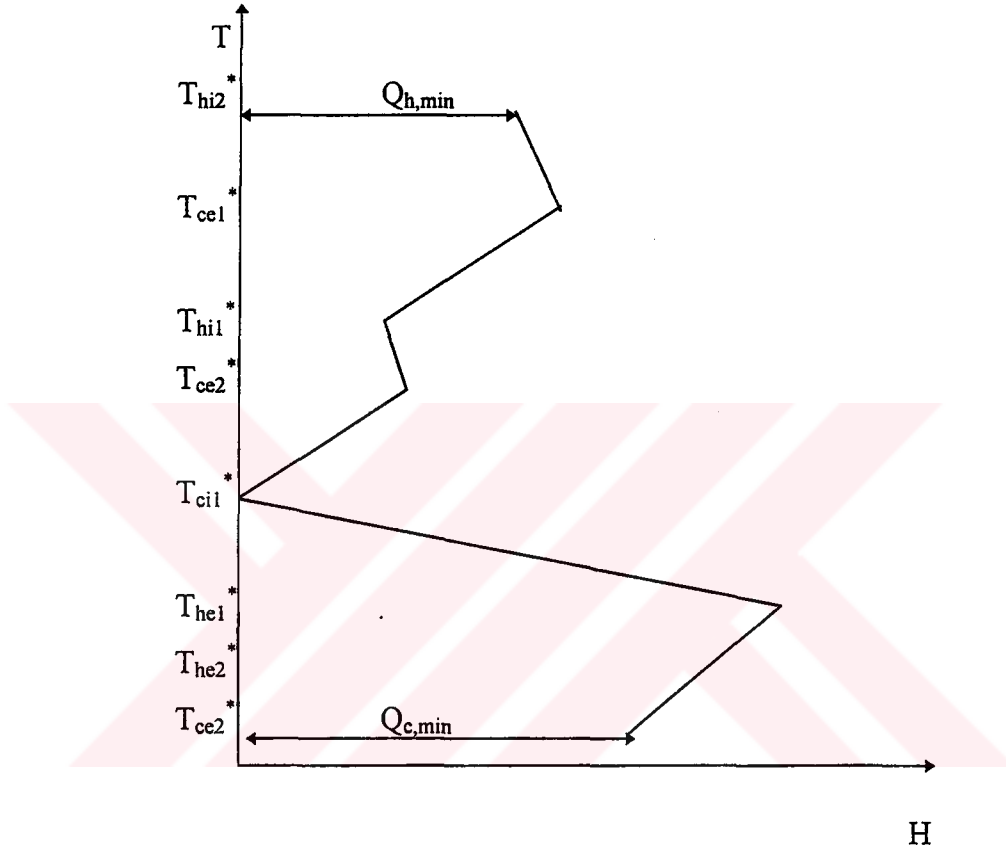
2.3. BÜYÜK BİLEŞİK EğRİ

Isı değiştirici ağında ısı geri kazanımı maksimize edildikten sonra, ısı geri kazanımı ile sağlanamayan ısıtma ve soğutma yükleri, dış servis akımları tarafından sağlanır. Bu amaçla kullanılacak servis akımları çeşitlidir. En çok kullanılan sıcak servis akımı buhardır. Çeşitli seviyelerde elde edilebilir. Yüksek sıcaklıkta ısıtma yükleri, fırın baca gazı veya sıcak yağ dolaşımından elde edilebilir. Soğuk servis akımları, dondurma, soğutma suyu veya hava soğutmasından sağlanabilir (7).

Bir başka darboğaz teknolojisi aracı olan büyük bileşik eğri, enerji geri kazanımı miktarını ve sıcak ve soğuk servis akımı yüklerini gösterir. Dolayısıyla, büyük bileşik eğri, tasarımcıya, her bir sıcaklık için toplam enerji eksikliği veya fazlalığını gösterir (9); ayrıca, en uygun servis akımını veya servis akımı karışımını seğmesine yardım eder (14).

Büyük bileşik eğri, hesaplanan ısı aktarımı değerleri kullanılarak oluşturulur ve Şekil 2.8'de her sıcaklık değerine karşılık ΔT_{\min} 'a göre yerleştirilmiş entalpi profilini gösterir (Şekil 2.13). Büyük bileşik eğri çizimi için, bileşik eğriler dikey olarak bir araya getirilir ve sonra aralarındaki yatay uzaklık okunur (14). Darboğazda net ısı akışı sıfır olduğuna göre, büyük bileşik eğrinin sıcaklık eksenine temas ettiği nokta "darboğaz" noktasıdır (15). Büyük bileşik eğri ile sıcaklık ekseni arasında kalan üst kısımdaki yatay uzaklık minimum ısıtma ihtiyacını ($Q_{h,\min}$), alt kısmındaki yatay uzaklık ise minimum

soğutma ihtiyacını ($Q_{c,min}$) gösterir (1). Cep olarak görünen taralı bölgeler, prosesten prose ısı aktarımı alanlarını gösterir.



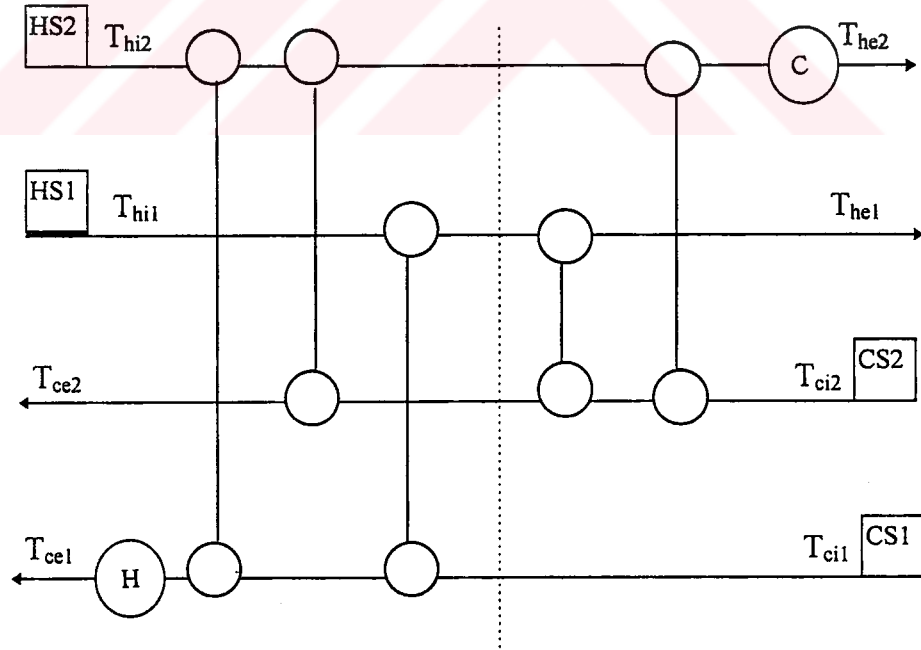
Şekil 2.13. Büyük Bileşik Eğri

2.4. AĞ DİYAGRAM

Ağ diyagram, akım verilerinin ve darboğazın birlikte gösterilebildiği bir diyagram şeklidir (5). Bu gösterimin sağladığı avantaj, akım sistemi yeniden çizilmeksizin ısı aktarım eşlenmelerinin, darboğazın, ısıtıcıların ve soğutucuların bir arada görülebilmesidir (14). Ayrıca, ağ diyagram, ısı değiştiricinin ters akışlı özelliğini gösterir ve sıcaklık olabilirliği kolayca kontrol edilebilir. Ağ diyagramda darboğaz kolayca gösterilir, halbuki akış şeması üzerinde gösterilmez.

Diyagramda (Şekil 2.14), sıcak akımlar üstte toplanır ve soldan sağa besleme sıcaklığından hedef sıcaklığına yatay çizgilerle gösterilir. Soğuk akımlar, altta ters tarafa doğru çizilir. Diyagramda darboğaz ayrılması akım verilerine uygun sıcaklıkta yani, sıcak akımlar $T_d + \Delta T_{\min}/2$ ve soğuk akımlar ise $T_d - \Delta T_{\min}/2$ 'de gösterilir.

Proses ısı değiştiricileri, eşlenmiş akımlar üzerinde çizilen daireler ve onları birleştiren dikey çizgiler ile gösterilir. Isıtıcılar (H) soğuk akımlar, soğutucular (C) ise sıcak akımlar üzerindeki dairelerle gösterilir (Şekil 2.14) (5).



Şekil 2.14. Ağ Diyagram

2.5. DARBOĞAZ TASARIM YÖNTEMİ

Darboğaz, bir tasarımın en çok kısıtlanmış bölgesini oluşturur. Darboğazda, sıcak ve soğuk akımların toplamları arasında ΔT_{\min} vardır. Sonuç olarak, bu bölgedeki eşlenmelerin sayısı çok kısıtlıdır. Burada, çok önemli bir eşlenme bulunur. Bu eşlenme yapılmazsa, darboğazdan ısı aktarımı olur ve böylece, sıcak ve soğuk servis akımı kullanımını artır.

Darboğaz tasarım yöntemi ile,

-darboğaz bölünmesi tanınır,

-tasarıma darboğazda başlanır ve tasarım iki ayrı problem haline getirilir.

Bu yaklaşım, tasarıma sıcak bölgeden başlama ve onu soğuk bölgeye doğru geliştirme şeklindeki normal yaklaşımdan tamamen farklıdır. Tasarım sıcak bölgede başlatıldığı zaman, ilk tasarım kararları, daha sonra darboğazı ihlal eden kararlar gerektirebilir. Diğer taraftan, bir tasarım darboğazda başlatıldığı zaman, ilk tasarım kararları problemin en kısıtlı bölümünde yapılmış olur ve sonra zorluklara sebep olması pek olası değildir. Böylece, bir tasarımı en fazla kısıtlı bölgesinde başlatma, tasarımcıya gerekli eşlendirme veya topoloji seçeneklerini saptamaya olanak sağlar. Diğer bir avantaj, tasarımcı, gerekli olduğunda, sonuçları bilerek darboğazı ihlal eden bir tasarım yaparsa, darboğazdan geçen ısı akışını hızla kurabilir. Ayrıca, tasarımcının amacı, sadece maliyet bakımından en uygun tasarımı tespit etmek değil, aynı zamanda güvenli ve kontrol edilebilir olanı saptamaktır da.

Özetle, darboğaz tasarım yöntemi iki temel önemli özelliği birleştirir. Birincisi, darboğazın sıcaklık bakımından en fazla kısıtlanmış bölge olduğunu kabul eder, buna bağlı olarak tasarıma darboğazda başlanır. İkincisi, tasarımcıya seçenekler arasında seçim yapmasına olanak sağlar.

2.5.1. Darboğazda Olurluk Kriterleri

Darboğazdaki önemli eşlenmelerin, tasarım seçeneklerinin ve akımları bölme ihtiyacının saptanması, akım verilerine darboğazda üç olurluk kriterinin uygulanması ile yapılır. Bu olurluk kriterlerine "darboğaz eşlenmeleri " denir.

2.5.1.1. Darboğazda başlama

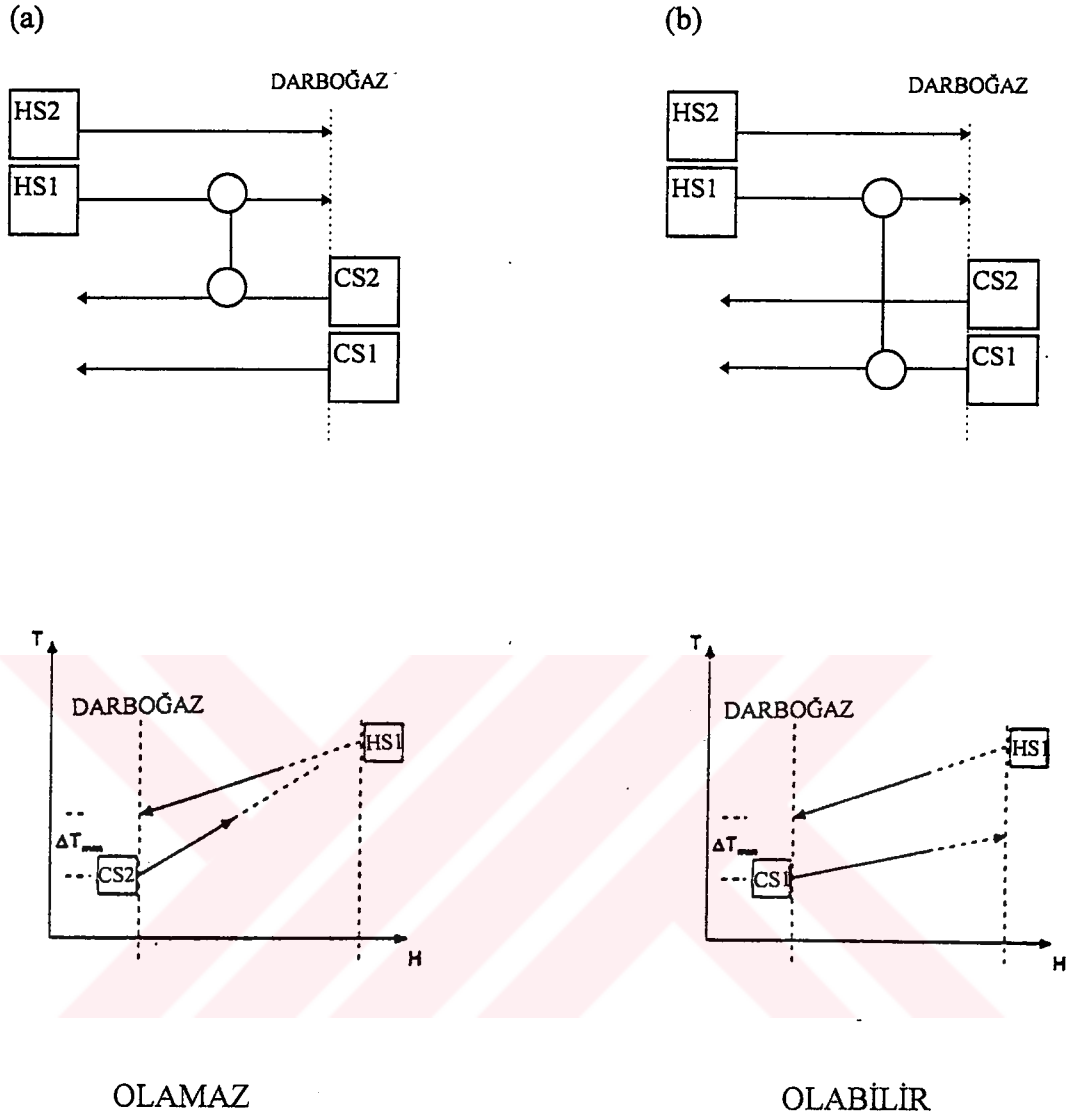
Darboğaz problemin en kısıtlı bölgesidir. Darboğazda, tüm sıcak ve soğuk akımlar arasında ΔT_{\min} var. Sonuç olarak, bu bölgedeki olabilir eşlenmelerin sayısı çok sınırlıdır. Çok önemli eşlenmeler yapılmalıdır. Bu eşlenmeler yapılmaz ise sonuç, ΔT_{\min} 'dan daha küçük sıcaklık farklarının kullanımı veya darboğazdan ısı aktarımının sonucu olarak bir servis akımının aşırı kullanımı olur. Ortalama olarak, ısı değiştiricilerin bileşik eğriler arasında ΔT_{\min} 'dan daha az bir sıcaklık farkı olmamalıdır. Başlangıç için, ısı değiştiricilerdeki ΔT_{\min} , ΔT 'dan küçük olması kabul edilebilir. Tasarım darboğazdan uzakta başlatılmışsa (problemin sıcak veya soğuk ucunda) darboğaza yaklaştıkça, ilk eşlenmeleri ΔT_{\min} kriterini veya darboğazı ihlal eden yeni eşlenmeler takip eder. Tasarım darboğazda başlatılırsa, ilk kararlar problemin en kısıtlı bölümünde yapılmış olur.

2.5.1.2. Bireysel eşlenmeler için C_p eşitsizliği

Darboğazın üstündeki sıcaklık profilinde, darboğazdan uzaklaştıkça sıcaklık farkları artmalıdır. Şekil 2.15a'da sıcak bir akım ile sıcak akımından daha küçük bir CP 'ye sahip olan soğuk bir akım arasındaki eşlenme gösterilir. Darboğazda eşlenme, ΔT_{\min} 'a eşit bir sıcaklık farkıyla başlar. İki akımın sıcaklık entalpi profillerinin bağıl eğimleri, darboğazdan uzaklaştıkça sıcaklık farklarının küçüldüğünü gösterir. Dolayısıyla, bu tip bir eşlenme uygun değildir. Şekil 2.15b'de aynı sıcak akımla ama daha büyük bir CP 'ye sahip olan soğuk akımla eşlenmesi gösterilir. Sıcaklık entalpi profillerinin bağıl eğimleri, darboğazdan uzaklaştıkça sıcaklık farklarının daha geniş olmasına neden olur. Dolayısıyla, darboğazda ΔT_{\min} ile başlanarak darboğazdan uzaklaştıkça sıcaklık farklarının artması için darboğaz üstünde,

$$CP_h \leq CP_c \quad (2.6)$$

olmalıdır.



Şekil 2.15. Darboğaz Üstündeki Darboğaz Eşlenmeleri için Kriter

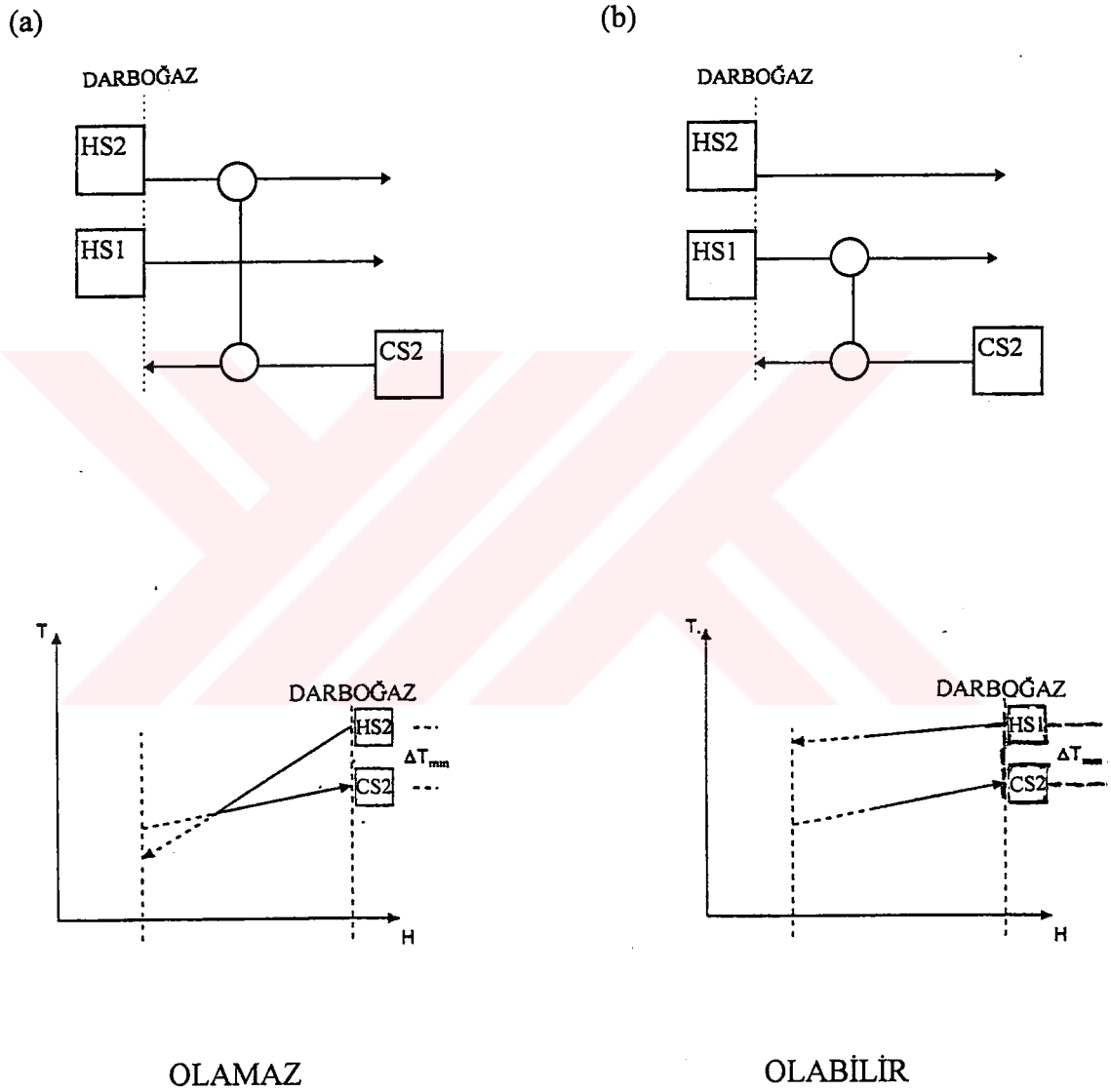
Şekil 2.16'da, darboğazda ve darboğaz altındaki durum gösterilir. Bir soğuk akım, Şekil 2.16a'da gösterildiği gibi daha küçük CP'li bir sıcak akımla eşlendirilirse sıcaklık farkları küçülür. Aynı soğuk akım, Şekil 2.16b'de gösterildiği gibi, daha yüksek CP'li bir sıcak akımla eşlendirildiğinde sıcaklık farkları büyür olur. Böylece, darboğazda ΔT_{min} ile başlanarak darboğazdan uzaklaştıkça ΔT değerlerinin artması için, darboğazın altında,

$$CP_h \geq CP_c$$

(2.7)

olmalıdır.

Sadece darboğazda, (2.6) ve (2.7) eşitsizlikleri tarafından verilen CP eşitsizlikleri eşlemenin her iki ucu darboğaz şartlarında olduğunda uygulanır.



Şekil 2.16. Darboğaz Altındaki Darboğaz Eşlenmeleri için Kriter

2.5.1.3. CP çizelgesi:

Darboğaz bölgesindeki önemli eşlenmeler bir CP çizelgesi kullanılarak açıklanabilir. Bu CP çizelgesinde, darboğazdaki sıcak ve soğuk akımların CP değerleri sıralanır.

Darboğaz üstünde, soğuk servis akımı kullanılmamalıdır. Sıcak akımlar, darboğaz sıcaklığına ısı geri kazanım ile soğutulmalıdır. Gerekirse, sıcak servis akımı darboğaz üstündeki soğuk akımlarda kullanılır. Böylece, darboğaz üstündeki soğuk akımları sıcak bir akımla eşlendirmek önemlidir. Sıcak akım darboğaz şartlarındaysa, eşlendirilecek soğuk akımın da darboğaz şartlarında olması gerekir, aksi halde ΔT_{\min} sınırlaması ihlal edilir.

Benzer olarak, darboğaz altında, sıcak servis akımı kullanılmamalıdır. Soğuk akımlar darboğaz sıcaklığına ısı geri kazanımı ile ısıtılmalıdır. Gerekirse, soğuk servis akımı darboğaz altındaki sıcak akımlarda kullanılır. Soğuk akım darboğaz şartlarındaysa, eşlendirilecek sıcak akımın da darboğaz şartlarında olması gerekir, aksi halde ΔT_{\min} ihlali olur.

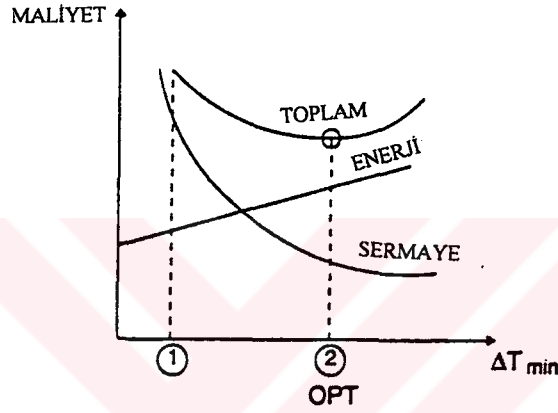
2.5.2. Tasarım Yöntemi Özeti

Darboğaz tasarım yöntemi beş önemli kademe içerir:

- HEN problemi, darboğazda iki ayrı probleme bölünür.
- Bu ayrı problemler için, tasarım, darboğazda başlar ve darboğazdan uzaklaşarak geliştirilir. Darboğazda başlıca eşlenmeler, eşlenme seçenekleri ve akım bölme ihtiyaçları, olurluk kriterleri uygulanarak tanımlanır.
- Darboğazda seçenekler varolduğunda, mühendis, proses ihtiyaçlarına uygun olanı seçebilir.
- Darboğazda ısı değiştiricilerin ısı yükleri, akım işaretleme kuralı kullanılarak saptanır. Zorluk durumunda, darboğazda farklı bir ısı değiştirici topolojisi seçilebilir veya cansıkıcı eşlenmedeki yük azaltılır.
- Darboğazdan uzakta, genellikle "serbest eşlenme seçimi" vardır. Yöntem, belli eşlenmeler üzerinde ısrar etmez, kendi düşünce hükümlerine dayanan ve proses bilgisi temelinde eşlenmeler arasında ayırım yapmak için tasarımcıya izin verir (5).

2.6. ΔT_{min} 'UN ÖNEMİ:

Proseste kullanılan servis akımı miktarları ile ΔT_{min} arasında bir ilişki vardır. Sermaye maliyeti ile enerji maliyeti ilişkisinden ΔT_{min} 'un ekonomik değeri bulunabilir (Şekil 2.17). Pratikte yapılan çalışmalarda, genelde ΔT_{min} 'un optimum değeri 10 olarak belirlenmiştir (16).



Şekil 2.17. ΔT_{min} 'un Saptanması

Şekil 2.17'de gösterilen genel şekilde, ΔT_{min} 'a karşı yıllık sermaye maliyeti ve yıllık enerji maliyeti çizilir. ΔT_{min} ile karakterize edilen itici kuvvetlerin artışı ile, sermaye maliyeti düşer ve enerji maliyeti artar. Toplam maliyet bu nedenle, bir minimumdan geçer. Bu minimumu saptamak için doğrudan bir yol yoktur ama, yaklaşık değerini bulmak için yöntem vardır.

Birinci yöntem, maksimum enerji geri kazanımı gösteren tüm ağlar aynı yüzey alanı ihtiyaçları gösterirler ve bu alan bileşik eğriden hesaplanan "toplam minimum alana" yaklaşık olarak eşittir fikrine dayanır. Bu alan, tüm problem için bir ortalama ısı aktarım katsayısı kabul edilerek kestirilir. Bileşik eğriler, basit karşıt akışlı kısımlara ayrılır ve her birine genel ısı aktarım eşitliği ($Q=U.A.\Delta T_{im}$) uygulanarak, her bir bölüm

için toplam alan bulunur. Bu yolla hesaplanan alanların toplamı, toplam minimum alanı oluşturur. Bu alan gerekli birim sayısına göre değerlendirilerek yaklaşık bir toplam ağ maliyeti elde edilebilir. Bundan sonra, sermaye maliyeti ile servis akımı maliyeti arasındaki ilişkiye geçilir (17).

Darboğazda, ΔT_{\min} 'daki değişikliklerin sermaye maliyetine etkisi, problemin başka yerinde olduğundan daha fazladır. Böylece, ΔT_{\min} 10°C 'dan 20°C 'a çıkartılırsa, darboğazdaki itici kuvvetteki değişim %100 dür. Ancak, darboğazdan uzakta, itici kuvvetler 100°C olduğunda, ΔT_{\min} 'daki 10°C 'lik artışın itici kuvvetteki etkisi sadece %10'luk bir artıştır. Bu, optimum ΔT_{\min} 'u bulmak için hızlı bir yöntem akla getirir. Bu ikinci yöntemde, darboğaz tasarım yöntemi ile bulunan tasarım incelenir ve ΔT_{\min} 'daki değişimlerin sadece darboğaz tasarımının maliyetini etkilediği kabul edilerek, tüm ağ düşünülmeden, sermaye maliyeti servis akımları maliyeti ilişkisi kurulur.

2.7. MİNİMUM SERVİS AKIMI TASARIMINI BASİTLEŞTİRMEK

Birimlerin sayısındaki kontrollü bir azaltma ile minimum servis akımı tasarımlarını basitleştirmek, genelde bir amaç olur. Darboğazdan ısı aktarılarak ve dolayısıyla servis akımı kullanımı artırılarak, birim sayısı azaltılabilir. Birim sayısı (sermaye maliyeti) ile servis akımı kullanımı (enerji maliyeti) arasında bir ilişki vardır.

Birim sayısındaki kontrollü azaltma amacına ulaşmak için, ısı yükü döngüleri ve ısı yükü yolları kavramlarını anlamak önemlidir.

2.7.1. Isı Yükü Döngüleri

Bir tasarım, darboğaza önem vermeyerek problemin tümü için hedef minimum sayıdan daha fazla sayıda birim verirse, bu durum, ısı yükü döngülerinin varlığı yüzünden ortaya çıkar.

Her döngünün önemli bir özelliği, ısı yükünün bir birimden diğerine döngü etrafında kaydırılabilmesidir. Yük, bir birimden çıkarılır, döngüde bulunan bir sonrakine eklenir, sonrakinden çıkarılır ve döngü etrafında öyle devam eder. Bu yük kayması, doğru akım ısı yüklerini korur, ama ısı değiştirici yükleri değişir ve ΔT_{\min} 'un bir ihlaline

sebebi olabilir. Ancak, itici kuvvetler, ısı yükü yolları kullanılarak, eski hallerine döndürülebilir.

2.7.2. Isı Yükü Yolları

Bir yol, örneğin bir ısıtıcı, birden fazla ısı değiştirici ve bir soğutucu arasındaki ağda sürekli bir bağıdır. Yol boyunca yük kaymaları, bir döngü etrafındaki yük kaymaları ile aynı kuralları takip eder. Dolayısıyla, yük, ısıtıcıya verilir, ondan çıkarılır bir ısı değiştiriciye verilir, ondan çıkarılır bir sonrakine eklenir ve son ısı değiştiriciden çıkarılarak soğutucuya verilir. Akım entalpi dengesi sağlanır; ama ısı değiştirici yükleri ve işletme sıcaklıkları değişir. Bu son özellik, bir yolun, itici kuvvetleri eski hallerine döndürmek için kullanılabileceği anlamındadır.

Yük bir döngü etrafında kaydığına, bir birimin ısı yükünde o birim üzerindeki yüke eşit bir azalmaya neden olur; ondan sonra, ilgili birim tasarımdan uzaklaştırılır ve birimlerin sayısında birlik bir azalma olur (5).

Özetle, enerji gevşetme konusunda, minimum enerji fedakarlığı ile birim sayısını düşürmek için (17):

- bir döngü saptanır (darboğazdan geçen),
- yükler eklenerek ve çıkartılarak döngü kırılır,
- ağ sıcaklıkları yeniden hesaplanır ve ΔT_{\min} ihlalleri tanımlanır,
- gevşek bir yol bulunur ve $T=f(X)$ oluşturulur,
- ΔT_{\min} tekrar kurulur,
- diğer döngüler için işlemler tekrarlanır .

2.7.3. Akım Bölme

Sıcak ve soğuk akımlar, minimum servis akımı kullanımına uygun ısı değiştirici düzenini kabul edecek sayıda olmalıdır.

Darboğazdaki sıcak uç akımı sayısı, minimum servis akımı tasarımına, sadece her sıcak akım için bir darboğaz eşlenmesi bulunabilirse uygundur. Bunun olabilmesi için (2.8a) eşitsizliği uygulanır.

$$NH \leq NC \quad (2.8a)$$

Burada, NH = Sıcak akımların veya kolların sayısı

NC = Soğuk akımların veya kolların sayısı

Eşitsizliğin sağlanması için, akım bölünmesi gerekli olabilir.

Darboğazın altında, bunların tam tersi uygulanır. Servis akımı ısıtmasını incelemek için, her soğuk akımın proses ısı değişimiyle darboğaz sıcaklığına getirilmesi gerekir. Sonuç olarak, darboğazda her soğuk akım için bir darboğaz eşlenmesi gereklidir (2.8b eşitsizliği) (5).

$$NH \geq NC \quad (2.8b)$$

2.8. SERMAYE VE ENERJİ İLİŞKİSİ

Bir tasarımı tamamlamak için gereken minimum birim sayısı, akım verilerinden tayin edilir. Ancak, HEN problemlerinde uygun darboğaz bölünmesi yapılmalıdır ve akımlar ile birimler arasında ilişki kuran hedefleme denklemi, darboğaz üstünde ve altında ayrı uygulanmalıdır.

Bu yolla elde edilen hedef birim sayısı, darboğaz tarafından bölünmeyen tüm problem için hesaplanandan daha büyüktür. Çünkü, darboğazın her iki tarafında bazı akımlar mevcuttur. Minimum servis akımı ile uyum içinde olandan daha az birim içeren tasarımlar, darboğazda ısı aktarır veya belli ısı değiştiriciler ΔT_{\min} 'u ihlal eder. Dolayısıyla, ısı aktarım yüzey alanı, birim sayısı ve servis akımı kullanımı arasında ilişkiler vardır. Bu ilişkiler, bir minimum servis akımı tasarımına ısı yükü döngüleri ve ısı yükü yolları özellikleri uygulanarak araştırılabilir (5).

Düşük sermaye maliyetli verimli proseslerin tasarımı için, iki strateji vardır:

- Enerji Akışını Minimize Etmek: Belirli kaynak ve kuyu düzeyleri, bir tasarımın bütün itici kuvvetlerini belirler, ama gerekli enerji akışını saptamaz. Bu akışın minimize edilmesi ile, enerji kullanımını ve dolayısıyla enerji maliyetlerini minimize eder. Ancak, enerji akışı, sabit toplam itici kuvvetler de minimize edilir. Böylece, sermaye tasarrufları, enerji tasarrufları kadar iyi sonuçlanır.

- İtici Kuvvetleri Düzgün Dağıtmak: Bir proseste, kaçınılmaz itici kuvvetlerin uygun kullanımından, sermaye tasarruflarının daha ileriki amaçları ortaya çıkar. Çoğu kez bu itici kuvvetler proses üzerine düzgün ya da düzensiz şekilde dağıtılabilir. Ancak, sermaye maliyetinin verimliliğin bir fonksiyonu şeklindeki asimtotik davranışı nedeniyle düzensiz dağıtım, yüksek verimlilik noktalarında son derece yüksek sermaye maliyetine neden olur. Düzgün dağıtımın bir başka avantajı, proses kontrolü içindir. Küçük itici kuvvetlerin kontrolünü sağlamak geniş ısı aktarım yüzey alanı gerektirir.

Sonuç olarak, az enerjiyi ele alan ve mevcut itici kuvvetlerin uygun kullanımını yapan prosesler, zarif proseslerdir. Bunlar, varolan tasarımlar arasında enerji ve sermaye bakımından daha ucuz ve daha verimlidir (8).

Darboğaz tasarım yöntemi, geliştiren gurup tarafından başarıyla uygulanmıştır (3, 13, 18). Bu grup tarafından yöntemi kolaylaştırmak için, SUPER TARGET adı verilen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. SUPER TARGET, çok servis akımlı proseslerde hedeflenen enerji, sermaye ve güç için gerekli kolaylıkları sağlamaktadır (17, 19).

Bu çalışmada, Dr. F. Carl KNOPF tarafından geliştirilen THEN programı kullanılarak çözüme gidilmiştir (20).

3. UYGULAMALAR

Bu bölümde, ΔT_{\min} değerinin ısı değiştirici sayısı ve servis akımları ile alınması / verilmesi gereken ısı miktarları üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak incelenecektir.

3.1. Uygulama 1 (19)

Bu uygulamada, Tablo 3.1.1'deki akım verileri kullanılarak,

- darboğaz analizi uygulanmadan önce sistemde gerekli olan sıcak ve soğuk servis akımı yükleri ve
- darboğaz analizi uygulandıktan sonra sistemde kullanılan servis akımı yükleri hesaplanacaktır; ayrıca,
- maksimum enerji geri kazanımı sağlayan bir ağ tasarlanacaktır.

Tablo 3.1.1. Akım Verileri

Akım Nosu ve Hali	Besleme Sıcaklığı (°C)	Hedef Sıcaklığı (°C)	Isı Kapasitesi (MW/°C)
(1) Soğuk	60	180	3
(2) Sıcak	180	40	2
(3) Soğuk	30	130	2,2
(4) Sıcak	150	40	4

Bu uygulama,

$\Delta T_{\min} = 5^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 5$ olurken, $Q_{c,\min} = 185$ MW, $Q_{h,\min} = 45$ MW olmaktadır (EK 1.1).

$\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 5$ olurken, $Q_{c,\min} = 200$ MW, $Q_{h,\min} = 60$ MW olmaktadır.

$\Delta T_{\min} = 15^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, çözüme ulaşlamamaktadır (EK 1.2).

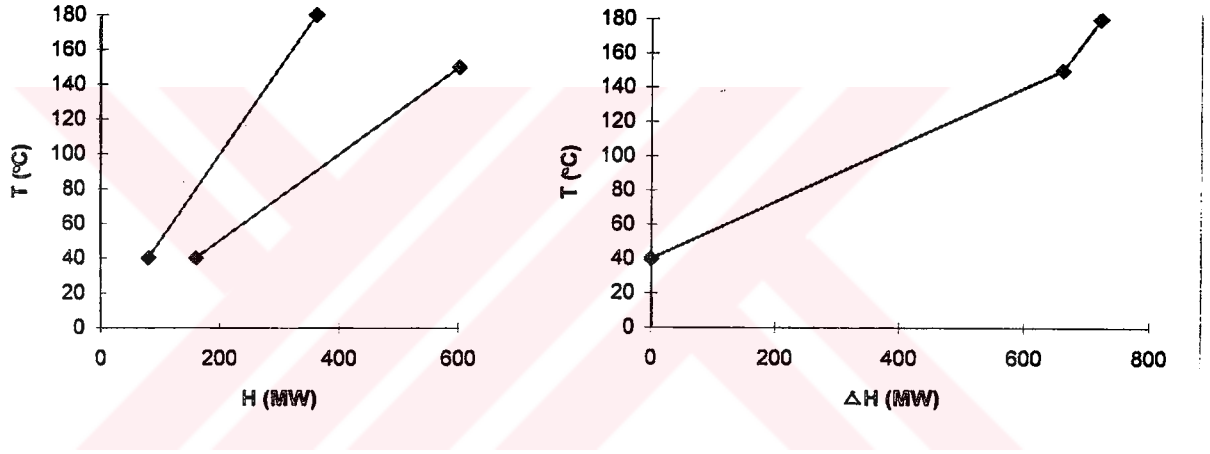
$\Delta T_{\min} = 20^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 7$ olurken, $Q_{c,\min} = 230$ MW, $Q_{h,\min} = 90$ MW olmaktadır (EK 1.3).

Hesaplamalar, $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için ayrıntılı bir şekilde aşağıda verilmektedir.

a) Tablo 3.1.1'deki veriler kullanılarak hazırlanan sıcak ve soğuk akımların eğrileri; ayrıca, Tablo 3.1.2 ve Tablo 3.1.3'deki veriler temelinde çizilen sıcak ve soğuk bileşik eğriler sırasıyla Şekil 3.1.1 ve Şekil 3.1.2'de verilmektedir.

Tablo 3.1.2. Sıcak Bileşik Eğri Verileri

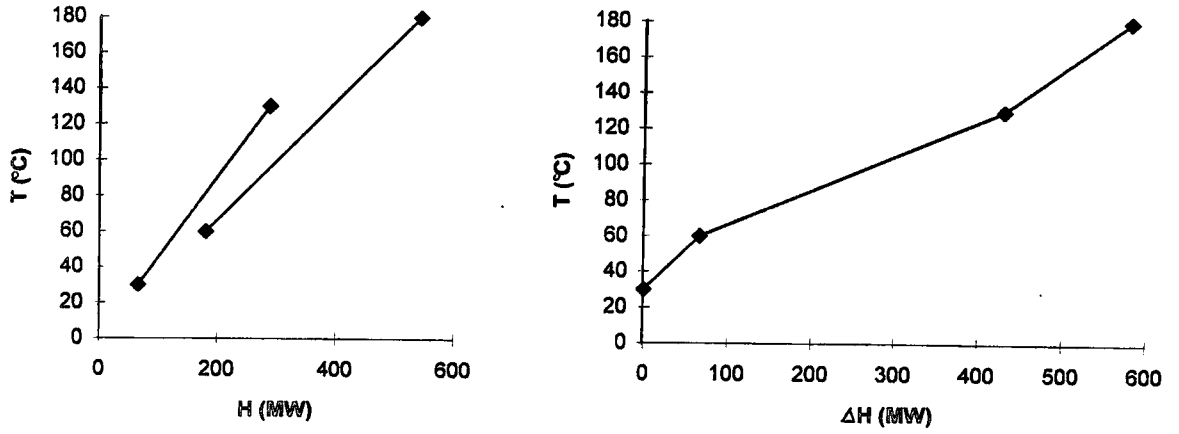
Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{c,\text{maks}}$ (MW)
(2+4) Sıcak	6	110	660
(2) Sıcak	2	30	60



Şekil 3.1.1. (a) Sıcak Akımlar, (b) Sıcak Bileşik Eğri

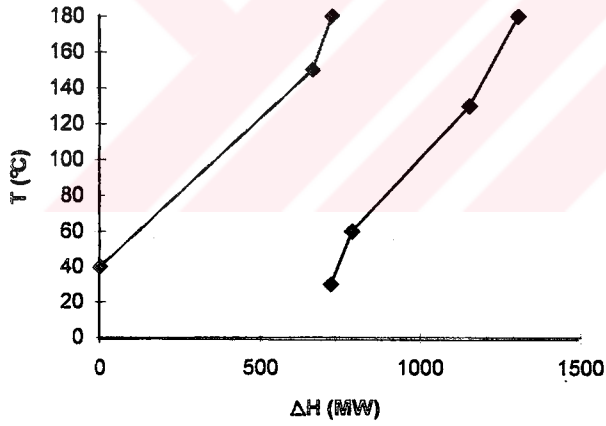
Tablo 3.1.3. Soğuk Bileşik Eğri Verileri

Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{h,\text{maks}}$ (MW)
(3) Soğuk	2,2	30	66
(1+3) Soğuk	5,2	70	364
(1) Soğuk	3	50	150



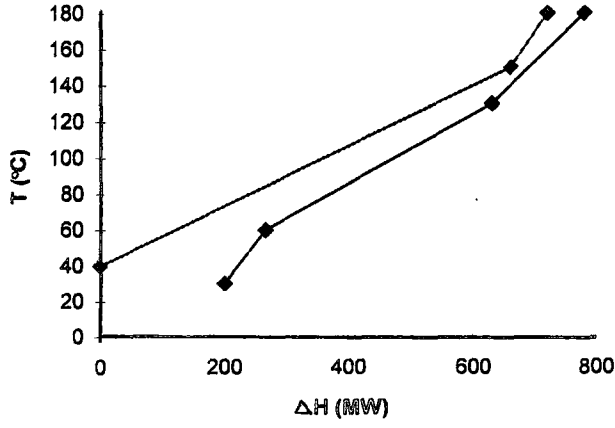
Şekil 3.1.2. (a) Soğuk Akımlar, (b) Soğuk Bileşik Eğri

Şekil 3.1.3'de gösterildiği gibi, sisteme 580 MW ısı verilmesi ($Q_{h,maks}$) ve sistemden 720 MW ısı alınması ($Q_{c,maks}$) gerekir.



Şekil 3.1.3. Bileşik Eğriler

b) Bileşik eğriler $\Delta T_{min} = 10^\circ\text{C}$ olacak şekilde birbirlerine yaklaştırılarak (Şekil 3.1.4), darboğaz sıcaklığı 145°C olarak bulunur. Bu yöntemle göre, minimum soğutma yükü 200 MW, minimum ısıtma yükü ise 60 MW olarak saptanır.



Şekil 3.1.4. Yaklaştırılmış Bileşik Eğriler

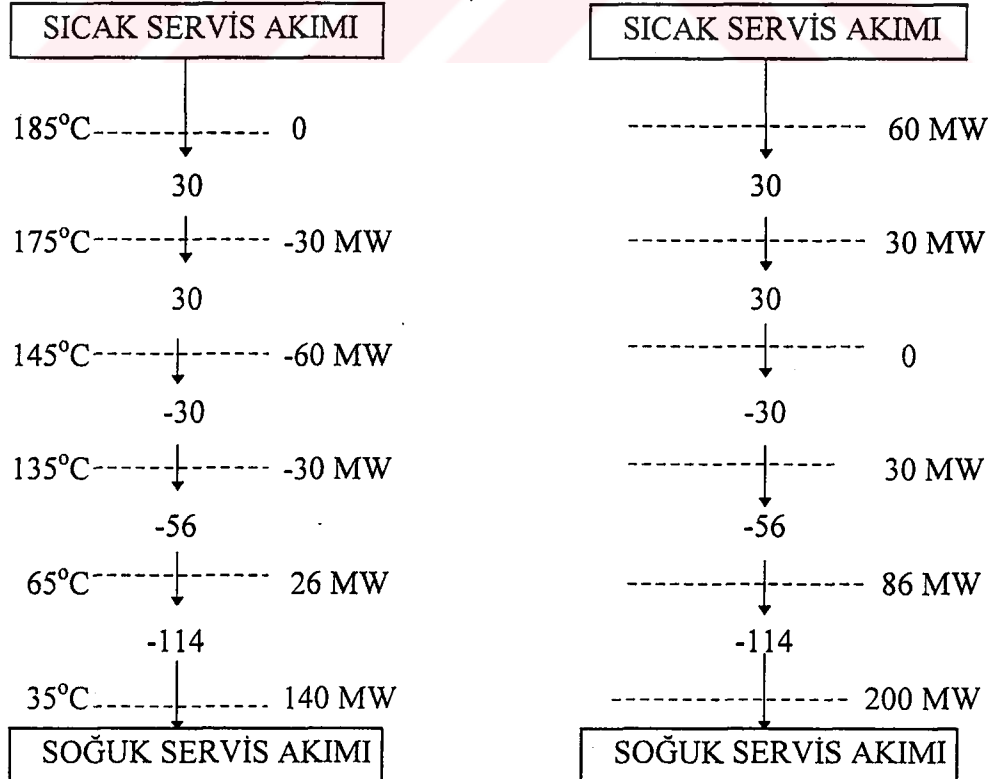
Problem çizelge algoritması uygulanırken, sıcak akımların sıcaklıkları 5°C kadar azaltılarak ve soğuk akımların sıcaklıkları 5°C kadar arttırılarak, kaydırılmış sıcaklıklar (T^*) bulunur (Tablo 3.1.4) ve her kaydırılmış sıcaklık aralığı için ısı denkliği kurulur (Şekil 3.1.5).

Tablo 3.1.4. Kaydırılmış Sıcaklıklar

Akım Nosu ve Hali	T_i^* (°C)	T_o^* (°C)
(1) Soğuk	65	185
(2) Sıcak	175	35
(3) Soğuk	35	135
(4) Sıcak	145	35

Sıcaklık Aralıkları (°C)	Akımlar	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$\Sigma C_{pe} - \Sigma C_{ph}$ (MW/°C)	$\Delta H_{\text{aralık}}$ (MW)
185°C				
175°C	2	10	3	30
145°C	4	30	1	30
135°C		10	-3	-30
65°C	1	70	-0,8	-56
35°C	3	30	-3,8	-114

Şekil 3.1.5. Sıcaklık Aralıklarında Isı Denkliği



Şekil 3.1.6 Kademeli Diyagram

Problem çizelge algoritmasına göre de $T_d = 145^\circ\text{C}$, $Q_{h,\min} = 60 \text{ MW}$ ve $Q_{c,\min} = 200 \text{ MW}$ olarak bulunmuştur.

Dolayısıyla, darboğaz analizi uygulanarak, ısıtma yükü % 89,6 , soğutma yükü ise % 72,2 azaltılmıştır.

c) Bu kısımda, darboğaz analizi için geliştirilen ve darboğazın üstünde ve altında ısı değiştiricilerin yerleştirilmesine yardımcı THEN programından yararlanılmıştır.

Aşağıda, program sonuçları tablolar ve ağ diyagramları halinde verilmektedir

Tablo 3.1.5. Darboğaz Üstündeki Isı Değiştiricinin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} ($^\circ\text{C}$)	T_{he} ($^\circ\text{C}$)	T_{ci} ($^\circ\text{C}$)	T_{ce} ($^\circ\text{C}$)
1	1	2	60	180	150	140	160

Tablo 3.1.6. Isıtıcının Verileri

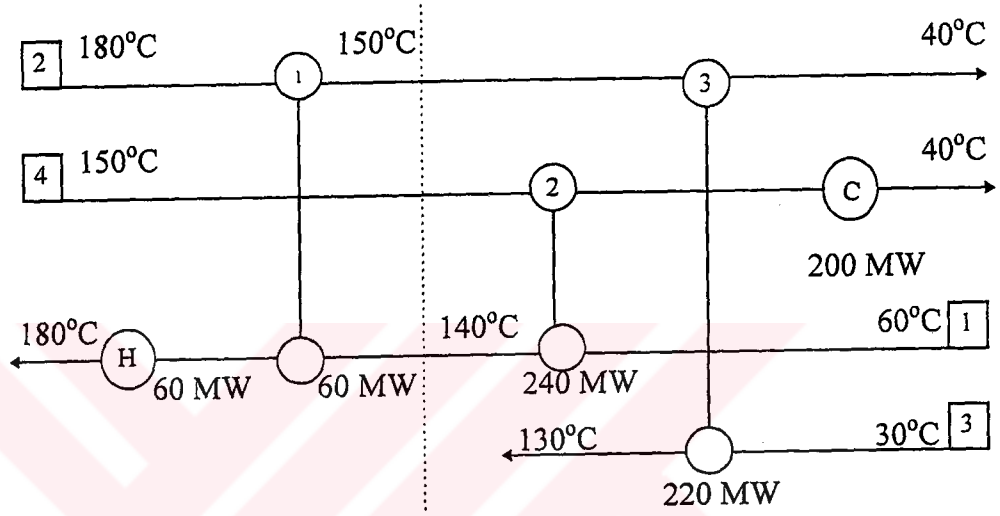
Isıtıcı	Akım No (Soğuk)	ISI (MW)	T_{ci} ($^\circ\text{C}$)	T_{ce} ($^\circ\text{C}$)	CP_c (MW/ $^\circ\text{C}$)
H	1	60	160	180	3

Tablo 3.1.7. Darboğaz Altındaki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} ($^\circ\text{C}$)	T_{he} ($^\circ\text{C}$)	T_{ci} ($^\circ\text{C}$)	T_{ce} ($^\circ\text{C}$)
2	1	4	240	150	90	60	140
3	3	2	220	150	40	30	130

Tablo 3.1.8. Soğutucunun Verileri

Soğutucu	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	CP_h (MW/°C)
C	4	200	90	40	4



Şekil 3.1.7. Ağ Diyagramı

$$N_{\min} = 4 + 2 - 1 = 5$$

$$N_{\min, \text{MER}} = 5$$

Sistemde döngü yoktur.

3.2. Uygulama 2 (19)

Bu uygulamada, Tablo 3.2.1'deki akım verileri kullanılarak,

- darboğaz analizi uygulanmadan önce sistemde gerekli olan sıcak ve soğuk servis akımı yükleri ve
- darboğaz analizi uygulandıktan sonra sistemde kullanılan servis akımı yükleri hesaplanacaktır; ayrıca,
- maksimum enerji geri kazanımı sağlayan bir ağ tasarlanacaktır.

Tablo 3.2.1. Akım Verileri

Akım Nosu ve Hali	Besleme Sıcaklığı (K)	Hedef Sıcaklığı (K)	Isı Kapasitesi (MW/K)
(1) Sıcak	320	200	1,8
(2) Sıcak	480	290	2
(3) Soğuk	240	500	1
(4) Soğuk	140	320	1,5

Bu uygulama,

$\Delta T_{\min} = 5$ K için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 91$ MW, $Q_{h,\min} = 25$ MW olmaktadır (EK 2.1).

$\Delta T_{\min} = 10$ K için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 96$ MW, $Q_{h,\min} = 30$ MW olmaktadır.

$\Delta T_{\min} = 15$ K için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 101$ MW, $Q_{h,\min} = 35$ MW olmaktadır (EK 2.2).

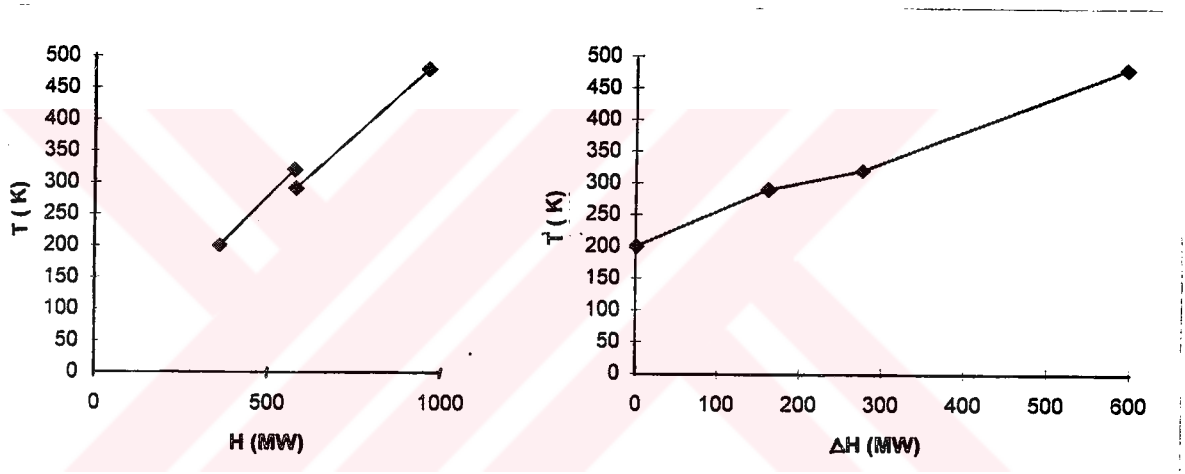
$\Delta T_{\min} = 20$ K için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 106$ MW, $Q_{h,\min} = 40$ MW olmaktadır (EK 2.3).

Hesaplamalar, $\Delta T_{\min} = 10$ K için ayrıntılı bir şekilde aşağıda verilmektedir.

- Tablo 3.2.1'deki veriler kullanılarak hazırlanan sıcak ve soğuk akımların eğrileri; ayrıca, Tablo 3.2.2 ve Tablo 3.2.3'deki veriler temelinde çizilen sıcak ve soğuk bileşik eğriler sırasıyla Şekil 3.2.1 ve Şekil 3.2.2'de verilmektedir.

Tablo 3.2.2. Sıcak Bileşik Eğri Verileri

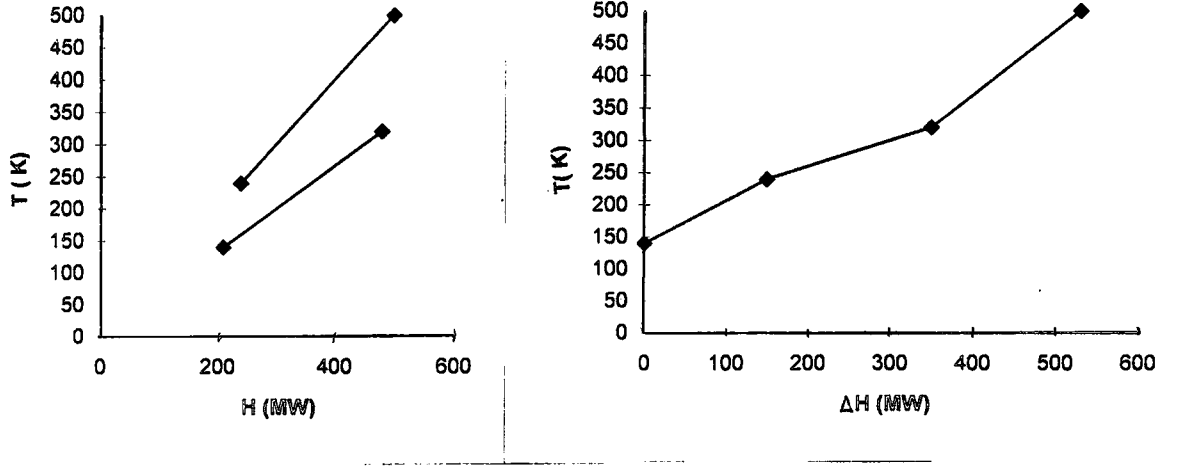
Akım Nosu ve Hali	CP (MW/K)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (K)	$Q_{c,\text{maks}}$ (MW)
(1) Sıcak	1,8	90	162
(1+2) Sıcak	3,8	30	114
(2) Sıcak	2	160	320



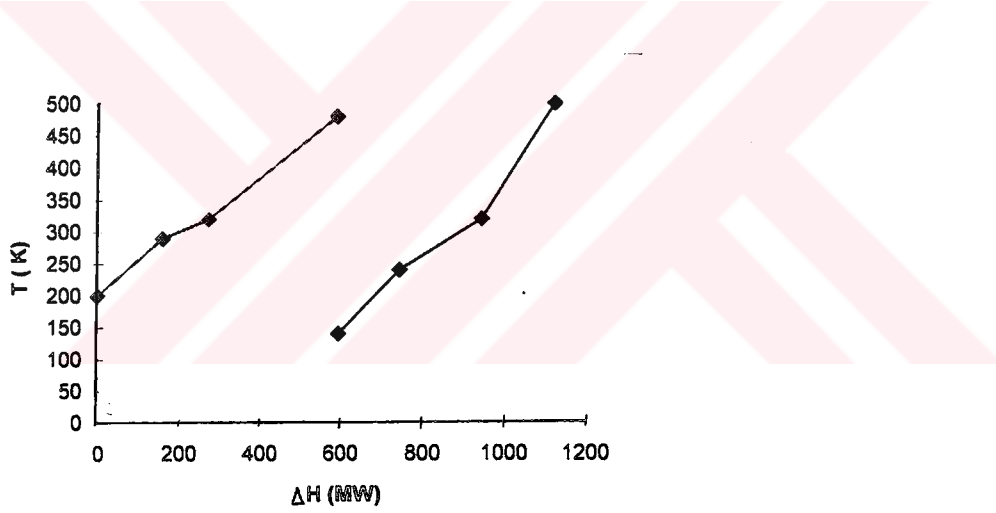
Şekil 3.2.1. (a) Sıcak Akımlar, (b) Sıcak Bileşik Eğri

Tablo 3.2.3. Soğuk Bileşik Eğri Verileri

Akım Nosu ve Hali	CP (MW/K)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (K)	$Q_{h,\text{maks}}$ (MW)
(4) Soğuk	1,5	100	150
(3+4) Soğuk	2,5	80	200
(3) Soğuk	1	180	180



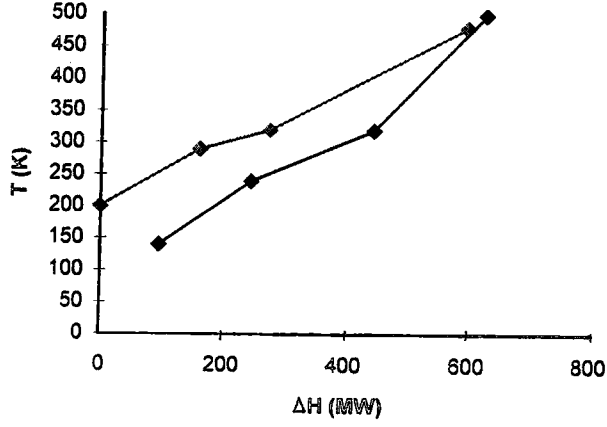
Şekil 3.2.2. (a) Soğuk Akımlar, (b) Soğuk Bileşik Eğri



Şekil 3.2.3. Bileşik Eğriler

Şekil 3.2.3'de de gösterildiği gibi, sisteme 530 MW ısı verilmesi ($Q_{h,maks}$) ve sistemden 596 MW ısı alınması ($Q_{c,maks}$) gerekir.

b) Bileşik eğriler $\Delta T_{min} = 10$ K olacak şekilde birbirlerine yaklaştırılarak (Şekil 3.2.4) darboğaz sıcaklığı 475 K olarak bulunur. Bu yöntemle göre, minimum soğutma yükü 96 MW, minimum ısıtma yükü ise 30 MW olarak saptanır.



Şekil 3.2.4. Yaklaşdırılmış Bileşik Eğriler

Problem çizelge algoritması uygulanırken, sıcak akımın sıcaklıkları 5 K kadar azaltılarak ve soğuk akımın sıcaklıkları 5 K kadar artırılarak kaydırılmış sıcaklıklar (T^*) bulunur (Tablo 3.2.4) ve her kaydırılmış sıcaklık aralığı için ısı denkliği kurulur (Şekil 3.2.5).

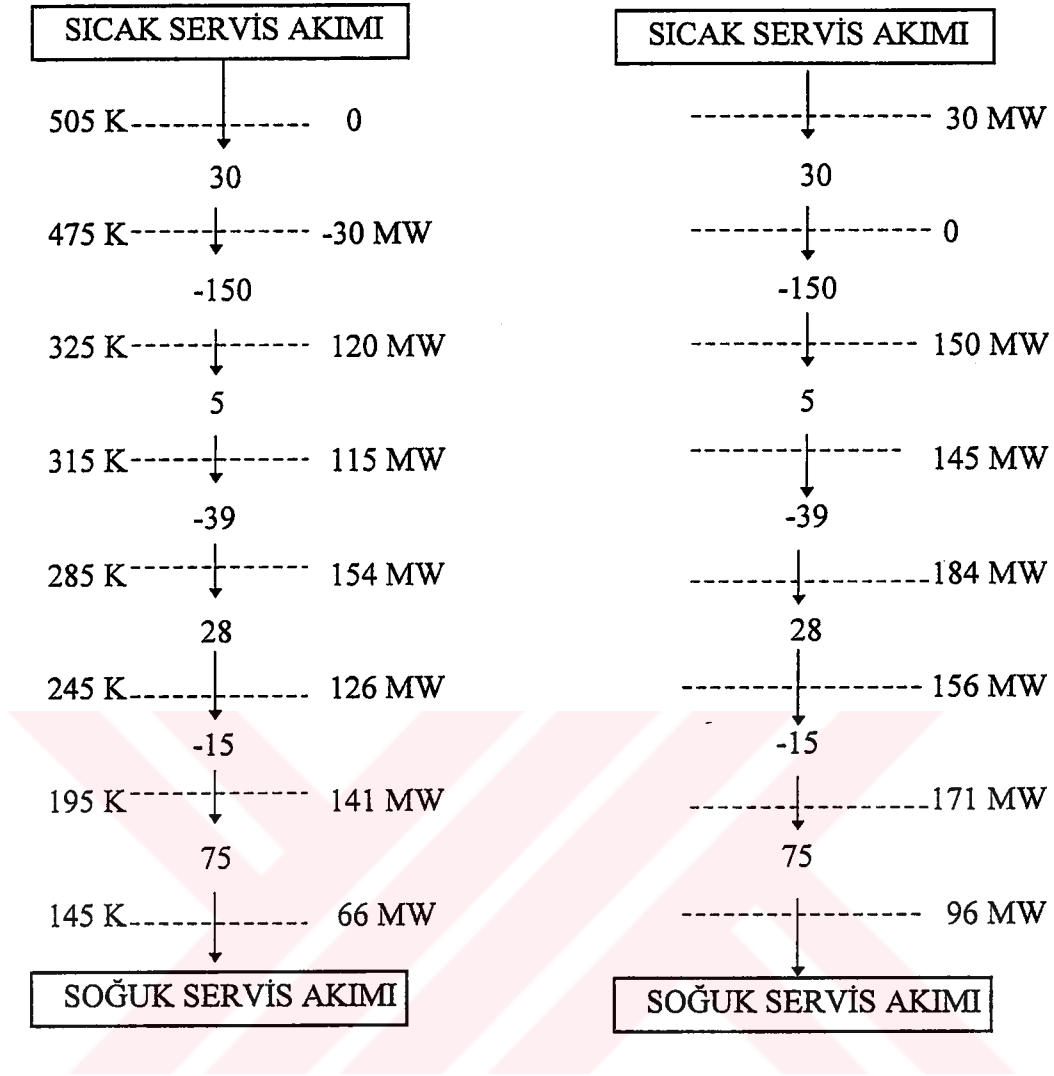
Tablo 3.2.4. Kaydırılmış Sıcaklıklar

Akım Nosu ve Hali	T_i^* (K)	T_o^* (K)
(1) Sıcak	315	195
(2) Sıcak	475	285
(3) Soğuk	245	505
(4) Soğuk	145	325

Sıcaklık Aralıkları (K)	Akımlar	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (K)	$\Sigma C_{p_c} - \Sigma C_{p_h}$ (MW/K)	$\Delta H_{\text{aralık}}$ (MW)
505				
		30	1,0	30
475	2			
		150	-1,0	-150
325				
		10	0,5	5
315	1			
		30	-1,3	-39
285				
		40	0,7	28
245				
	3	50	-0,3	-15
195				
		50	1,5	75
145				
	4			

Şekil 3.2.5. Sıcaklık Aralıklarında Isı Denkliği

Bir aralıktaki ısı, bir sonraki aralığa kademeli olarak verilir (Şekil 3.2.6).



Şekil 3.2.6. Kademeli Diyagram

Problem çizelge algoritmasına göre de $T_d = 475$ K, $Q_{h,min} = 30$ MW ve $Q_{c,min} = 96$ MW olarak bulunmuştur.

Dolayısıyla, darboğaz analizi uygulanarak, ısıtma yükü % 94,3 , soğutma yükü ise % 83,9 azaltılmıştır.

c) Bu kısımda, darboğaz analizi için geliştirilen ve darboğazın üstünde ve altında ısı değiştiricilerin yerleştirilmesine yardımcı olan THEN programından yararlanılmıştır. Aşağıda, program sonuçları tablolar ve ağ diyagramları halinde verilmektedir.

Tablo 3.2.5. Isıtıcının Verileri

Isıtıcı	Akım No (Soğuk)	ISI (MW)	T_{ci} (K)	T_{ce} (K)	CP_c (MW/K)
H	3	30	470	500	1,0

Tablo 3.2.6. Darboğaz Altındaki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (K)	T_{he} (K)	T_{ci} (K)	T_{ce} (K)
1	3	2	190	480	385	280	470
2	4	2	190	385	290	193,3	320
3	3	1	40	320	297,8	240	280
4	4	1	80	297,8	253,3	140	193,3

Tablo 3.2.7. Soğutucunun Verileri

Soğutucu	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (K)	T_{he} (K)	CP_h (MW/K)
C	2	96	253,3	200	1,8

3.3. Uygulama 3 (17)

Bu uygulamada, Tablo 3.3.1'deki akım verileri kullanılarak,

- darboğaz analizi uygulanmadan önce sistemde gerekli olan sıcak ve soğuk servis akımı yükleri ve
- darboğaz analizi uygulandıktan sonra sistemde kullanılan servis akımı yükleri hesaplanacaktır; ayrıca,
- maksimum enerji geri kazanımı sağlayan bir ağ tasarlanacaktır.

Tablo 3.3.1. Akım Verileri

Akım Nosu ve Hali	Besleme Sıcaklığı (K)	Hedef Sıcaklığı (K)	Isı Kapasitesi (MW/K)
(1) Sıcak	400	310	2
(2) Sıcak	450	350	1
(3) Soğuk	300	390	1,8
(4) Soğuk	330	370	4

Bu uygulama,

$\Delta T_{\min} = 5$ K için çözüldüğünde, darboğaz oluşmamaktadır (EK 3.1).

$\Delta T_{\min} = 10$ K için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 6$ MW, $Q_{h,\min} = 48$ MW olmaktadır.

$\Delta T_{\min} = 15$ K için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 16$ MW, $Q_{h,\min} = 58$ MW olmaktadır (EK 3.2).

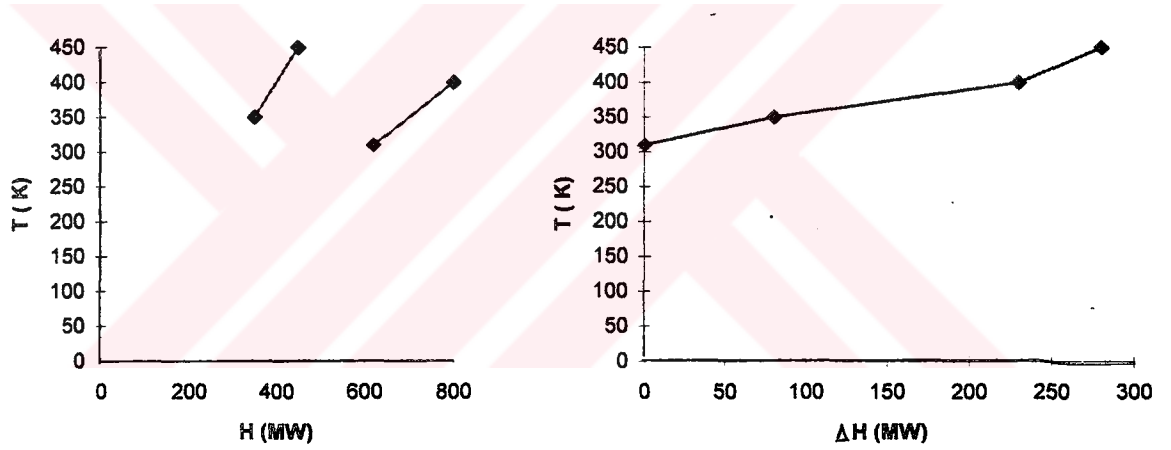
$\Delta T_{\min} = 20$ K için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 26$ MW, $Q_{h,\min} = 68$ MW olmaktadır (EK 3.3).

Hesaplamalar, $\Delta T_{\min} = 10$ K için ayrıntılı bir şekilde aşağıda verilmektedir.

a) Tablo 3.3.1'deki veriler kullanılarak hazırlanan sıcak ve soğuk akımların eğrileri; ayrıca, Tablo 3.3.2 ve Tablo 3.3.3'deki veriler temelinde çizilen sıcak ve soğuk bileşik eğriler sırasıyla Şekil 3.3.1 ve Şekil 3.3.2'de verilmektedir.

Tablo 3.3.2. Sıcak Bileşik Eğri Verileri

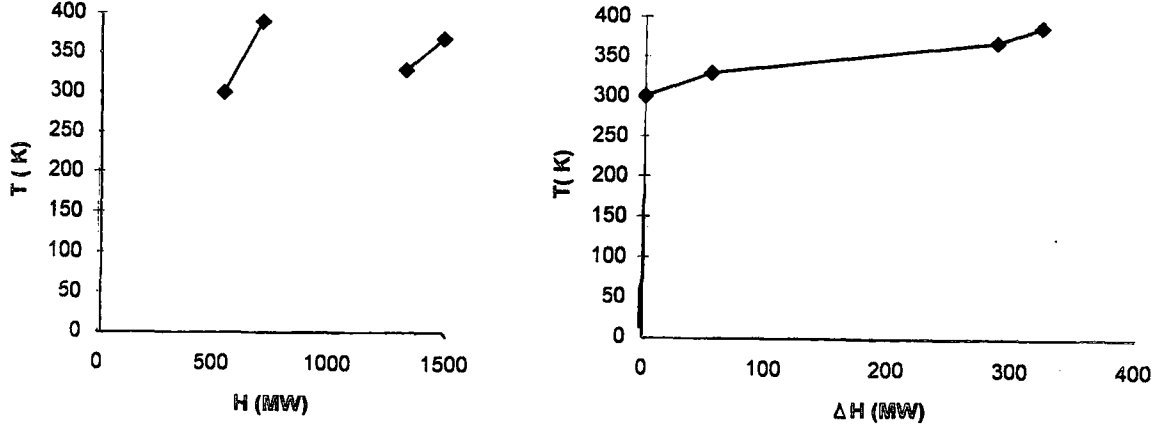
Akım Nosu ve Hali	CP (MW/K)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (K)	$Q_{c,\text{maks}}$ (MW)
(1) Sıcak	2	40	80
(1+2) Sıcak	3	50	150
(2) Sıcak	1	50	50



Şekil 3.3.1. (a) Sıcak Akımlar, (b) Sıcak Bileşik Eğri

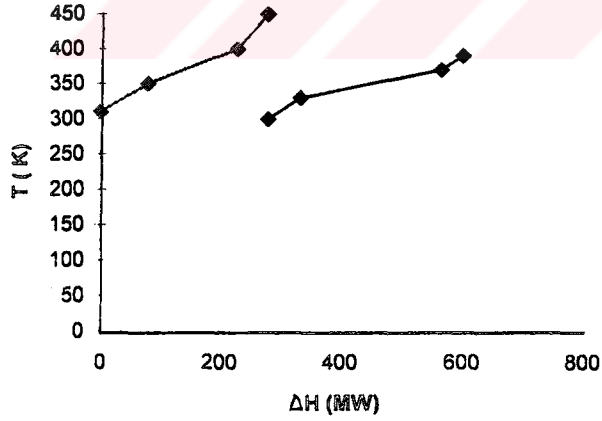
Tablo 3.3.3. Soğuk Bileşik Eğri Verileri

Akım Nosu ve Hali	CP (MW/K)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (K)	$Q_{h,\text{maks}}$ (MW)
(3) Soğuk	1,8	30	54
(3+4) Soğuk	5,8	40	232
(3) Soğuk	1,8	20	36



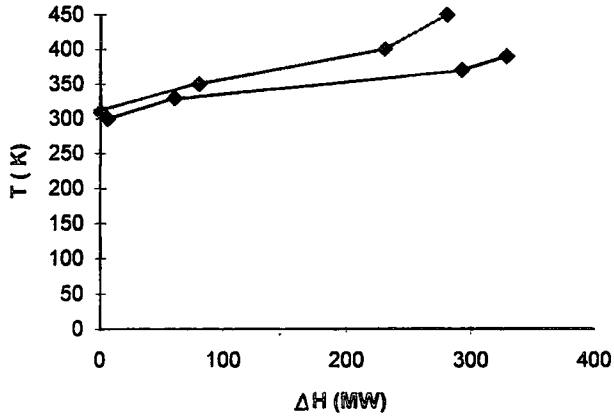
Şekil 3.3.2. (a) Soğuk Akımlar, (b) Soğuk Bileşik Eğri

Şekil 3.3.3'de gösterildiği gibi, sisteme 322 MW ısı verilmesi ($Q_{h,maks}$) ve sistemden 280 MW ısı alınması ($Q_{c,maks}$) gerekir.



Şekil 3.3.3. Bileşik Eğriler

b) Bileşik eğriler $\Delta T_{min} = 10$ K olacak şekilde birbirlerine yaklaştırılarak (Şekil 3.3.4), darboğaz sıcaklığı 335 K olarak bulunur. Bu yöntemle göre, minimum soğutma yükü, 6 MW, minimum ısıtma yükü ise 48 MW olarak saptanır.



Şekil 3.3.4. Yaklaştırılmış Bileşik Eğriler

Problem çizelge algoritması uygulanırken, sıcak akımların sıcaklıkları 5 K kadar azaltılarak ve soğuk akımların sıcaklıkları 5 K kadar artırılarak, kaydırılmış sıcaklıklar (T^*) bulunur (Tablo 3.3.4) ve her kaydırılmış sıcaklık aralığı için ısı denkliği kurulur (Şekil 3.3.5).

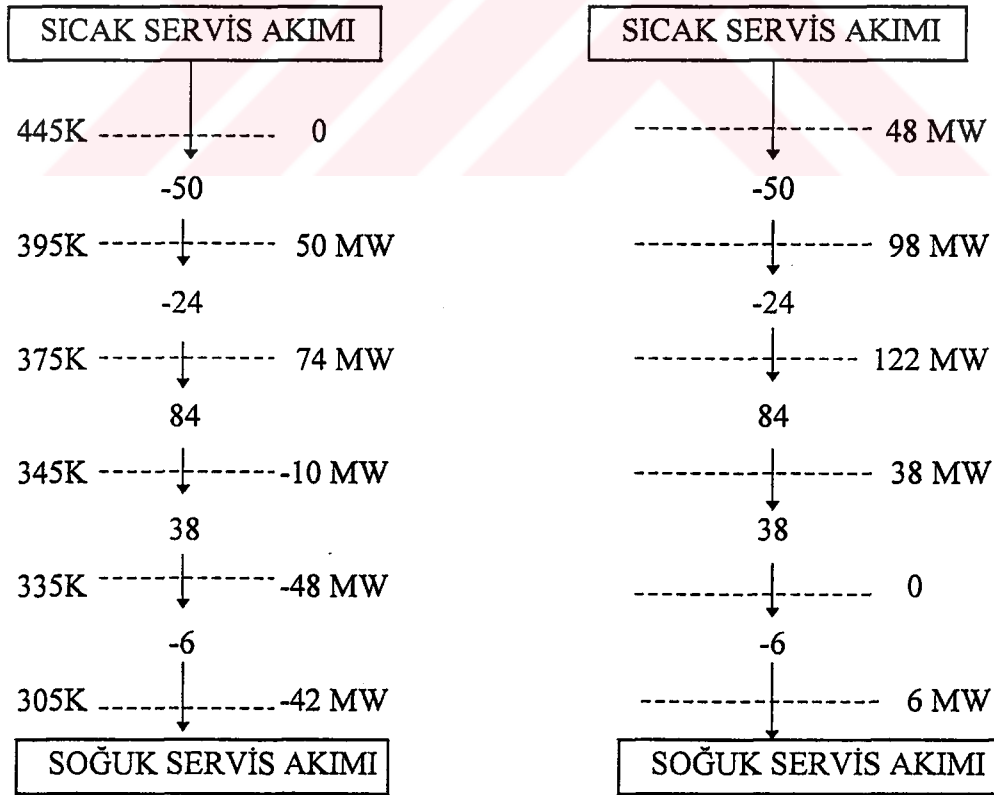
Tablo 3.3.4. Kaydırılmış Sıcaklıklar

Akım Nosu ve Hali	T_i^* (K)	T_o^* (K)
(1) Sıcak	395	305
(2) Sıcak	445	345
(3) Soğuk	305	395
(4) Soğuk	335	375

Bir aralıktaki ısı, bir sonraki aralığa kademeli olarak verilir (Şekil 3.3.6).

Sıcaklık Aralıkları (K)	Akımlar	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (K)	$\Sigma C_{p_c} - \Sigma C_{p_h}$ (MW/K)	$\Delta H_{\text{aralık}}$ (MW)
445 K	2	50	-1	-50
395 K	1	20	-1,2	-24
375 K		30	2,8	84
345 K		10	3,8	38
335 K	4	30	-0,2	-6
305 K	3			

Şekil 3.3.5. Sıcaklık Aralıklarında Isı Denkliği



Şekil 3.3.6 Kademeli Diyagram

Problem çizelge algoritmasına göre de $T_d = 335\text{K}$, $Q_{h,\min} = 48\text{ MW}$ ve $Q_{c,\min} = 6\text{ MW}$ olarak bulunmuştur.

Dolayısıyla, darboğaz analizi uygulanarak, ısıtma yükü % 85,1, soğutma yükü ise % 97,9 azaltılmıştır.

c) Bu kısımda, darboğaz analizi için geliştirilen ve darboğazın üstünde ve altında ısı değiştiricilerin yerleştirilmesine yardımcı THEN programından yararlanılmıştır.

Aşağıda, program sonuçları tablolar ve ağ diyagramları halinde verilmektedir.

Tablo 3.3.5. Darboğaz Üstündeki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (K)	T_{he} (K)	T_{ci} (K)	T_{ce} (K)
1	3	2	100	450	350	330	385,6
2	4	1	120	400	340	330	360

Tablo 3.3.6. Isıtıcıların Verileri

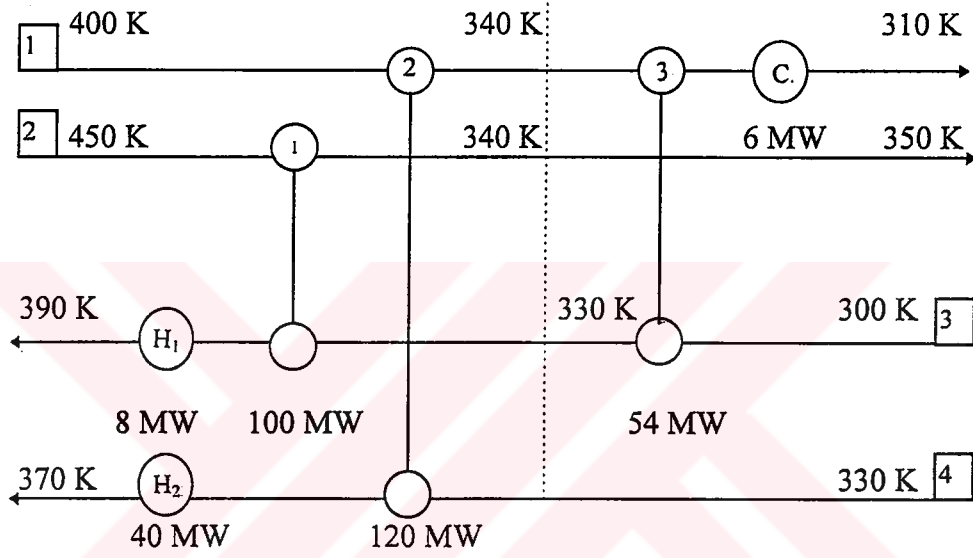
Isıtıcı	Akım No (Soğuk)	ISI (MW)	T_{ci} (K)	T_{ce} (K)	CP_c (MW/K)
H1	3	8	385,6	390	1,8
H2	4	40	360	370	4

Tablo 3.3.7. Darboğaz Altındaki Isı Değiştiricinin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (K)	T_{he} (K)	T_{ci} (K)	T_{ce} (K)
3	3	1	54	340	313	300	330

Tablo 3.3.8. Soğutucunun Verileri

Soğutucu	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (K)	T_{he} (K)	CP_h (MW/K)
C	1	6	313	310	2



Şekil 3.3.7. Ağ Diyagram

$$N_{\min} = 4 + 2 - 1 = 5$$

$$N_{\min, \text{MER}} = 5$$

$N_{\min} = N_{\min, \text{MER}}$ olduğu için sistemde bir döngü yoktur.

3.4. Uygulama 4 (7)

Bu uygulamada, Tablo 3.4.1'de gösterilen akış şeması için Tablo 3.4.1'deki akım verileri kullanılarak,

- darboğaz analizi uygulanmadan önce sistemde gerekli olan sıcak ve soğuk servis akımı yükleri ve
- darboğaz analizi uygulandıktan sonra sistemde kullanılan servis akımı yükleri hesaplanacaktır; ayrıca,
- maksimum enerji geri kazanımı sağlayan bir ağ tasarlanacaktır.

Tablo 3.4.1. Akım Verileri

Akım Nosu ve Hali	Besleme Sıcaklığı (°C)	Hedef Sıcaklığı (°C)	Isı Kapasitesi (MW/°C)
(1) Sıcak	190	110	2,5
(2) Sıcak	140	50	20
(3) Soğuk	90	170	20
(4) Soğuk	30	120	5

Bu uygulama,

$\Delta T_{\min} = 5^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 600$ MW, $Q_{h,\min} = 650$ MW olmaktadır (EK 4.1).

$\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 700$ MW, $Q_{h,\min} = 750$ MW olmaktadır.

$\Delta T_{\min} = 15^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 800$ MW, $Q_{h,\min} = 850$ MW olmaktadır (EK 4.2).

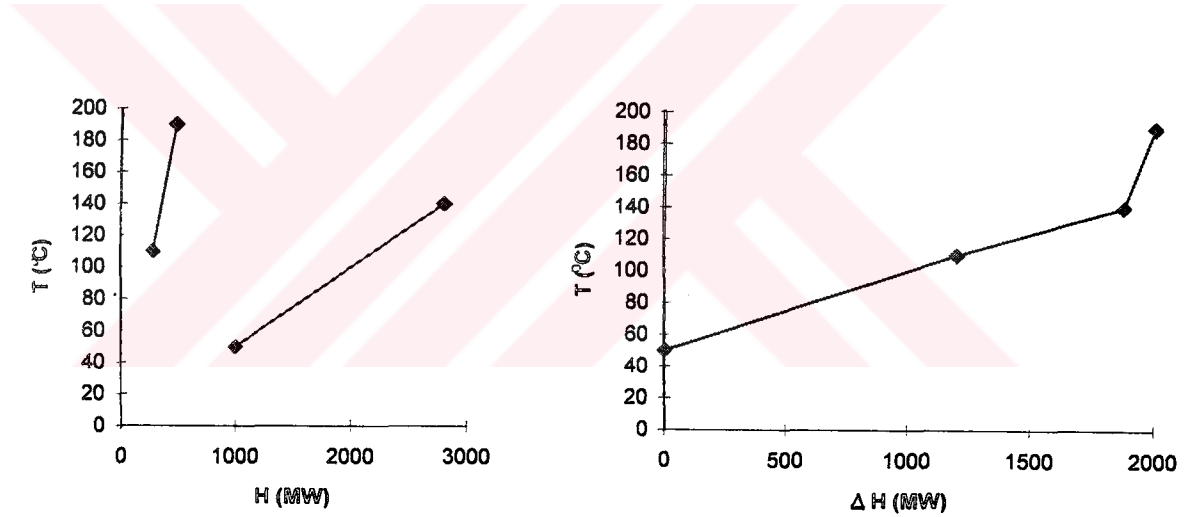
$\Delta T_{\min} = 20^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 900$ MW, $Q_{h,\min} = 950$ MW olmaktadır (EK 4.3).

Hesaplamalar, $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için ayrıntılı bir şekilde aşağıda verilmektedir.

a) Tablo 3.4.1'deki veriler kullanılarak hazırlanan sıcak ve soğuk akımların eğrileri; ayrıca, Tablo 3.4.2 ve Tablo 3.4.3'deki veriler temelinde çizilen sıcak ve soğuk bileşik eğriler sırasıyla Şekil 3.4.1 ve Şekil 3.4.2'de verilmektedir.

Tablo 3.4.2. Sıcak Bileşik Eğri Verileri

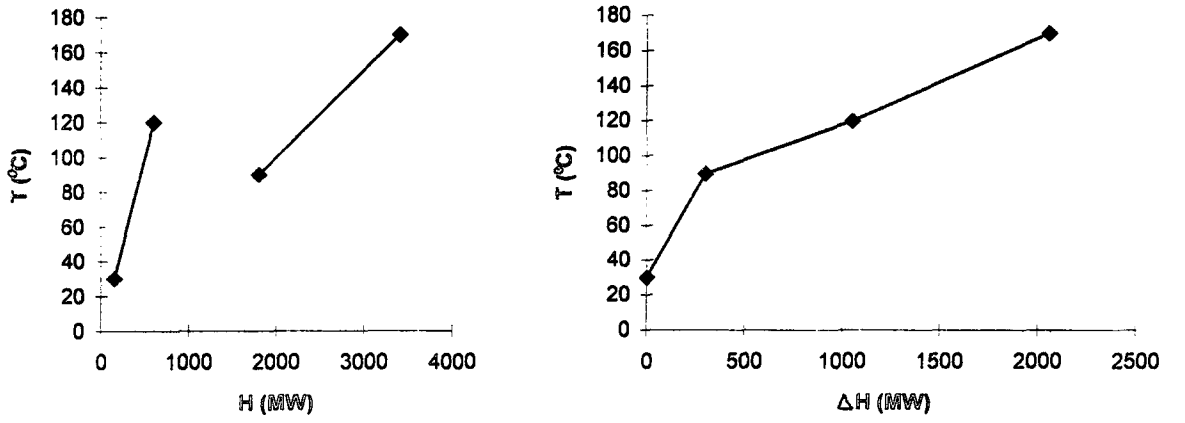
Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{c,\text{maks}}$ (MW)
(2) Sıcak	20	60	1200
(1+2) Sıcak	22,5	30	675
(1) Sıcak	2,5	50	125



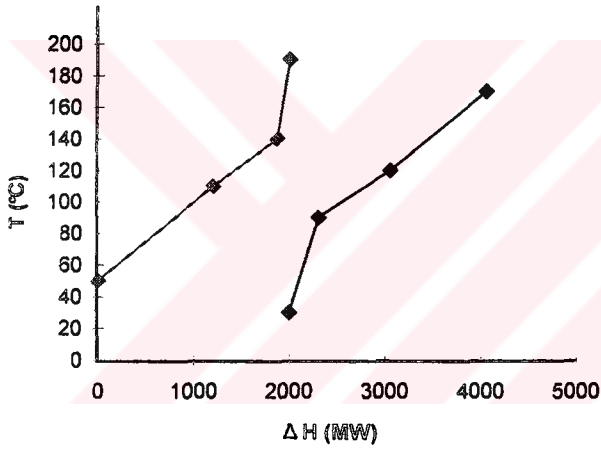
Şekil 3.4.1. (a) Sıcak Akımlar (b) Sıcak Bileşik Eğri

Tablo 3.4.3. Soğuk Bileşik Eğri Verileri

Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{h,\text{maks}}$ (MW)
(4) Soğuk	5	60	300
(3+4) Soğuk	25	30	750
(3) Soğuk	20	50	1000



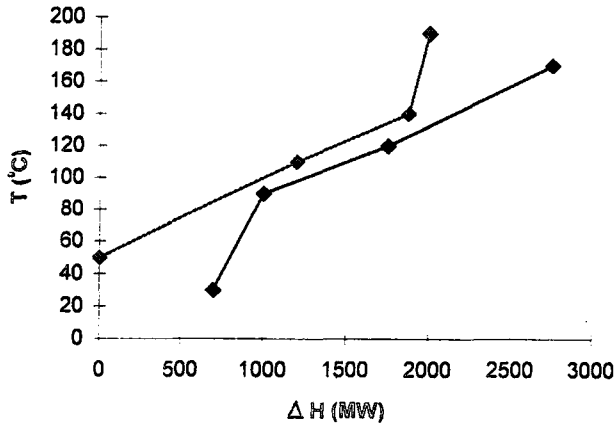
Şekil 3.4.2. (a) Soğuk Akımlar, (b) Soğuk Bileşik Eğri



Şekil 3.4.3. Bileşik Eğriler

Şekil 3.4.3'de gösterildiği gibi, sisteme 2000 MW ısı verilmesi ($Q_{h,maks}$) ve sistemden 2050 MW ısı alınması ($Q_{c,maks}$) gerekir.

b) Bileşik eğriler $\Delta T_{min} = 10^\circ\text{C}$ olacak şekilde birbirlerine yaklaştırılarak (Şekil 3.4.4), darboğaz sıcaklığı 95°C olarak bulunur. Bu yöntemle göre, minimum soğutma yükü 750 MW, minimum ısıtma yükü ise 700 MW olarak saptanır.



Şekil 3.4.4. Yaklaştırılmış Bileşik Eğriler

Problem çizelge algoritması uygulanırken, sıcak akımların sıcaklıkları 5°C kadar azaltılarak ve soğuk akımların sıcaklıkları 5°C kadar artırılarak, kaydırılmış sıcaklıklar (T^*) bulunur (Tablo 3.4.4) ve her kaydırılmış sıcaklık aralığı için ısı denkliği kurulur (Şekil 3.4.5).

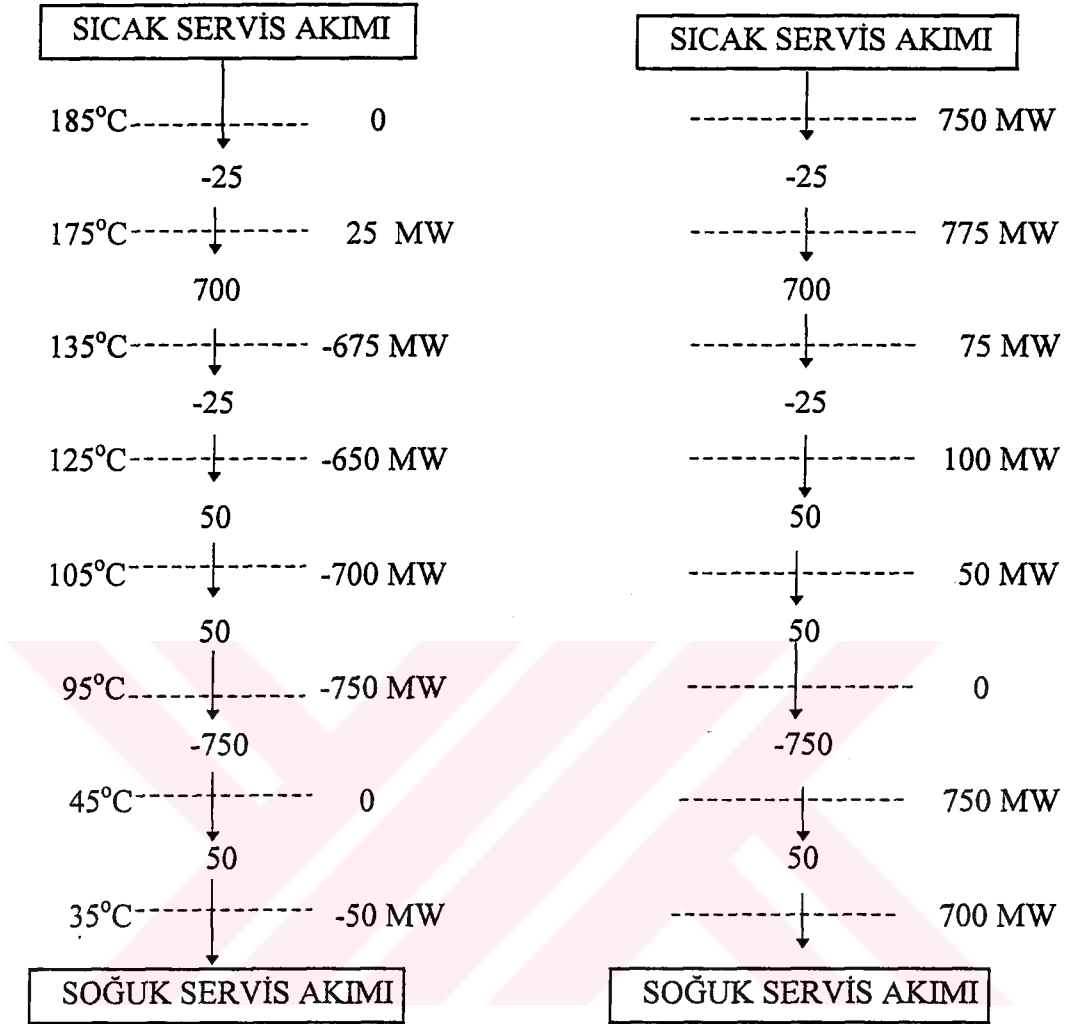
Tablo 3.4.4. Kaydırılmış Sıcaklıklar

Akım Nosu ve Hali	T_i^* ($^{\circ}\text{C}$)	T_o^* ($^{\circ}\text{C}$)
(1) Sıcak	185	105
(2) Sıcak	135	45
(3) Soğuk	95	175
(4) Soğuk	35	125

Sıcaklık Aralıkları (°C)	Akımlar	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$\Sigma C_{p_c} - \Sigma C_{p_h}$ (MW/°C)	$\Delta H_{\text{aralık}}$ (MW)
185°C	1			
175°C		10	-2,5	-25
135°C	2	40	17,5	700
125°C		10	-2,5	-25
105°C		20	2,5	50
95°C		10	5,0	50
45°C	3	50	-15	-750
35°C		10	5	50
	4			

Şekil 3.4.5. Sıcaklık Aralıklarındaki Isı Denkliği

Bir aralıktaki ısı, bir sonraki aralığa kademeli olarak verilir (Şekil 3.4.6)



Şekil 3.4.6. Kademeli Diyagram

Problem çizelge algoritmasına göre de, $T_d = 95 \text{ }^\circ\text{C}$, $Q_{h,\min} = 750 \text{ MW}$ ve $Q_{c,\min} = 700 \text{ MW}$ olarak bulunmuştur.

Dolayısıyla, darboğaz analizi uygulanarak, ısıtma yükü % 65, soğutma yükü ise % 63,4 azaltılmıştır.

c) Bu kısımda, darboğaz analizi için geliştirilen ve darboğazın üstünde ve altında ısı değiştiricilerin yerleştirilmesine yardımcı THEN programından yararlanılmıştır.

Aşağıda, program sonuçları tablolar ve ağ diyagramları halinde verilmektedir.

Tablo 3.4.5. Darboğaz Üstündeki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	T_{ci} (°C)	T_{ce} (°C)
1	3	1	50	190	170	130	132,5
2	4	1	150	170	110	90	120
3	3	2	800	140	100	90	130

Tablo 3.4.6. Isıtıcının Verileri

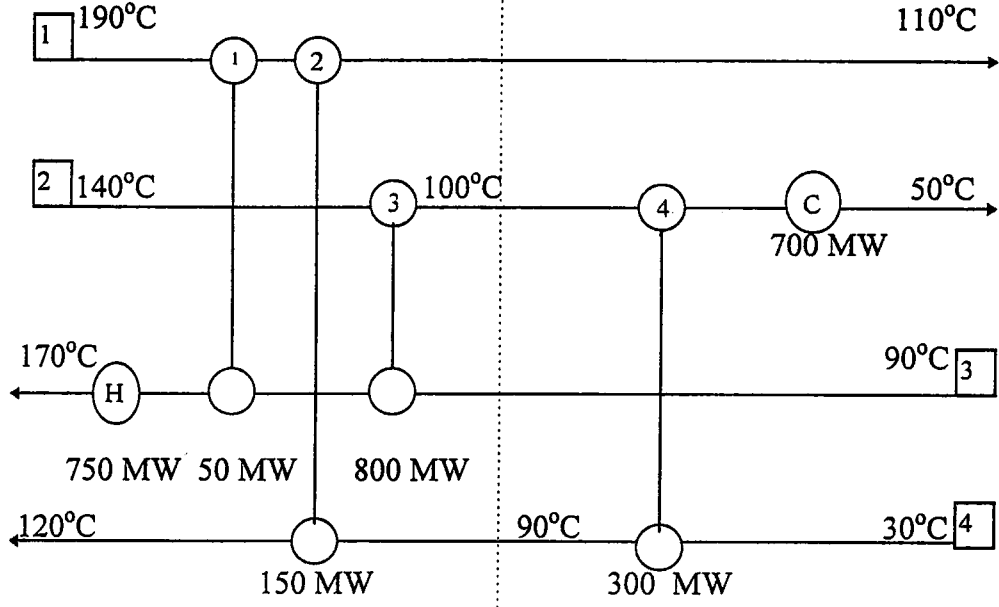
Isıtıcı	Akım No (Soğuk)	ISI (MW)	T_{ci} (°C)	T_{ce} (°C)	CP_c (MW/°C)
H	3	750	132,5	170	20

Tablo 3.4.7. Darboğaz Altındaki Isı Değiştiricinin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	T_{ci} (°C)	T_{ce} (°C)
4	4	2	300	100	85	30	90

Tablo 3.4.8. Soğutucunun Verileri

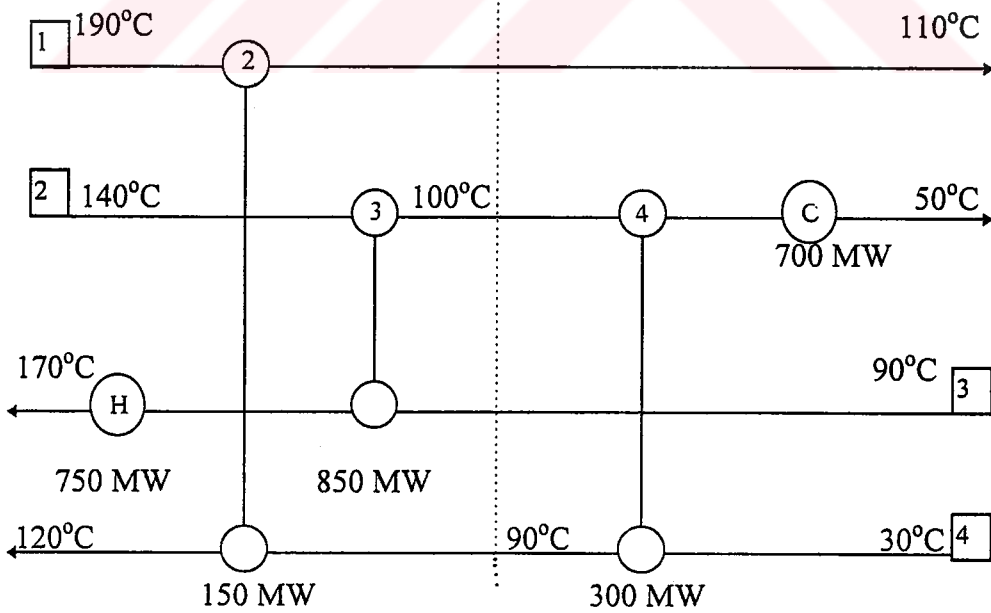
Soğutucu	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	CP_h (MW/°C)
C	2	700	85	50	20



Şekil 3.4.7. Ağ Tasarımı

$$N_{\min} = 4 + 2 - 1 = 5$$

Ancak, $N_{\min, \text{MER}} = 6$ olduğuna göre, sistemde bir tane döngü vardır. Döngü kırıldıktan sonra, aşağıdaki tasarım şekli geliştirilmiş olur.



Şekil 3.4.8. Tamamlanmış Tasarım (Minimum Birim Sayısı)

3.5. Uygulama 5 (19)

Bu uygulamada, Tablo 3.5.1'deki akım verileri kullanılarak,

- darboğaz analizi uygulanmadan önce sistemde gerekli olan sıcak ve soğuk servis akımı yükleri ve
- darboğaz analizi uygulandıktan sonra sistemde kullanılan servis akımı yükleri hesaplanacaktır; ayrıca,
- maksimum enerji geri kazanımı sağlayan bir ağ tasarlanacaktır.

Tablo 3.5.1. Akım Verileri

Akım Nosu ve Hali	Besleme Sıcaklığı (°C)	Hedef Sıcaklığı (°C)	Isı Kapasitesi (MW/°C)
(1) Sıcak	300	80	0,30
(2) Sıcak	200	40	0,45
(3) Soğuk	40	180	0,40
(4) Soğuk	140	280	0,60

Bu uygulama,

$\Delta T_{\min} = 5^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 7$ olurken, $Q_{c,\min} = 26,75$ MW, $Q_{h,\min} = 28,75$ MW olmaktadır (EK 5.1).

$\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 7$ olurken, $Q_{c,\min} = 30,5$ MW, $Q_{h,\min} = 32,5$ MW olmaktadır.

$\Delta T_{\min} = 15^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 7$ olurken, $Q_{c,\min} = 34,2$ MW, $Q_{h,\min} = 36,2$ MW olmaktadır (EK 5.2).

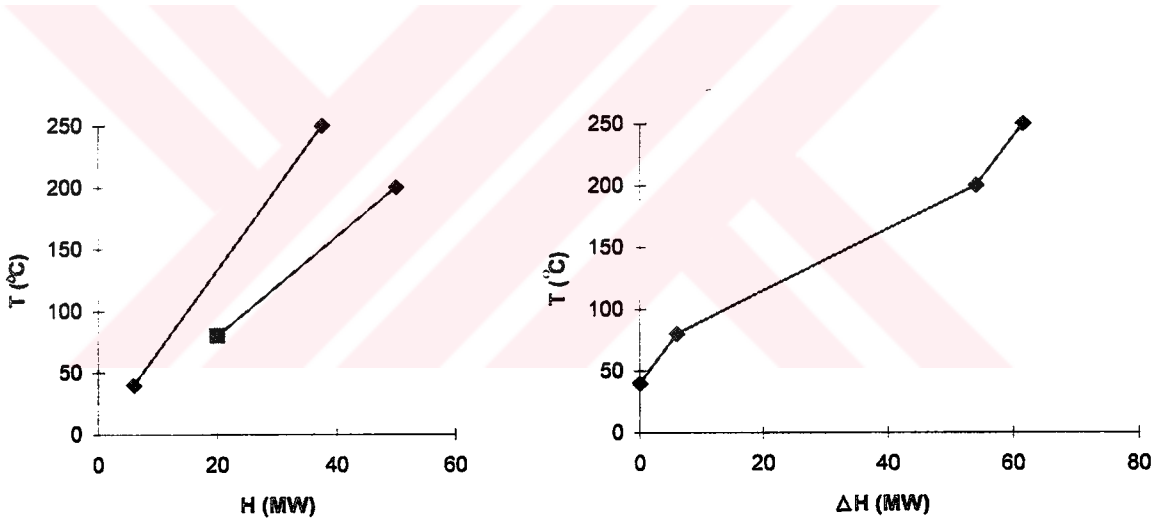
$\Delta T_{\min} = 20^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 7$ olurken, $Q_{c,\min} = 38$ MW, $Q_{h,\min} = 40$ MW olmaktadır (EK 5.3).

Hesaplamalar, $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için ayrıntılı bir şekilde aşağıda verilmektedir.

a) Tablo 3.5.1'deki veriler kullanılarak hazırlanan sıcak ve soğuk akımların eğrileri; ayrıca, Tablo 3.5.2 ve Tablo 3.5.3'deki veriler temelinde çizilen sıcak ve soğuk bileşik eğriler sırasıyla Şekil 3.5.1 ve Şekil 3.5.2'de verilmektedir.

Tablo 3.5.2. Sıcak Bileşik Eğri Verileri

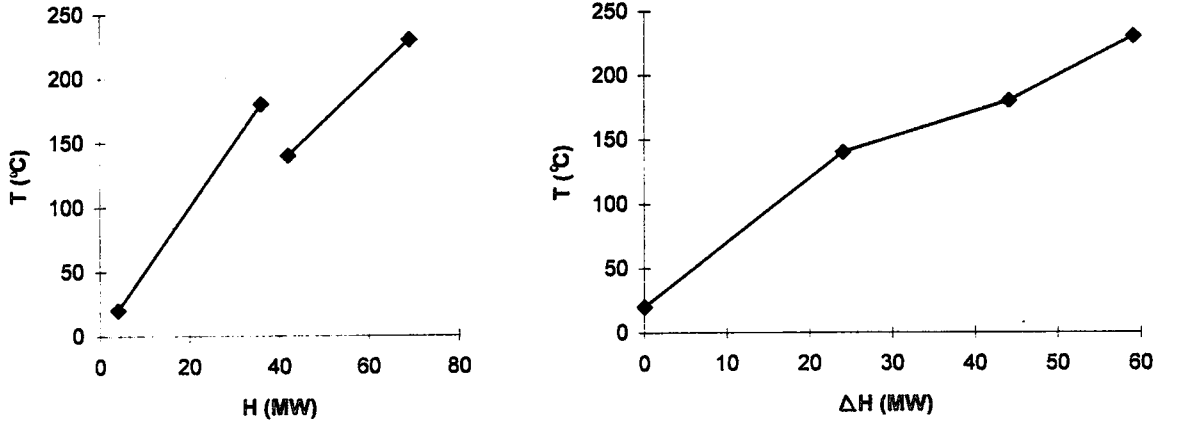
Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{c,\text{maks}}$ (MW)
(2) Sıcak	0,45	40	18
(1+2) Sıcak	0,75	120	90
(1) Sıcak	0,30	100	30



Şekil 3.5.1. (a) Sıcak Akımlar, (b) Sıcak Bileşik Eğri

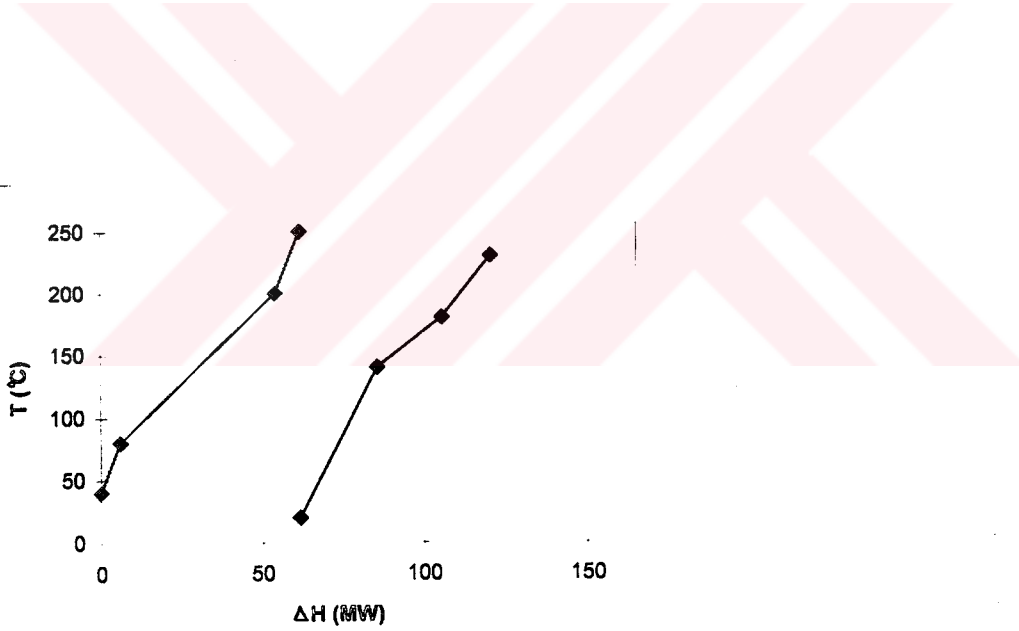
Tablo 3.5.3. Soğuk Bileşik Eğri Verileri

Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{h,\text{maks}}$ (MW)
(3) Soğuk	0,40	100	40
(3+4) Soğuk	1,00	40	40
(4) Soğuk	0,60	100	60



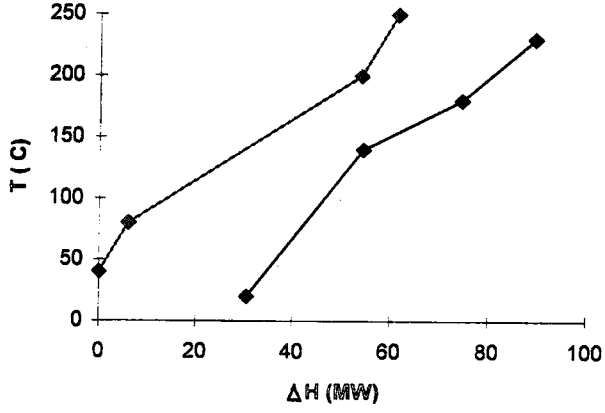
Şekil 3.5.2. (a) Soğuk Akımlar, (b) Soğuk Bileşik Eğri

Şekil 3.5.3'de gösterildiği gibi, sisteme 140 MW ısı verilmesi ($Q_{h,maks}$) ve sistemden 138 MW ısı alınması ($Q_{c,maks}$) gerekir.



Şekil 3.5.3. Bileşik Eğriler

b) Bileşik eğriler $\Delta T_{min} = 10^\circ\text{C}$ olacak şekilde birbirlerine yaklaştırılarak (Şekil 3.5.4), darboğaz sıcaklığı 145°C olarak bulunur. Bu yöntemle göre, minimum soğutma yükü, 30,5 MW, minimum ısıtma yükü ise 32,5 MW olarak saptanır.



Şekil 3.5.4. Yaklaşdırılmış Bileşik Eğriler

Problem çizelge algoritması uygulanırken, sıcak akımların sıcaklıkları 5°C kadar azaltılarak ve soğuk akımların sıcaklıkları 5°C kadar artırılarak, kaydırılmış sıcaklıklar (T^*) bulunur (Tablo 3.5.4).

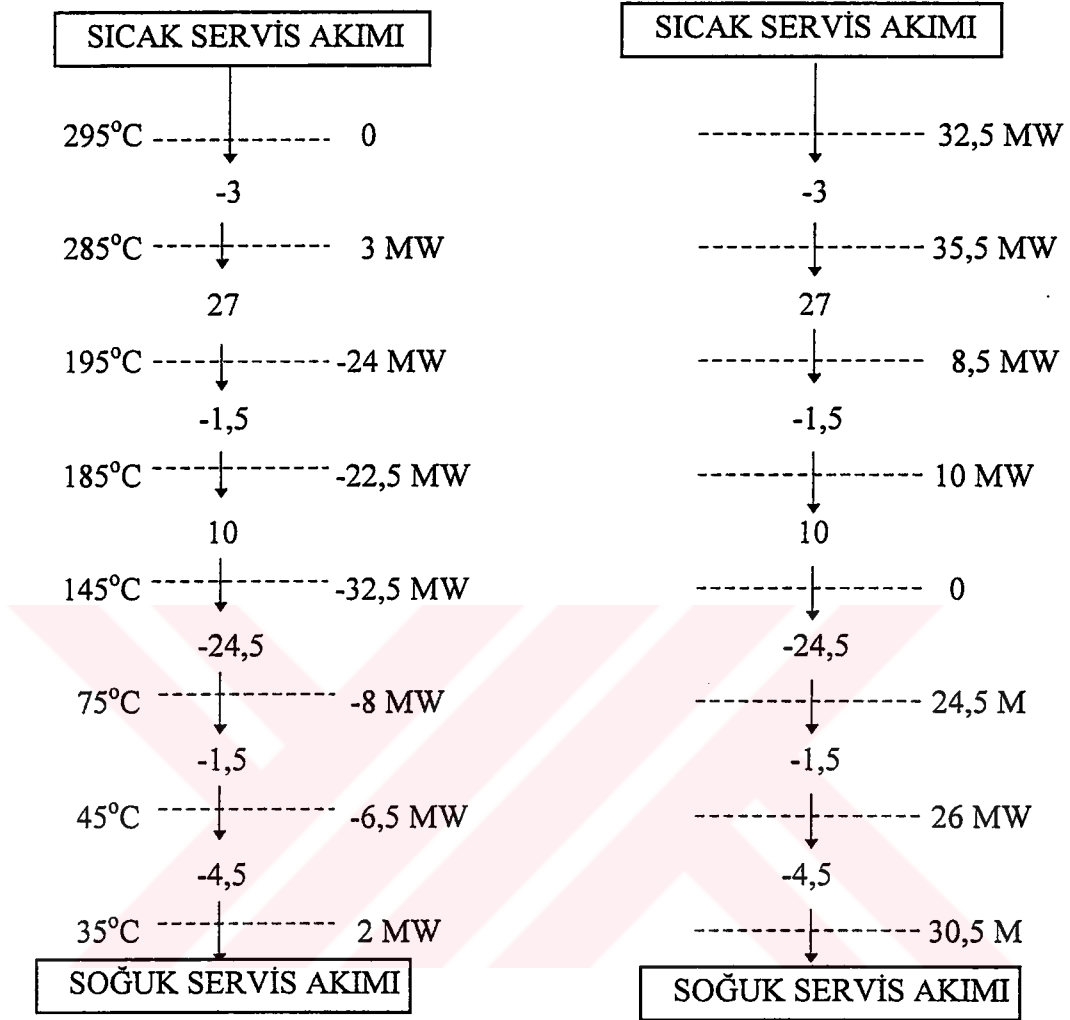
Tablo 3.5.4. Kaydırılmış Sıcaklıklar

Akım Nosu ve Hali	T_i^* ($^{\circ}\text{C}$)	T_o^* ($^{\circ}\text{C}$)
(1) Sıcak	295	75
(2) Sıcak	195	35
(3) Soğuk	45	185
(4) Soğuk	145	285

Sıcaklık Aralıkları(°C)	Akımlar	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$\Sigma C_{p_c} - \Sigma C_{p_h}$ (MW/°C)	$\Delta H_{\text{aralık}}$ (MW)
295°C	1	10	-0,30	-3
285°C		90	0,30	27
195°C	2	10	-0,15	-1,5
185°C		40	0,25	10
145°C	4	70	-0,35	-24,5
75°C		30	-0,05	-1,5
45°C	3	10	-0,45	-4,5
35°C				

Şekil 3.5.5. Sıcaklık Aralıklarında Isı Denkliği

Bir aralıktaki ısı, bir sonraki aralığa verilir (Şekil 3.5.6).



Şekil 3.5.6. Kademeli Diyagram

Problem çizelge algoritmasına göre $T_d = 150^\circ\text{C}$, $Q_{h,\min} = 32,5 \text{ MW}$, $Q_{c,\min} = 30,5 \text{ MW}$ olarak bulunmuştur.

Dolayısıyla darboğaz analizi uygulayarak, ısıtma yükü % 76,8 , soğutma yükü ise % 77,9 azaltılmıştır.

c) Bu kısımda, darboğaz analizi için geliştirilen ve darboğazın üstünde ve altında ısı değiştiricilerin yerleştirilmesine yardımcı THEN programından yararlanılmıştır.

Aşağıda, program sonuçları tablolar ve ağ diyagramları halinde verilmektedir.

Tablo 3.5.5. Darboğaz Üstündeki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	T_{ci} (°C)	T_{ce} (°C)
1	4	1	29	300	203,3	177,5	225,8
2	3	1	16	203,3	150	140	180
3	4	2	22,5	200	150	140	177,5

Tablo 3.5.6. Isıtıcının Verileri

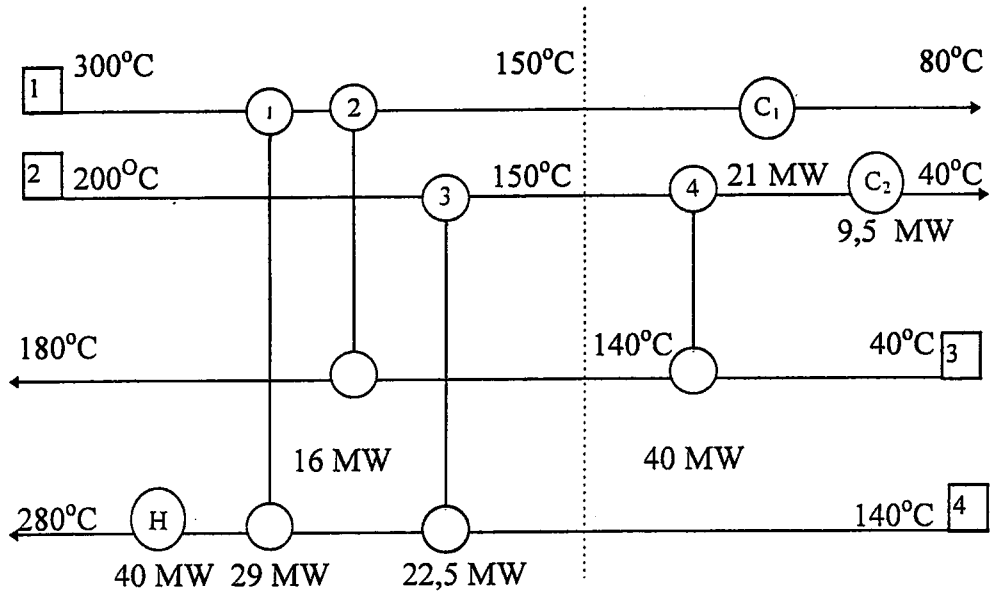
Isıtıcı	Akım No (Soğuk)	ISI (MW)	T_{ci} (°C)	T_{ce} (°C)	CP_c (MW/°C)
H	4	32,5	225,8	280	0,60

Tablo 3.5.7. Darboğaz Altındaki Isı Değiştiricinin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	T_{ci} (°C)	T_{ce} (°C)
4	3	2	40	150	61,1	40	140

Tablo 3.5.8. Soğutucuların Verileri

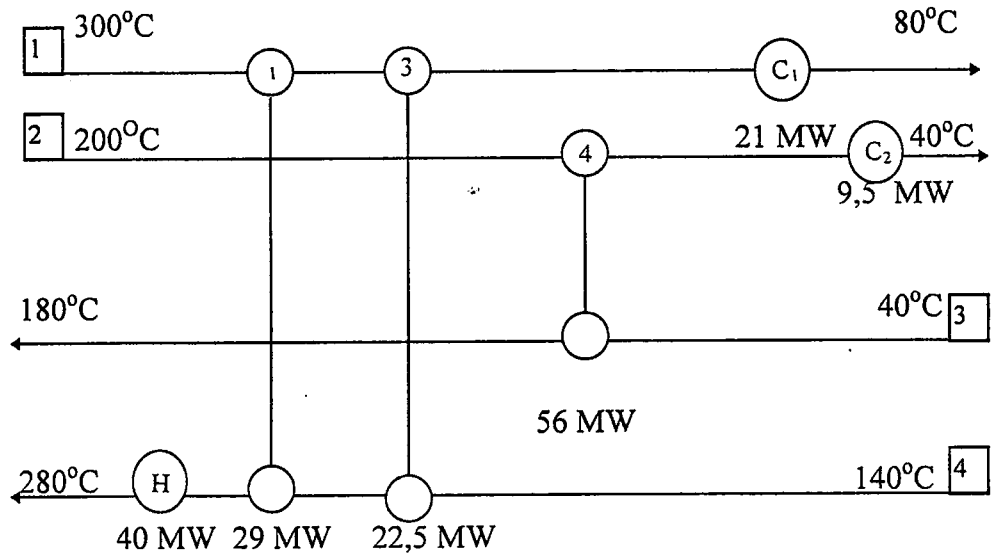
Soğutucu	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	CP_h (MW/°C)
C1	1	21	150	80	0,30
C2	2	9,5	61,1	40	0,45



Şekil 3.5.7. Ağ Diyagramı

$$N_{\min} = 4 + 3 - 1 = 6$$

Ancak, $N_{\min, \text{MER}} = 7$ olduğuna göre, sistemde bir döngü vardır. Döngü kırıldıktan sonra, aşağıdaki tasarım şekli geliştirilmiş olur.



Şekil 3.5.8. Tamamlanmış Tasarım (Minimum Birim Sayısı)

3.6. Uygulama 6 (17)

Bu uygulamada, Tablo 3.6.1'deki akım verileri kullanılarak,

- darboğaz analizi uygulanmadan önce sistemde gerekli olan sıcak ve soğuk servis akımı yükleri ve
- darboğaz analizi uygulandıktan sonra sistemde kullanılan servis akımı yükleri hesaplanacaktır; ayrıca,
- maksimum enerji geri kazanımı sağlayan bir ağ tasarlanacaktır.

Tablo 3.6.1. Akım Verileri

Akım Nosu ve Hali	Besleme Sıcaklığı (°C)	Hedef Sıcaklığı (°C)	Isı Kapasitesi (MW/°C)
(1) Sıcak	220	40	2
(2) Sıcak	150	60	2,5
(3) Soğuk	20	115	2
(4) Soğuk	70	170	4

Bu uygulama,

$\Delta T_{\min} = 5^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, çözüme ulaşılamamaktadır (EK 6.1).

$\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 7$ olurken, $Q_{c,\min} = 30$ MW, $Q_{h,\min} = 35$ MW olmaktadır.

$\Delta T_{\min} = 15^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 7$ olurken, $Q_{c,\min} = 52,5$ MW, $Q_{h,\min} = 57,5$ MW olmaktadır (EK 6.2).

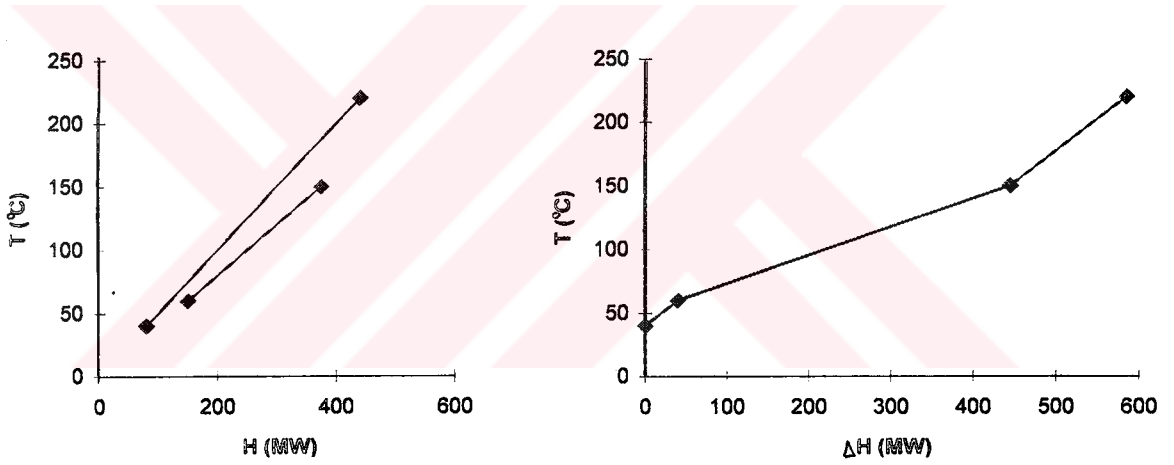
$\Delta T_{\min} = 20^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 75$ MW, $Q_{h,\min} = 80$ MW olmaktadır (EK 6.3).

Hesaplamalar, $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için ayrıntılı bir şekilde aşağıda verilmektedir.

a) Tablo 3.6.1'deki veriler kullanılarak hazırlanan sıcak ve soğuk akımların eğrileri; ayrıca, Tablo 3.6.2 ve Tablo 3.6.3'deki veriler temelinde çizilen sıcak ve soğuk bileşik eğriler sırasıyla Şekil 3.6.1 ve Şekil 3.6.2'de verilmektedir.

Tablo 3.6.2. Sıcak Bileşik Eğri Verileri

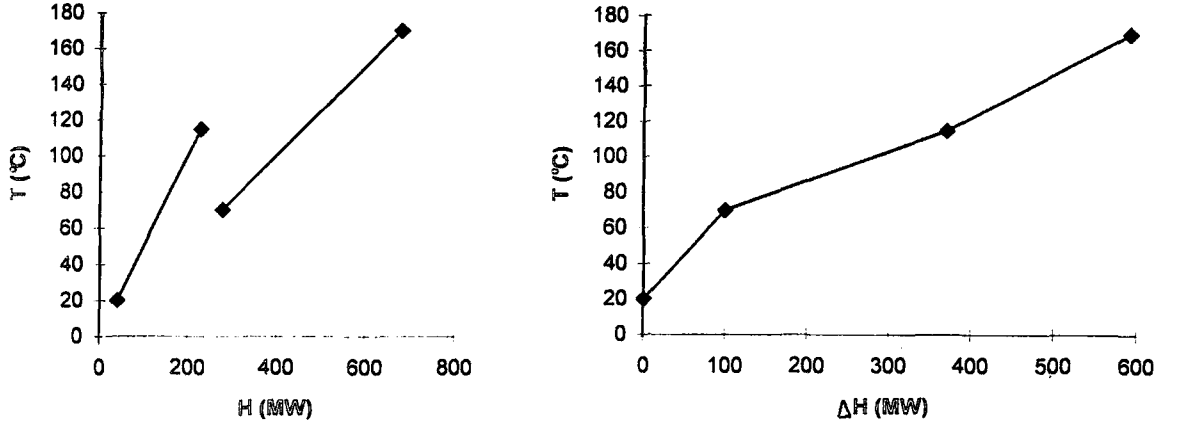
Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{c,\text{maks}}$ (MW)
(1) Sıcak	2	20	40
(1+2) Sıcak	4,5	90	405
(1) Sıcak	2	70	140



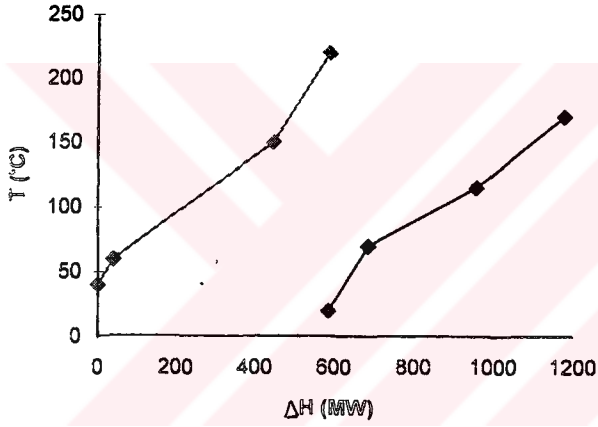
Şekil 3.6.1. (a) Sıcak Akımlar , (b) Sıcak Bileşik Eğri

Tablo 3.6.3. Soğuk Bileşik Eğri Verileri

Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{h,\text{maks}}$ (MW)
(3) Soğuk	2	50	100
(3+4) Soğuk	6	45	270
(4) Soğuk	4	55	220



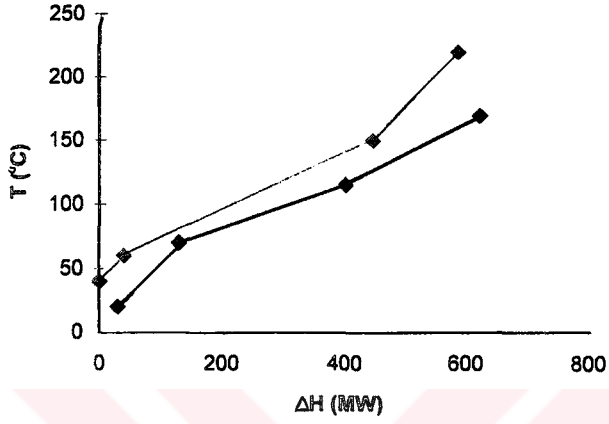
Şekil 3.6.2. (a) Soğuk Akımlar , (b) Soğuk Bileşik Eğri



Şekil 3.6.3. Bileşik Eğriler

Şekil 3.6.3'de de görüldüğü gibi, sisteme 590 MW ısı verilmesi ($Q_{h,maks}$) ve sistemden 585 MW ısı alınması gerekir.

b) Bileşik eğriler $\Delta T_{min} = 10^\circ\text{C}$ olacak şekilde birbirlerine yaklaştırılarak (Şekil 3.6.4), darboğaz sıcaklığı 75°C olarak bulunur. Bu yöntemle göre, minimum soğutma yükü 30MW, minimum ısıtma yükü ise 35 MW olarak saptanır.



Şekil 3.6.4. Yaklaşıtırlmış Bileşik Eğriler

Problem çizelge algoritması uygulanırken, sıcak akımların sıcaklıkları 5°C kadar azaltılarak ve soğuk akımların sıcaklıkları 5°C kadar artırılarak, kaydırılmış sıcaklıklar (T^*) bulunur (Tablo 3.6.4).

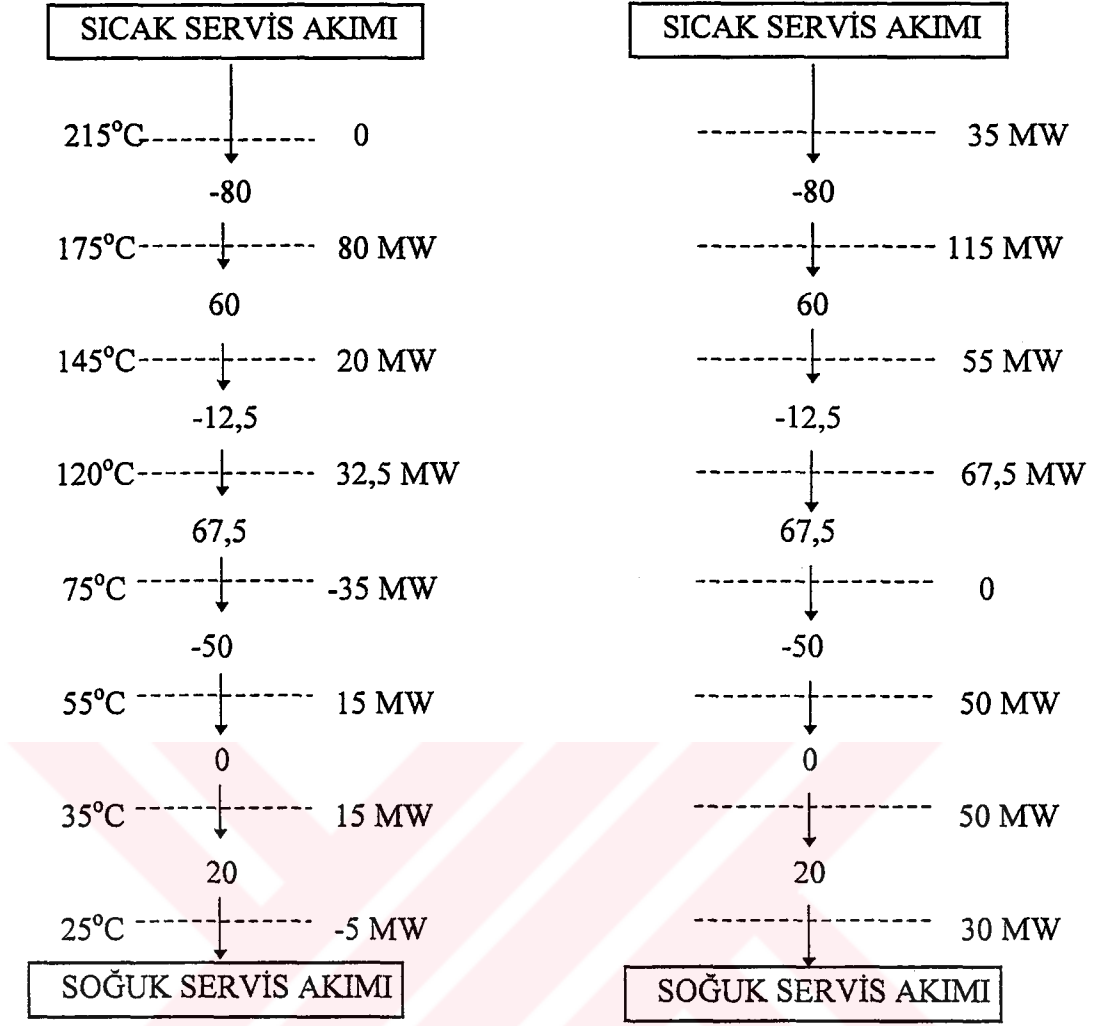
Tablo 3.6.4. Kaydırılmış Sıcaklıklar

Akım Nosu ve Hali	T_i^* ($^{\circ}\text{C}$)	T_o^* ($^{\circ}\text{C}$)
(1) Sıcak	215	35
(2) Sıcak	145	55
(3) Soğuk	25	120
(4) Soğuk	75	175

Sıcaklık Aralıkları(°C)	Akımlar	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$\Sigma C_{p_c} - \Sigma C_{p_h}$ (MW/°C)	$\Delta H_{\text{aralık}}$ (MW)
215°C	1			
		40	-2	-80
175°C				
		30	2	60
145°C	2			
		25	-0,5	-12,5
120°C				
		45	1,5	67,5
75°C				
	4	20	-2,5	-50
55°C				
		20	0	0
35°C				
		10	2	20
25°C	3			

Şekil 3.6.5. Sıcaklık Aralıklarında Isı Denklığı

Bir aralıktaki ısı, bir sonraki aralığa kademeli olarak verilir (Şekil 3.6.6).



Şekil 3.6.6. Kademeli Diyagram

Problem çizelge algoritmasına göre $T_d = 75^\circ\text{C}$, $Q_{h,\min} = 35 \text{ MW}$, $Q_{c,\min} = 30 \text{ MW}$ olarak bulunmuştur.

Dolayısıyla, darboğaz analizi uygulanarak, ısıtma yükü % 94,1 , soğutma yükü ise % 94,9 azaltılmıştır.

c) Bu kısımda, darboğaz analizi için geliştirilen ve darboğazın üstünde ve altında ısı değiştiricilerin yerleştirilmesine yardımcı THEN programından yararlanılmıştır. Aşağıda, program sonuçları tablolar ve ağ diyagramları halinde verilmektedir.

Tablo 3.6.5. Darboğaz Üstündeki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	T_{ci} (°C)	T_{ce} (°C)
1	4	1	190	220	125	113,8	161,3
2	3	1	90	125	80	70	115
3	4	2	175	150	80	70	113,8

Tablo 3.6.6. Isıtıcının Verileri

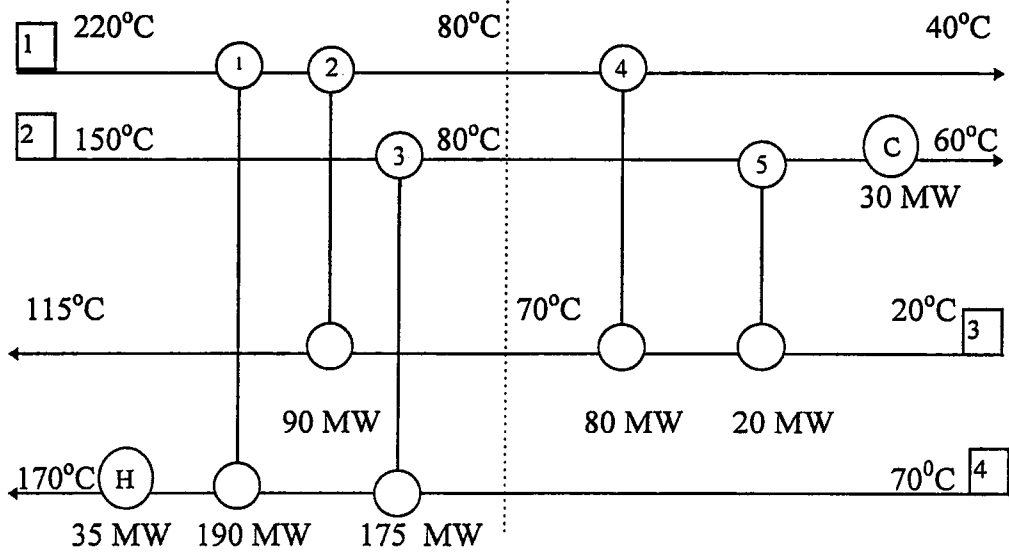
Isıtıcı	Akım No (Soğuk)	ISI (MW)	T_{ci} (°C)	T_{ce} (°C)	CP_c (MW/°C)
H	4	35	161,3	170	4

Tablo 3.6.7. Darboğaz Altındaki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	T_{ci} (°C)	T_{ce} (°C)
4	3	1	80	80	40	30	70
5	3	2	20	80	72	20	30

Tablo 3.6.8. Soğutucunun Verileri

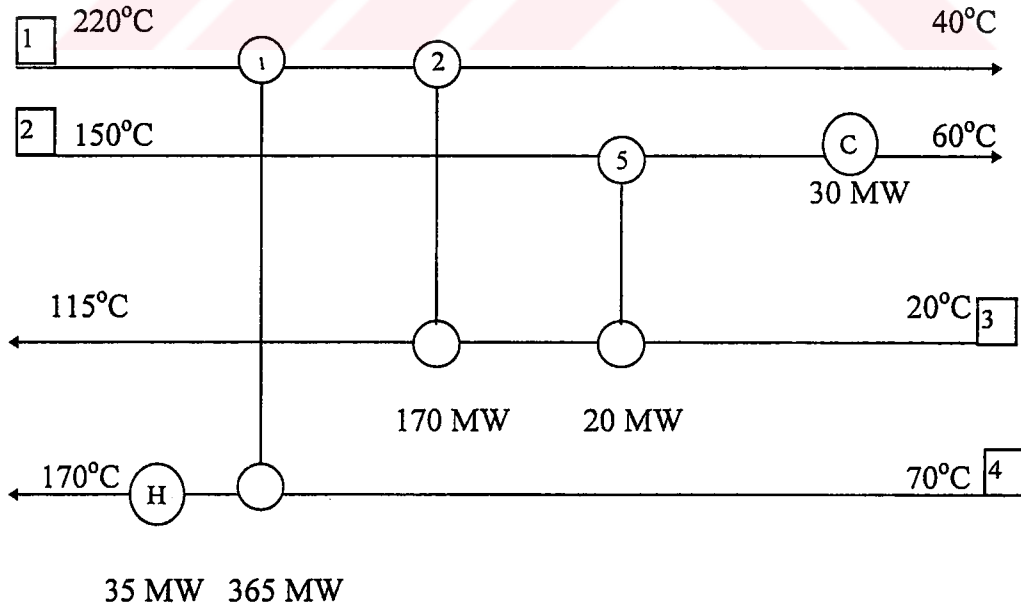
Soğutucu	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	CP_h (MW/°C)
C	2	30	72	60	2,5



Şekil 3.6.7. Ağ Tasarımı

$$N_{\min} = 4 + 2 - 1 = 5$$

Ancak, $N_{\min, \text{Mer}} = 7$ olduğuna göre, sistemde iki tane döngü vardır. Döngüler kırıldıktan sonra, aşağıdaki tasarım şekli geliştirilmiş olur.



Şekil 3.6.8. Tamamlanmış Tasarım (Minimum Birim Sayısı)

3.7. Uygulama 7 (19)

Bu uygulamada, Tablo 3.7.1'deki akım verileri kullanılarak,

- darboğaz analizi uygulanmadan önce sistemde gerekli olan sıcak ve soğuk servis akımı yükleri ve
- darboğaz analizi uygulandıktan sonra sistemde kullanılan servis akımı yükleri hesaplanacaktır; ayrıca,
- maksimum enerji geri kazanımı sağlayan bir ağ tasarlanacaktır.

Tablo 3.7.1. Akım Verileri

Akım Nosu ve Hali	Besleme Sıcaklığı (°C)	Hedef Sıcaklığı (°C)	Isı Kapasitesi (MW/°C)
(1) Soğuk	18	123	0,93
(2) Soğuk	118	193	1,96
(3) Soğuk	189	286	1,80
(4) Sıcak	159	77	2,29
(5) Sıcak	267	80	0,20
(6) Sıcak	343	90	0,54

Bu uygulama,

$\Delta T_{\min} = 5^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 10$ olurken, $Q_{c,\min} = 72$ MW, $Q_{h,\min} = 129,7$ MW olmaktadır (EK 7.1).

$\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 9$ olurken, $Q_{c,\min} = 81,8$ MW, $Q_{h,\min} = 139,6$ MW olmaktadır.

$\Delta T_{\min} = 15^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 11$ olurken, $Q_{c,\min} = 91,6$ MW, $Q_{h,\min} = 149,3$ MW olmaktadır (EK 7.2).

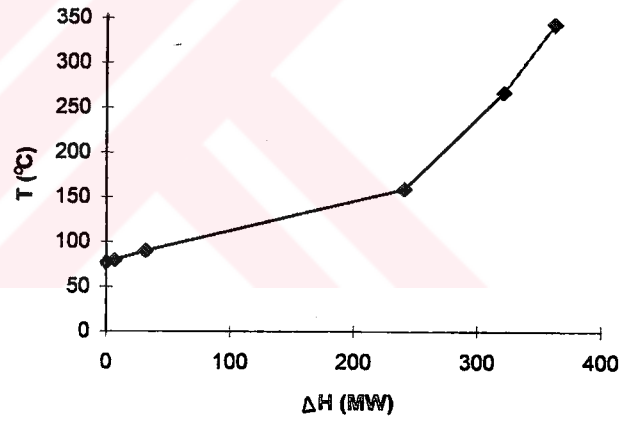
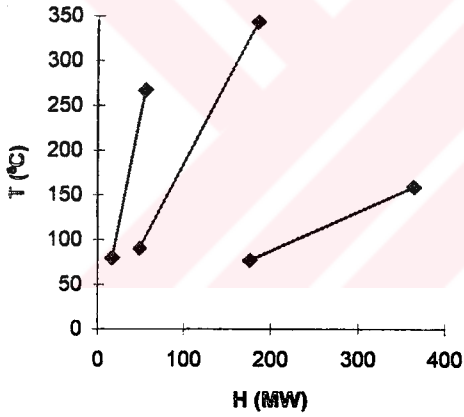
$\Delta T_{\min} = 20^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 11$ olurken, $Q_{c,\min} = 101,4$ MW, $Q_{h,\min} = 159,1$ MW olmaktadır (EK 7.3).

Hesaplamalar, $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için ayrıntılı bir şekilde aşağıda verilmiştir.

a) Tablo 3.7.1'deki veriler kullanılarak hazırlanan sıcak ve soğuk akımların eğrileri; ayrıca, Tablo 3.7.2 ve Tablo 3.7.3'deki veriler temelinde çizilen sıcak ve soğuk bileşik eğriler sırasıyla Şekil 3.7.1 ve Şekil 3.7.2'de verilmektedir.

Tablo 3.7.2. Sıcak Bileşik Eğri Verileri

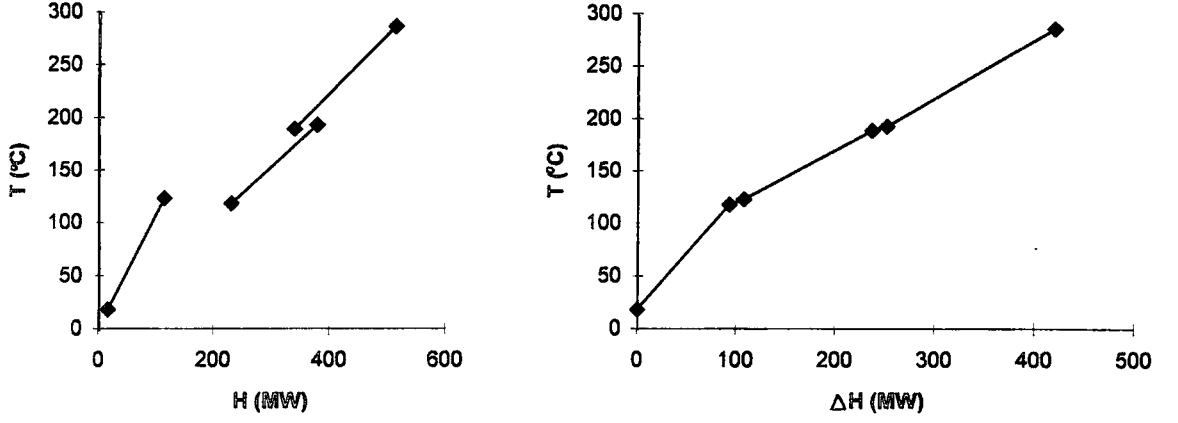
Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{c.maks}$ (MW)
(4) Sıcak	2,285	3	6,855
(4+5) Sıcak	2,489	10	24,890
(4+5+6) Sıcak	3,027	69	208,863
(5+6) Sıcak	0,742	108	80,136
(6) Sıcak	0,538	76	40,888



Şekil 3.7.1. (a) Sıcak Akımlar, (b) Sıcak Bileşik Eğri

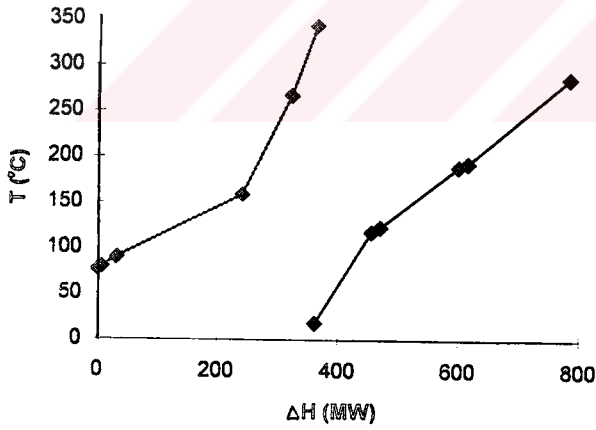
Tablo 3.7.3. Soğuk Bileşik Eğri Verileri

Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{h.maks}$ (MW)
(1) Soğuk	0,933	100	93,300
(1+2) Soğuk	2,894	5	14,470
(2) Soğuk	1,961	66	129,426
(2+3) Soğuk	3,757	4	15,028
(3) Soğuk	1,796	93	167,028



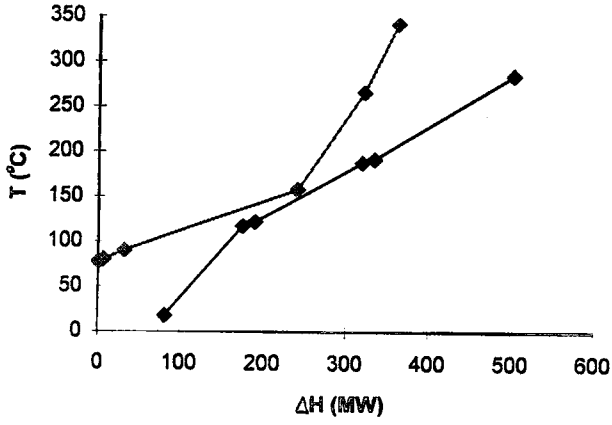
Şekil 3.7.2. (a) Soğuk Akımlar, (b) Soğuk Bileşik Eğri

Şekil 3.7.3'de gösterildiği gibi, sisteme 419,252 MW ısı verilmesi ($Q_{h,maks}$) ve sistemden 361,632 MW ısı alınması ($Q_{c,maks}$) gerekir.



Şekil 3.7.3. Bileşik Eğriler

b) Bileşik eğriler $\Delta T_{min} = 10^\circ\text{C}$ olacak şekilde birbirlerine yaklaştırılarak (Şekil 3.7.4), darboğaz sıcaklığı 154°C olarak bulunur. Bu yöntemle göre, minimum soğutma yükü 81,852 MW, minimum ısıtma yükü ise 139,472 MW olarak saptanır.



Şekil 3.7.4. Yaklaşırlmış Bileşik Eğriler

Problem çizelge algoritması uygulanırken, sıcak akımların sıcaklıkları 5°C kadar azaltılarak ve soğuk akımların sıcaklıkları 5°C kadar arttırılarak, kaydırılmış sıcaklıklar (T^*) bulunur (Tablo 3.7.4) ve her kaydırılmış sıcaklık aralığı için ısı denklığı kurulur (Şekil 3.7.5).

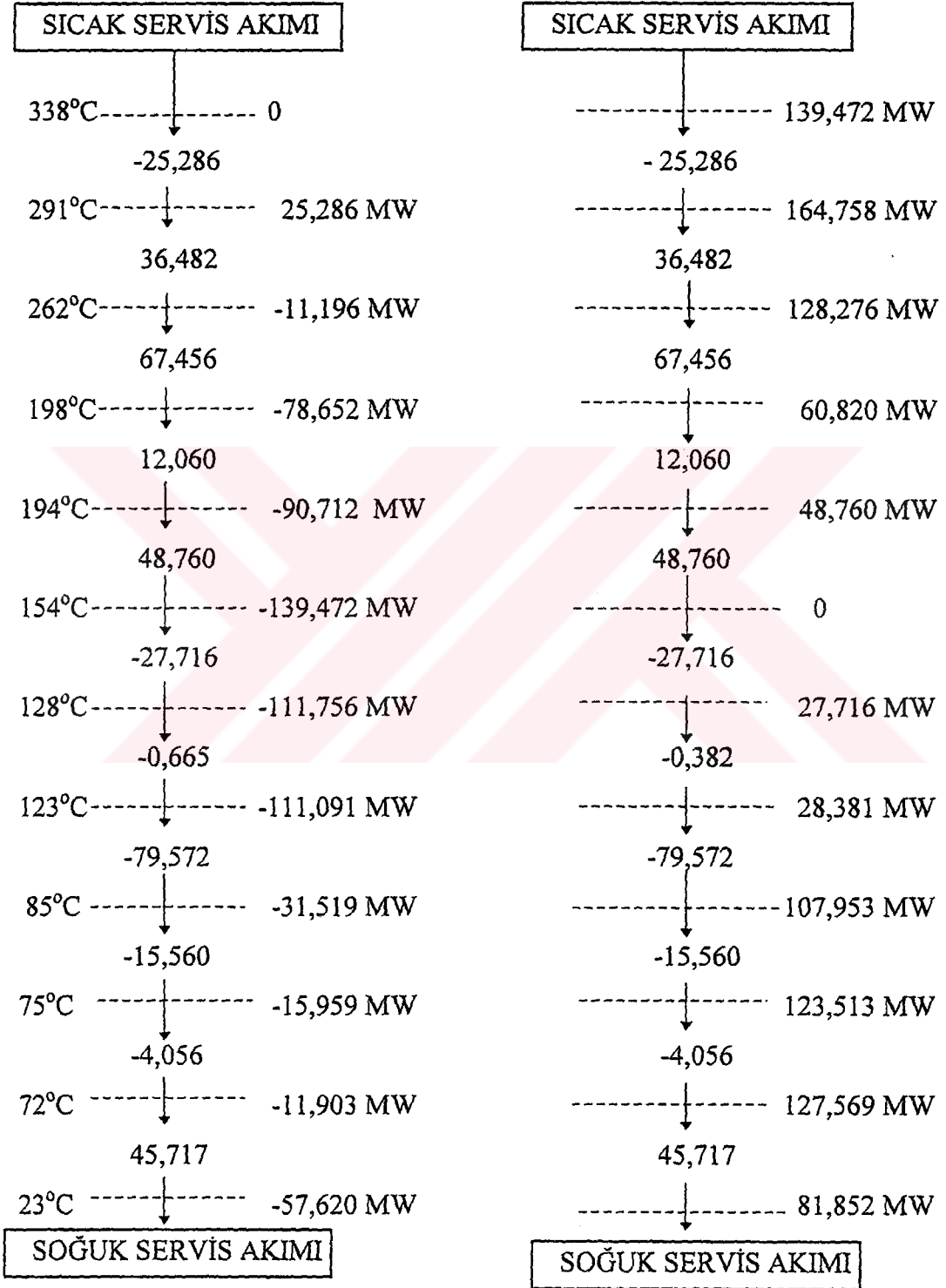
Tablo 3.7.4. Kaydırılmış Sıcaklıklar

Akım Nosu ve Hali	T_i^* ($^{\circ}\text{C}$)	T_o^* ($^{\circ}\text{C}$)
(1) Soğuk	23	128
(2) Soğuk	123	198
(3) Soğuk	194	291
(4) Sıcak	154	72
(5) Sıcak	262	75
(6) Sıcak	338	85

Sıcaklık Aralıkları (°C)	Akımlar	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$\Sigma C_{p_c} - \Sigma C_{p_h}$ (MW/°C)	$\Delta H_{\text{aralık}}$ (MW)
338°C				
		47	-0,538	-25,286
291°C				
		29	1,258	36,482
262°C				
		64	1,054	67,456
198°C				
		4	3,015	12,060
194°C				
		40	1,219	48,760
154°C				
		26	-1,066	-27,716
128°C				
		5	-0,133	-0,665
123°C				
		38	-2,094	-79,572
85°C				
		10	-1,556	-15,560
75°C				
		3	-1,352	-4,056
72°C				
		49	0,933	45,717
23°C				

Şekil 3.7.5. Sıcaklık Aralıklarında Isı Denkliği

Bir aralıktaki ısı, bir sonraki aralığa kademeli olarak verilir (Şekil 3.7.6).



Şekil 3.7.6. Kademeli Diyagram

Problem çizelge algoritmasına göre de $T_d = 154^\circ\text{C}$, $Q_{h,\min} = 139,472 \text{ MW}$ ve $Q_{c,\min} = 81,852 \text{ MW}$ olarak bulunmuştur.

Dolayısıyla, darboğaz analizi uygulanarak, ısıtma yükü % 66,7 , soğutma yükü ise % 77,4 azaltılmıştır.

c) Bu kısımda, darboğaz analizi için geliştirilen ve darboğazın üstünde ve altında ısı değiştiricilerin yerleştirilmesine yardımcı THEN programından yararlanılmıştır.

Tablo 3.7.5. Darboğaz Üstündeki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	$T_{hi} (^\circ\text{C})$	$T_{he} (^\circ\text{C})$	$T_{ci} (^\circ\text{C})$	$T_{ce} (^\circ\text{C})$
1	3	6	34,6	343	342,9	189	208,26
2	2	5	22	267	159	190,21	181,78
3	3	6	64,3	342,9	159	181,78	179

Tablo 3.7.6. Isıtıcının Verileri

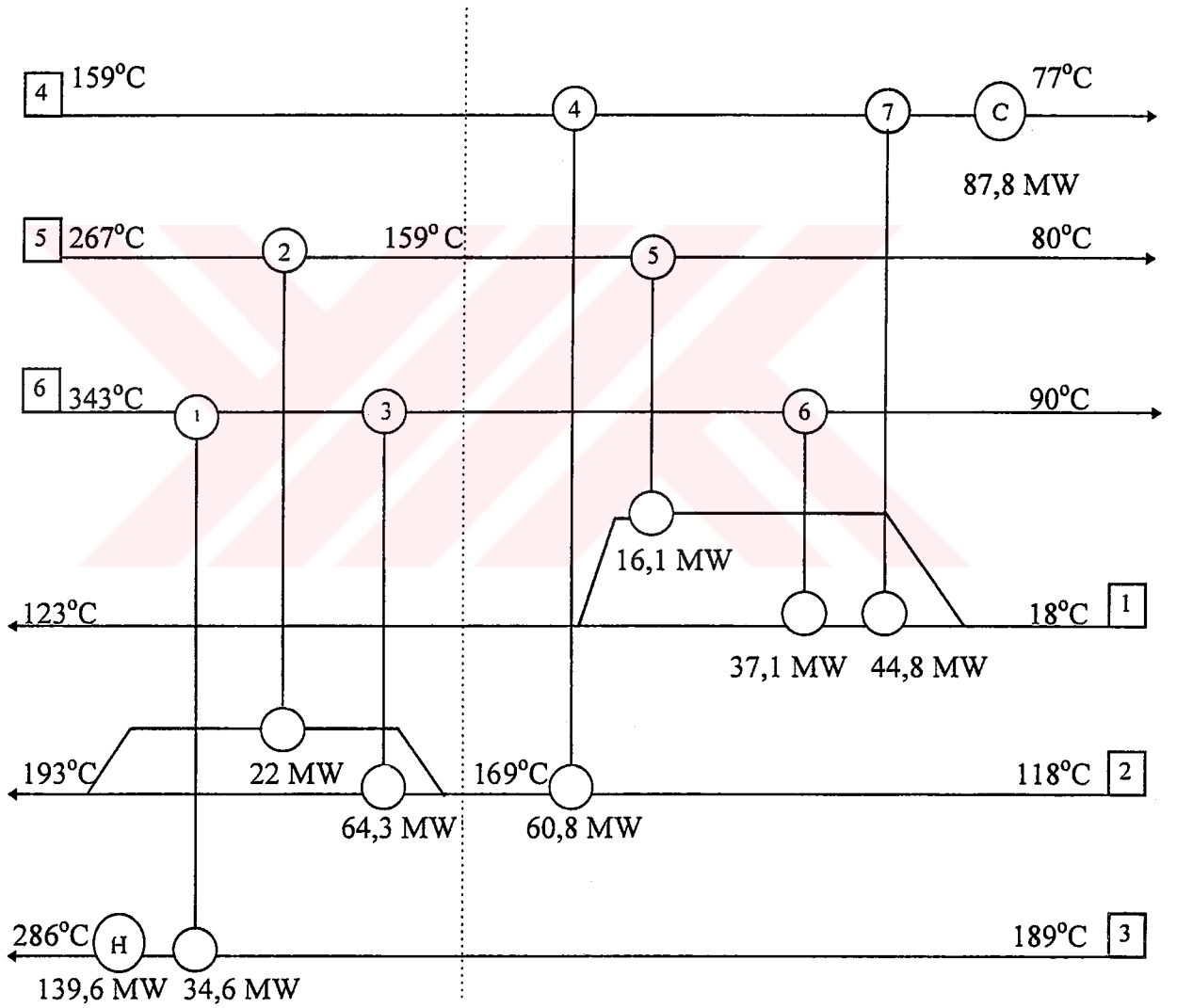
Isıtıcı	Akım No (Soğuk)	ISI (MW)	$T_{ci} (^\circ\text{C})$	$T_{ce} (^\circ\text{C})$	$CP_c (\text{MW}/^\circ\text{C})$
1	3	139,6	208,26	189	1,796

Tablo 3.7.7. Darboğaz Altındaki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	$T_{hi} (^\circ\text{C})$	$T_{he} (^\circ\text{C})$	$T_{ci} (^\circ\text{C})$	$T_{ce} (^\circ\text{C})$
4	2	4	60,8	159	132,39	179	118
5	1	5	16,1	159	80	66,1	123
6	1	6	37,1	159	90	66	66,1
7	1	4	44,8	132,39	132,34	18	66

Tablo 3.7.8. Soğutucunun Verileri

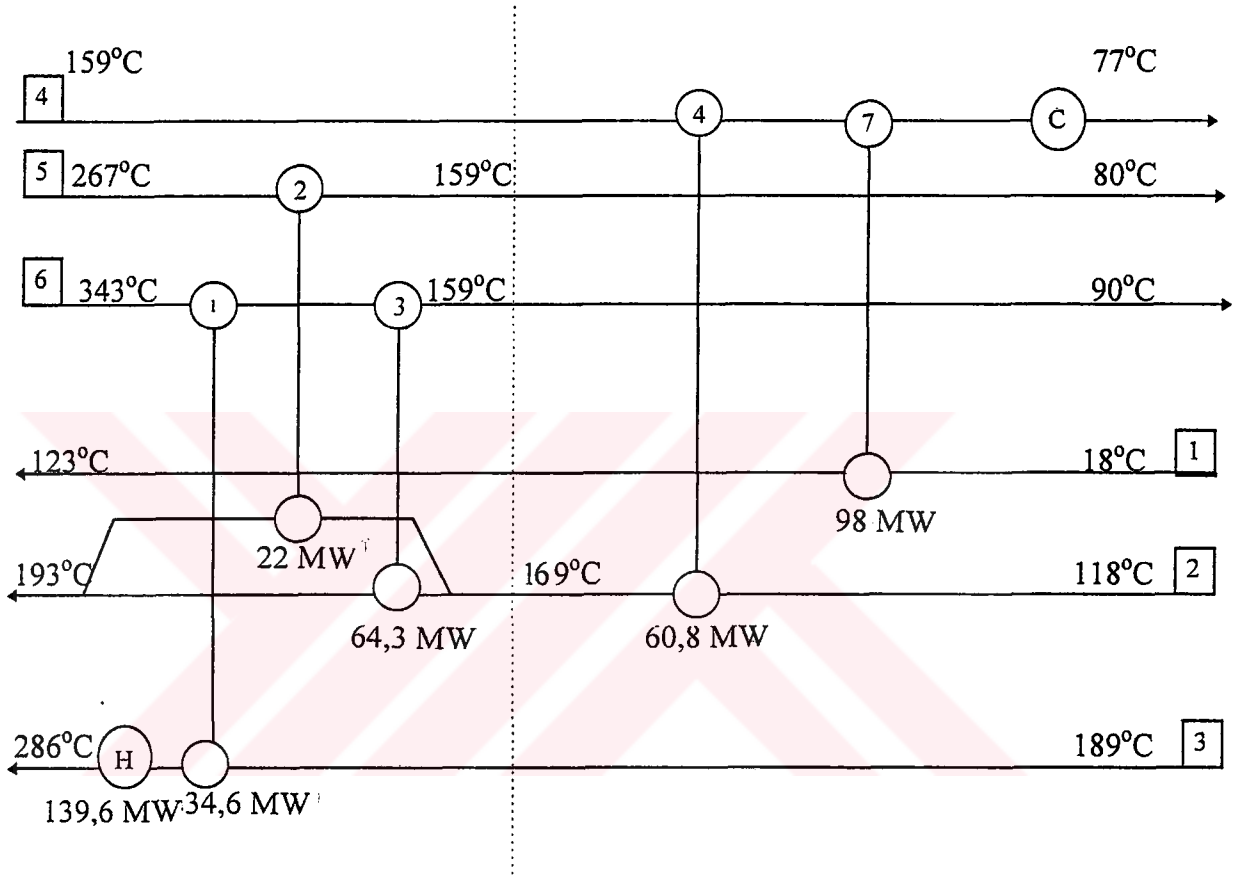
Soğutucu	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	CP_h (MW/°C)
1	4	81,8	132,39	77	2,285



Şekil 3.7.7. Ağ Diyagramı

$$N_{\min} = 6 + 2 - 1 = 7$$

Ancak, $N_{\min, \text{MER}} = 9$ olduğuna göre, sistemde iki tane döngü vardır. Döngüler kırıldıktan sonra, aşağıdaki tasarım şekli geliştirilmiş olur.



Şekil 3.8.8. Tamamlanmış Tasarım

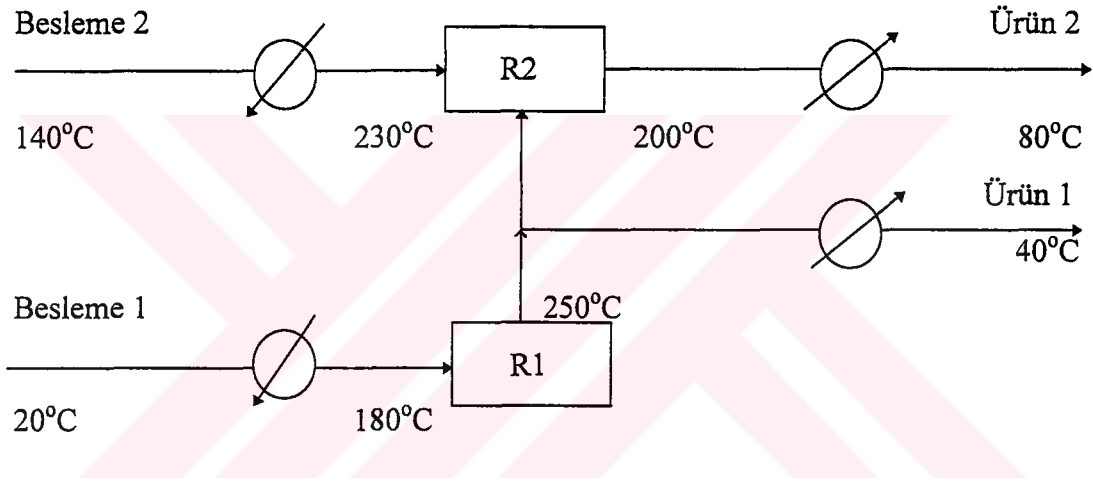
Darboğazdaki sıcak uç akım sayısı, minimum servis akımı tasarımına, sadece her sıcak akım için bir darboğaz eşlenmesi bulunabilirse uygundur. Bunun olabilmesi için $NH \leq NC$ eşitsizliği uygulanır. Eşitsizliğin sağlanması için, akım bölünmesi gerekli olabilir.

Darboğazın altında, bunların tam tersi uygulanır. Servis akımı ısıtmasını incelemek için, her soğuk akımın proses ısı değişimiyle darboğaz sıcaklığına getirilmesi gerekir. Bunun olabilmesi için $NH \geq NC$ eşitsizliği uygulanır.

3.8. Uygulama 8 (7)

Bu uygulamada, Şekil 3.8.1'de gösterilen akış şeması için Tablo 3.8.1'deki akım verileri kullanılarak,

- darboğaz analizi uygulanmadan önce sistemde gerekli olan sıcak ve soğuk servis akımı yükleri ve
- darboğaz analizi uygulandıktan sonra sistemde kullanılan servis akımı yükleri hesaplanacaktır; ayrıca,
- maksimum enerji geri kazanımı sağlayan bir ağ tasarlanacaktır.



Şekil 3.8.1. Akış Şeması

Tablo 3.8.1. Akım Verileri

Akım Nosu ve Hali	T_i (°C)	T_o (°C)	Isı Kapasitesi (MW/ °C)
(1) Soğuk	20	180	0,20
(2) Sıcak	250	40	0,15
(3) Soğuk	140	230	0,30
(4) Sıcak	200	80	0,25

Bu uygulama,

$\Delta T_{\min} = 5^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 7$ olurken, $Q_{c,\min} = 8$ MW, $Q_{h,\min} = 5,5$ MW olmaktadır (EK 5.1).

$\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 7$ olurken, $Q_{c,\min} = 10$ MW, $Q_{h,\min} = 7,5$ MW olmaktadır.

$\Delta T_{\min} = 15^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 7$ olurken, $Q_{c,\min} = 12$ MW, $Q_{h,\min} = 9,5$ MW olmaktadır (EK5.2).

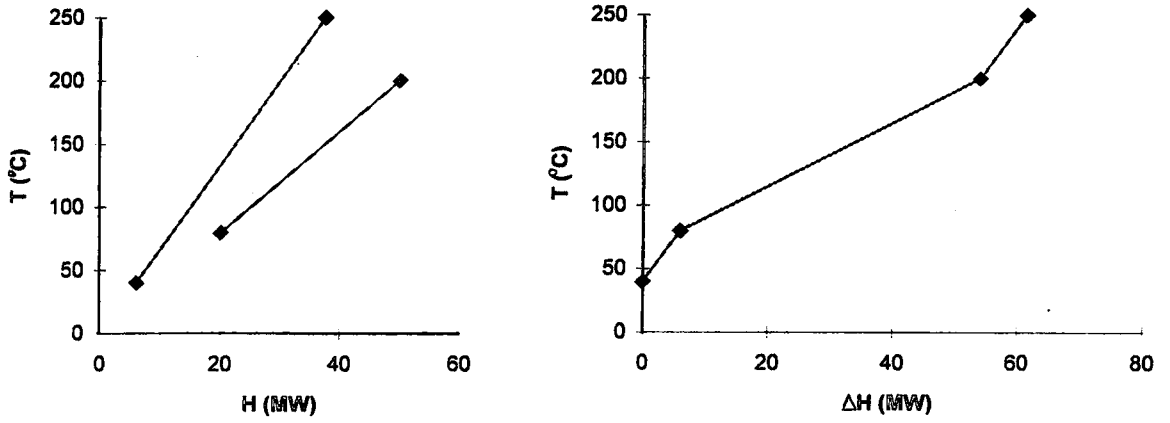
$\Delta T_{\min} = 20^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 7$ olurken, $Q_{c,\min} = 14$ MW, $Q_{h,\min} = 11,5$ MW olmaktadır (EK 5.3).

Hesaplamalar, $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için ayrıntılı bir şekilde aşağıda verilmektedir.

a) Tablo 3.8.1'deki veriler kullanılarak hazırlanan sıcak ve soğuk akımların eğrileri; ayrıca, Tablo 3.8.2 ve Tablo 3.8.3'deki veriler temelinde çizilen sıcak ve soğuk bileşik eğriler sırasıyla Şekil 3.8.2 ve Şekil 3.8.3'de verilmektedir.

Tablo 3.8.2. Sıcak Bileşik Eğri Verileri

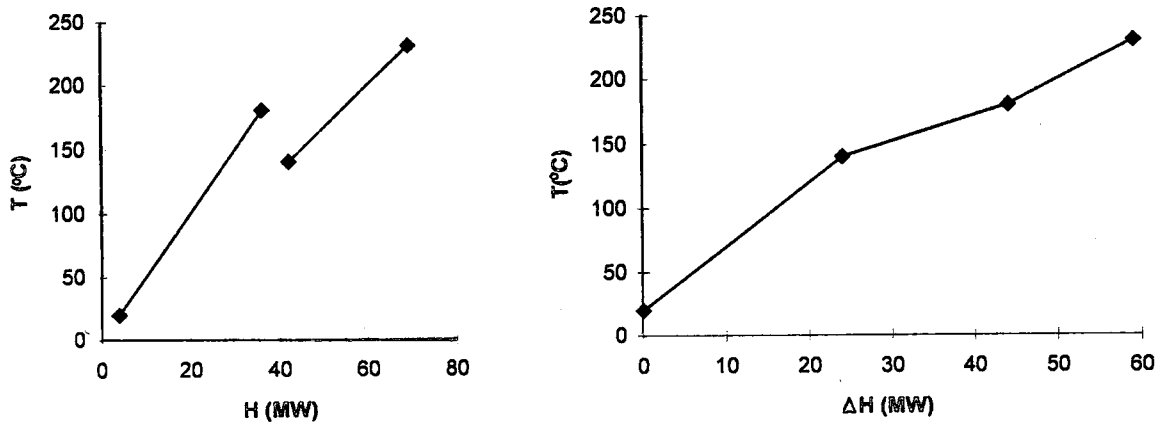
Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{c,\text{maks}}$ (MW)
(2) Sıcak	0,15	40	6
(2+4) Sıcak	0,40	120	48
(2) Sıcak	0,15	50	7,5



Şekil 3.8.2. (a) Sıcak Akımlar, (b) Sıcak Bileşik Eğri

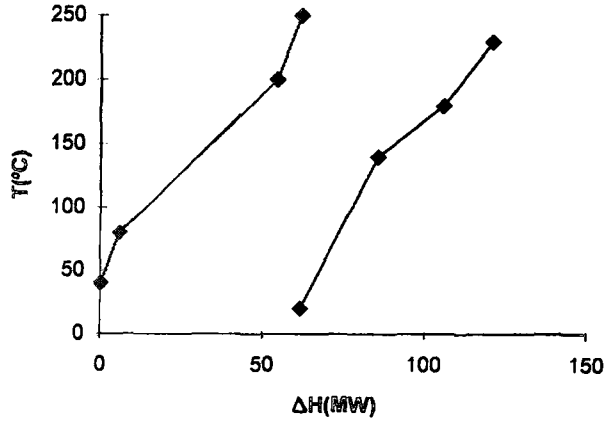
Tablo 3.8.3. Soğuk Bileşik Eğri Verileri

Akım Nosu ve Hali	CP(MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{h,\text{maks}}$ (MW)
(1) Soğuk	0,2	120	24
(1+3) Soğuk	0,5	40	20
(3) Soğuk	0,3	50	15



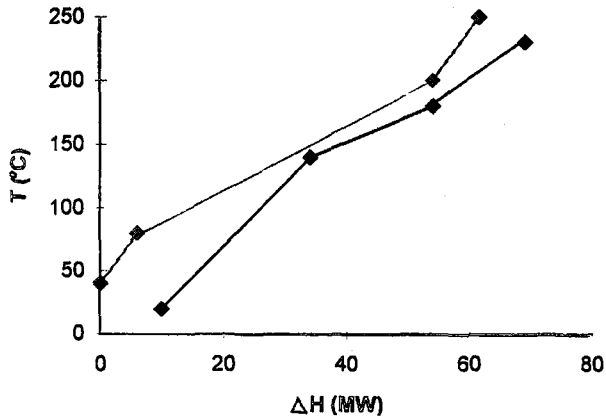
Şekil 3.8.3. (a) Soğuk Akımlar, (b) Soğuk Bileşik Eğri

Şekil 3.8.4'de gösterildiği gibi, sisteme 59 MW ısı verilmesi ($Q_{h,maks}$) ve sistemden 61,5 MW ısı alınması ($Q_{c,maks}$) gerekir.



Şekil 3.8.4. Bileşik Eğriler

b) Bileşik eğriler $\Delta T_{min} = 10^\circ\text{C}$ olacak şekilde birbirlerine yaklaştırılarak (Şekil 3.8.5), darboğaz sıcaklığı 145°C olarak bulunur. Bu yöntemle göre, minimum soğutma yükü 10 MW, minimum ısıtma yükü ise 7,5 MW olarak saptanır.



Şekil 3.8.5. Yaklaştırılmış Bileşik Eğri

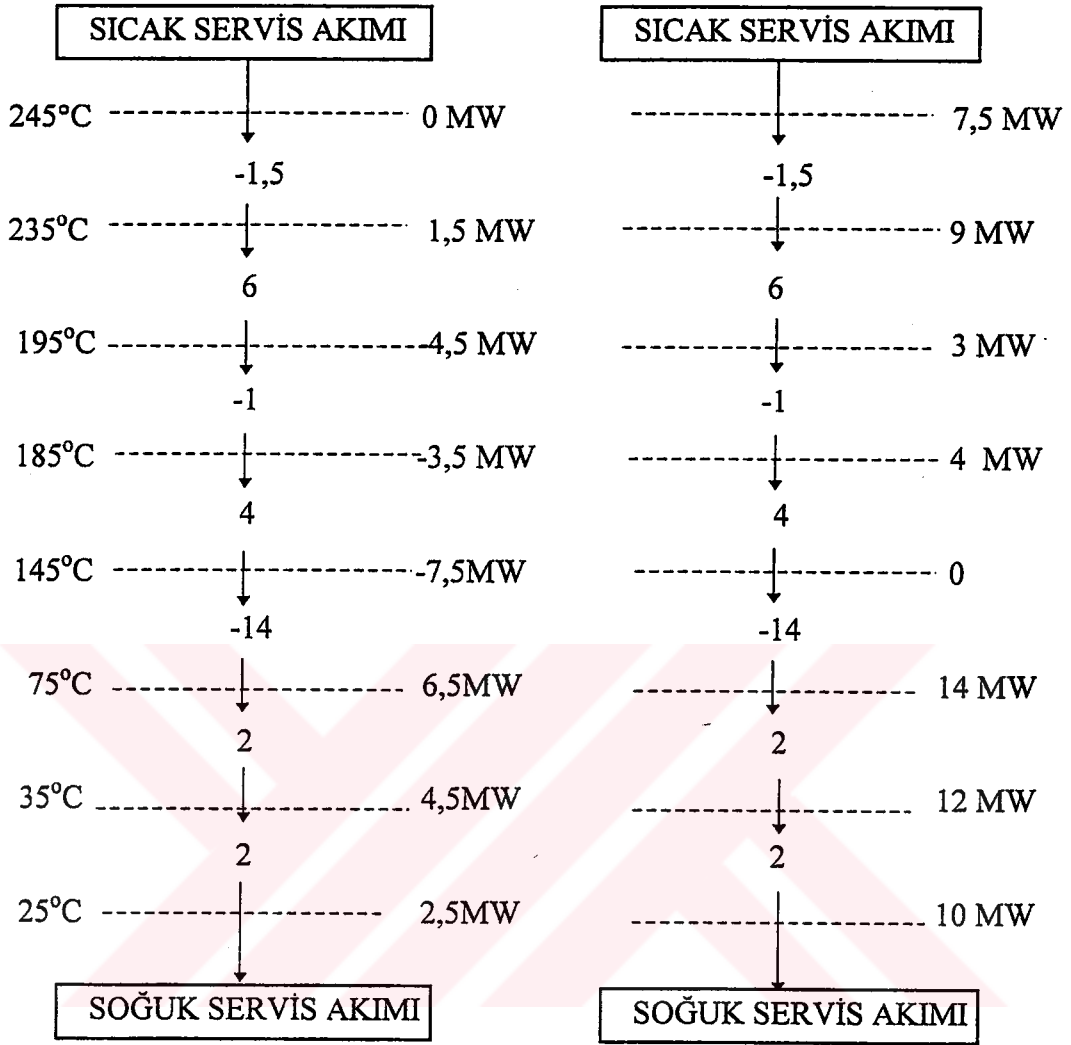
Problem çizelge algoritması uygulanırken, sıcak akımların sıcaklıkları 5°C kadar azaltılarak ve soğuk akımların sıcaklıkları 5°C kadar artırılarak, kaydırılmış sıcaklıklar (T^*) bulunur (Tablo 3.8.4) ve her kaydırılmış sıcaklık aralığı için ısı denklığı kurulur (Şekil 3.8.6)

Tablo 3.8.4. Kaydırılmış Sıcaklıklar

Akım no ve hali	T_i^* (°C)	T_o^* (°C)
(1) Soğuk	25	185
(2) Sıcak	245	35
(3) Soğuk	145	235
(4) Sıcak	195	75

Sıcaklık Aralıkları (°C)	Akımlar	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$\Sigma C_{p_c} - \Sigma C_{p_h}$ (MW/°C)	$\Delta H_{\text{aralık}}$ (MW)
245	2			
		10	-0,15	-1,5
235				
		40	0,15	6,0
195	4			
		10	-0,10	-1,0
185				
		40	0,10	4,0
145	3			
		70	-0,20	-14,0
75				
		40	0,05	2,0
35				
		10	0,2	2,0
25	1			

Şekil 3.8.6 Sıcaklık Aralıklarındaki Isı Denklığı



Şekil 3.8.7. Kademeli Diyagram

Problem çizelge algoritmasına göre de $T_d = 145^\circ\text{C}$, $Q_{h,\min} = 7,5 \text{ MW}$ ve $Q_{c,\min} = 10 \text{ MW}$ olarak bulunmuştur.

Dolayısıyla, darboğaz analizi uygulanarak, ısıtma yükü % 87,3 , soğutma yükü ise % 83,7 azaltılmıştır.

c) Bu kısımda, darboğaz analizi için geliştirilen ve darboğazın üstünde ve altında ısı değiştiricilerin yerleştirilmesine yardımcı THEN programından yararlanılmıştır.

Aşağıda, program sonuçları tablolar ve ağ diyagramları halinde verilmektedir.

Tablo 3.8.5. Darboğaz Üstündeki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	T_{ci} (°C)	T_{ce} (°C)
1	3	2	7	250	203,3	181,7	230
2	1	2	8	203,3	150	140	180
3	3	4	12,5	200	150	140	181,7

Tablo 3.8.6. Isıtıcının Verileri

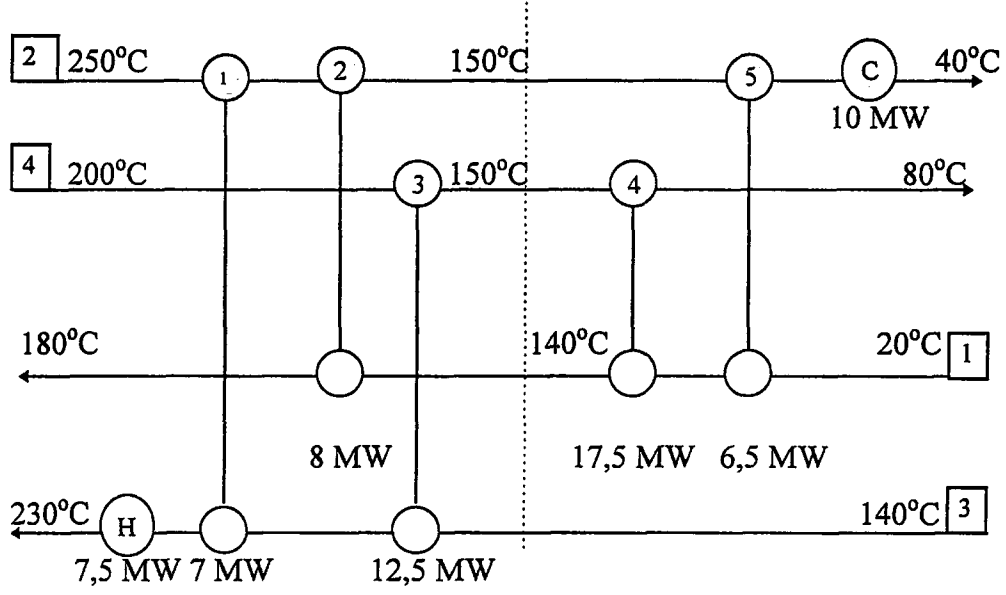
Isıtıcı	Akım No (Soğuk)	ISI (MW)	T_{ci} (°C)	T_{ce} (°C)	CP_c (MW/°C)
H	3	7,5	205	230	0,3

Tablo 3.8.7. Darboğaz Altındaki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	T_{ci} (°C)	T_{ce} (°C)
4	1	4	17,5	150	80	52,5	140
5	1	2	6,5	150	106,7	20	52,5

Tablo 3.8.8. Soğutucunun Verileri

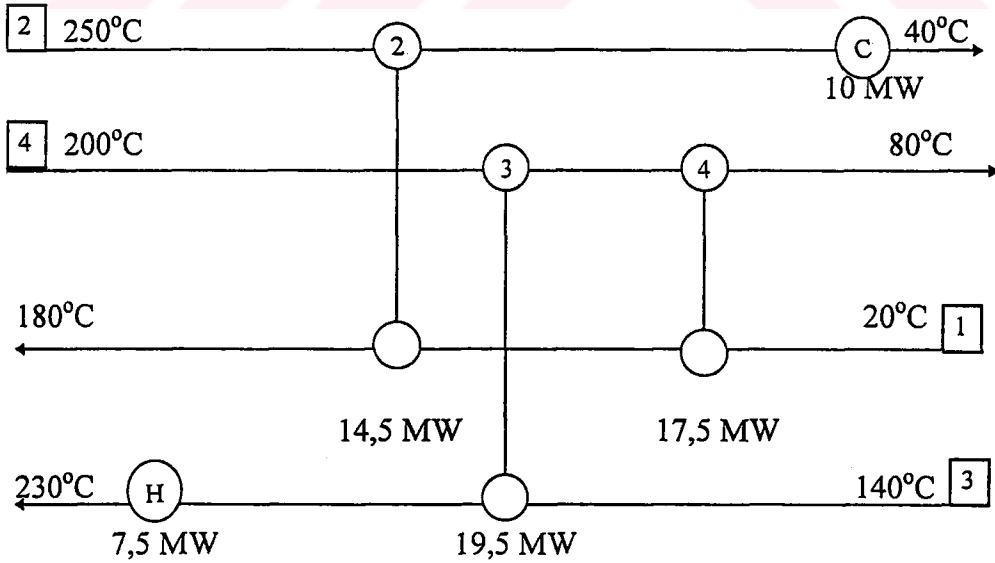
Soğutucu	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	CP_h (MW/°C)
C	2	10	106,7	40	0,15



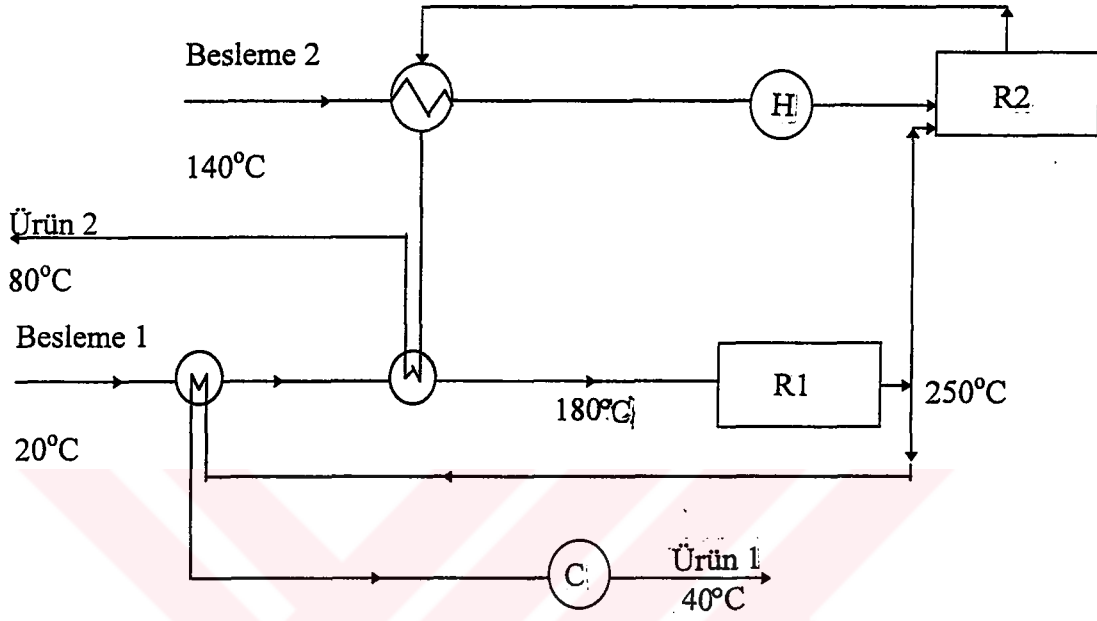
Şekil 3.8.7. Ağ Diyagramı

$$N_{\min} = 4 + 2 - 1 = 5$$

Ancak, $N_{\min, \text{MER}} = 7$ olduğuna göre, sistemde iki döngü vardır. Döngüler kırıldıktan sonra, aşağıdaki tasarım şekli geliştirilmiş olur.



Şekil 3.8.8. Tamamlanmış Tasarım (Minimum ısı değiştirici sayısı)

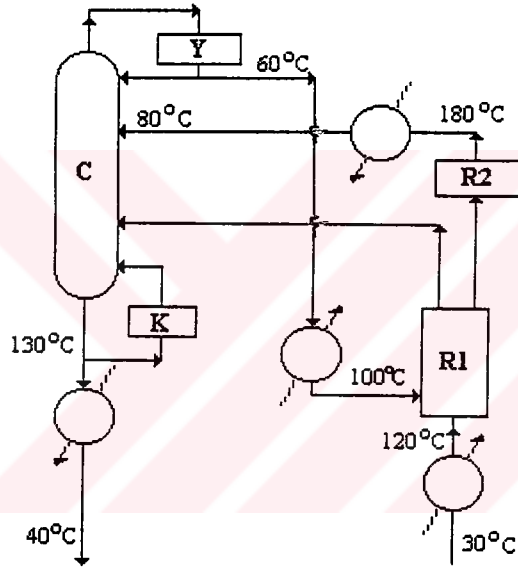


Şekil 3.8.9. Tamamlanmış Akış Şeması

3.9. Uygulama 9 (19)

Bu uygulamada, Şekil 3.9.1'de gösterilen akış şeması için Tablo 3.9.1'deki akım verileri kullanılarak,

- darboğaz analizi uygulanmadan önce sistemde gerekli olan sıcak ve soğuk servis akımı yükleri ve
- darboğaz analizi uygulandıktan sonra sistemde kullanılan servis akımı yükleri hesaplanacaktır; ayrıca,
- maksimum enerji geri kazanımı sağlayan bir ağ tasarlanacaktır.



Şekil 3.9.1. Akış Şeması

Tablo 3.9.1. Akım Verileri

Akım Nosu ve Hali	Besleme Sıcaklığı (°C)	Hedef Sıcaklığı (°C)	Isı Kapasitesi (MW/°C)
(1) Sıcak	180	80	1
(2) Sıcak	130	40	2
(3) Soğuk	60	100	4
(4) Soğuk	30	120	1,8

Bu uygulama,

$\Delta T_{\min} = 5^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, darboğaz oluşmamaktadır (EK 9.1).

$\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 6$ MW, $Q_{h,\min} = 48$ MW olmaktadır.

$\Delta T_{\min} = 15^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 16$ MW, $Q_{h,\min} = 58$ MW olmaktadır (EK 9.2).

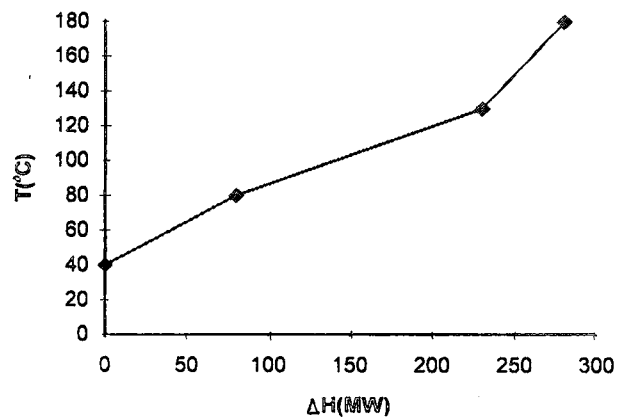
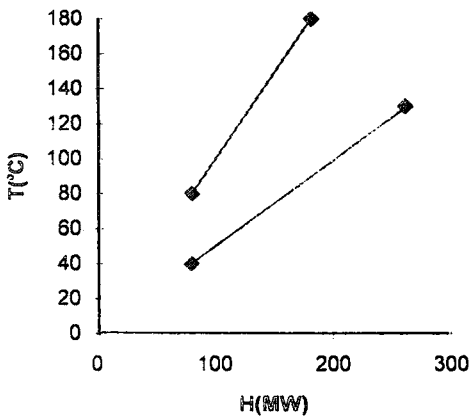
$\Delta T_{\min} = 20^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 26$ MW, $Q_{h,\min} = 68$ MW olmaktadır (EK 9.3).

Hesaplamalar, $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için ayrıntılı olarak aşağıda verilmektedir.

a) Tablo 3.9.1'deki veriler kullanılarak hazırlanan sıcak ve soğuk akımların eğrileri; ayrıca, Tablo 3.9.1 ve Tablo 3.9.3'deki veriler temelinde çizilen sıcak ve soğuk bileşik eğriler sırasıyla Şekil 3.9.2 ve Şekil 3.9.3'de verilmektedir.

Tablo 3.9.1. Sıcak Bileşik Eğri Verileri

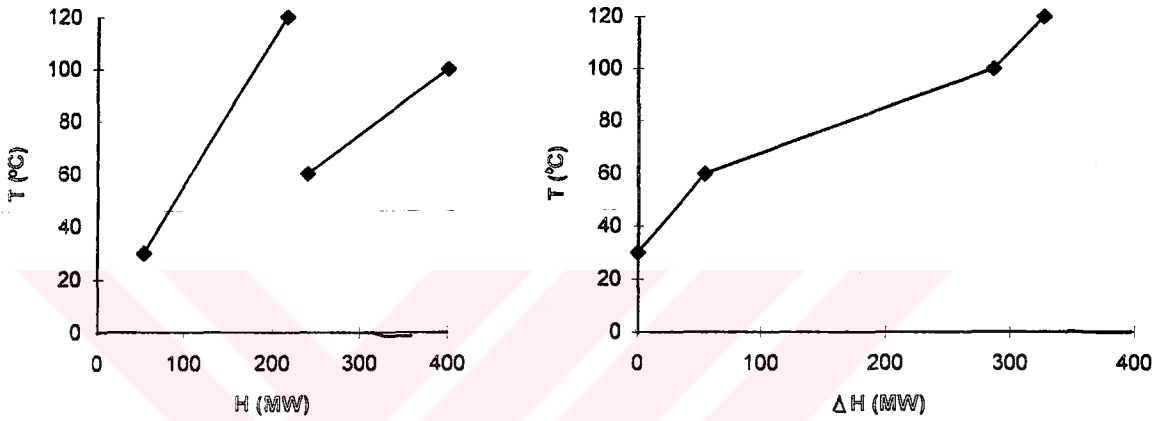
Akım Nosu ve Hali	C_p (MW/ $^{\circ}\text{C}$)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$Q_{c,\text{maks}}$ (MW)
(2) Sıcak	2	40	80
(1+2) Sıcak	3	50	150
(1) Sıcak	1	50	50



Şekil 3.9.2. (a) Sıcak Akımlar (b) Sıcak Bileşik Eğri

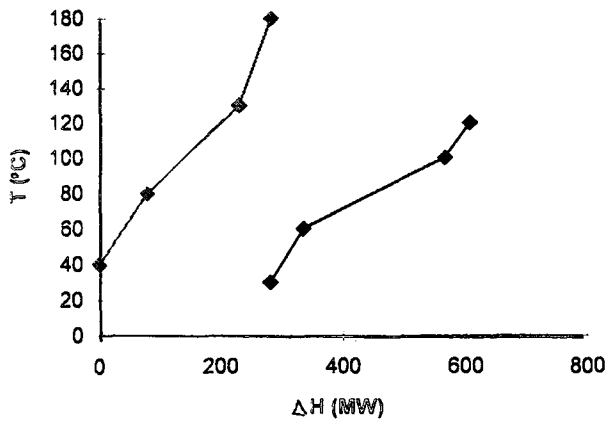
Tablo 3.9.3. Soğuk Bileşik Eğri Verileri

Akım Nosu ve Hali	CP(MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{h,\text{maks}}$ (MW)
(4) Soğuk	1,8	30	54
(3+4) Soğuk	5,8	40	232
(3) Soğuk	1,8	20	36



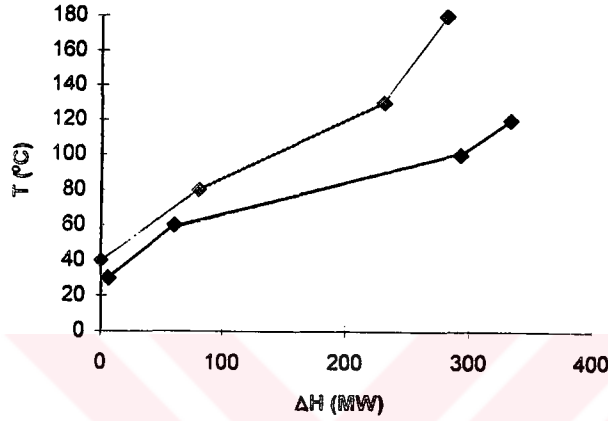
Şekil 3.9.3. (a) Soğuk Akımlar, (b) Soğuk Bileşik Eğri

Şekil 3.9.4'de gösterildiği gibi, sisteme 322 MW ısı verilmesi ($Q_{h,\text{maks}}$) ve sistemden 280 MW ısı alınması ($Q_{c,\text{maks}}$) gerekir.



Şekil 3.9.4. Bileşik Eğriler

b) Bileşik eğriler $\Delta T_{\min} = 10^\circ\text{C}$ olacak şekilde birbirlerine yaklaştırılarak (Şekil 3.9.5), darboğaz sıcaklığı 65°C olarak bulunur. Bu yöntemle göre, minimum soğutma yükü 6 MW, minimum ısıtma yükü ise 48 MW olarak saptanır.



Şekil 3.9.5. Yaklaştırılmış Bileşik Eğriler

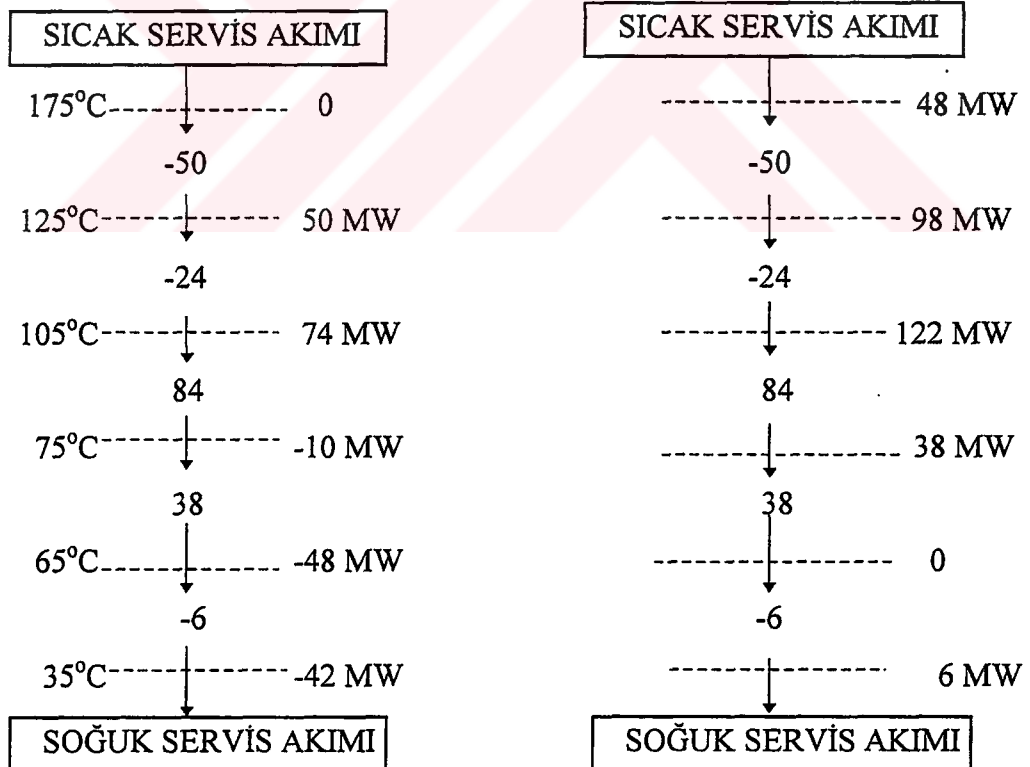
Problem çizelge algoritması uygulanırken, sıcak akımların sıcaklıkları 5°C kadar azaltılarak ve soğuk akımların sıcaklıkları 5°C kadar artırılarak, kaydırılmış sıcaklıklar (T^*) bulunur (Tablo 3.9.4) ve her kaydırılmış sıcaklık aralığı için ısı denkligi kurulur (Şekil 3.9.6).

Tablo 3.9.4. Kaydırılmış Sıcaklıklar

Akım Nosu ve Hali	T_i^* ($^\circ\text{C}$)	T_o^* ($^\circ\text{C}$)
(1) Sıcak	175	75
(2) Sıcak	125	35
(3) Soğuk	65	105
(4) Soğuk	35	125

Sıcaklık Aralıkları (°C)	Akımlar	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$\Sigma C_{p_c} - \Sigma C_{p_h}$ (MW/°C)	$\Delta H_{\text{aralık}}$ (MW)
175°C	1			
125°C		50	-1	-50
105°C	2	20	-1,2	-24
75°C		30	2,8	84
65°C		10	3,8	38
35°C	3	30	-0,2	-6
	4			

Şekil 3.9.6. Sıcaklık Aralıklarındaki Isı Denkliği



Şekil 3.9.7 Kademeli Diyagram

Problem çizelge algoritmasına göre de, $T_d = 65 \text{ }^\circ\text{C}$, $Q_{h,\min} = 48 \text{ MW}$ ve $Q_{c,\min} = 6 \text{ MW}$ olarak bulunmuştur.

Dolayısıyla, darboğaz analizi uygulanarak, ısıtma yükü % 85,1 , soğutma yükü ise % 97,9 azaltılmıştır.

c) Bu kısımda, darboğaz analizi için geliştirilen ve darboğazın üstünde ve altında ısı değiştiricilerin yerleştirilmesine yardımcı THEN programından yararlanılmıştır.

Aşağıda, program sonuçları tablolar ve ağ diyagramları halinde verilmektedir.

Tablo 3.9.5. Darboğaz Üstündeki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} ($^\circ\text{C}$)	T_{he} ($^\circ\text{C}$)	T_{ci} ($^\circ\text{C}$)	T_{ce} ($^\circ\text{C}$)
1	4	1	100	180	80	60	115,6
2	3	2	120	130	70	60	90

Tablo 3.9.6. Isıtıcıların Verileri

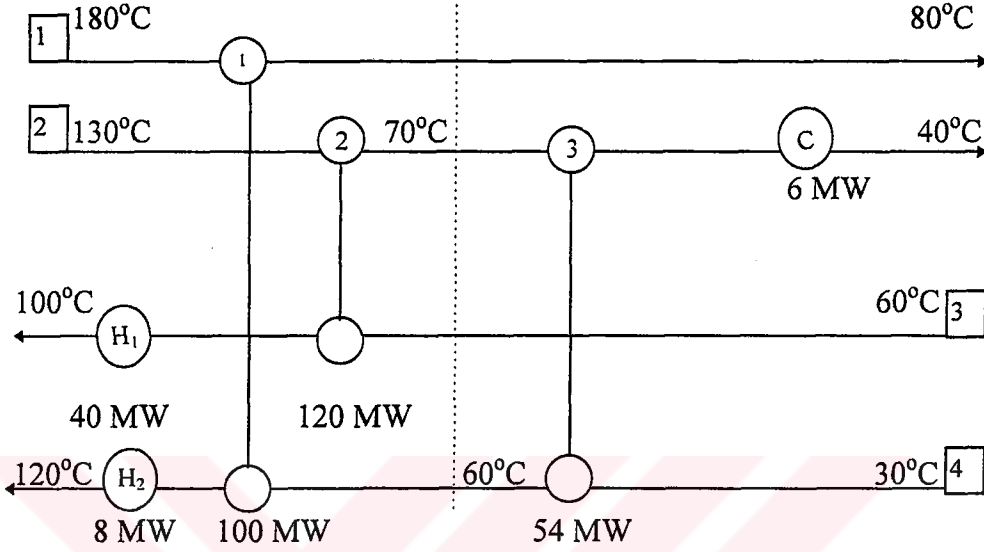
Isıtıcı	Akım No (Soğuk)	ISI (MW)	T_{ci} ($^\circ\text{C}$)	T_{ce} ($^\circ\text{C}$)	CP_c (MW/ $^\circ\text{C}$)
H1	3	40	90	100	4
H2	4	8	115,6	120	1,8

Tablo 3.9.7. Darboğaz Altındaki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} ($^\circ\text{C}$)	T_{he} ($^\circ\text{C}$)	T_{ci} ($^\circ\text{C}$)	T_{ce} ($^\circ\text{C}$)
3	4	2	54	70	43	30	60

Tablo 3.9.8. Soğutucunun Verileri

Soğutucu	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	CP_h (MW/°C)
C	2	6	43	40	2

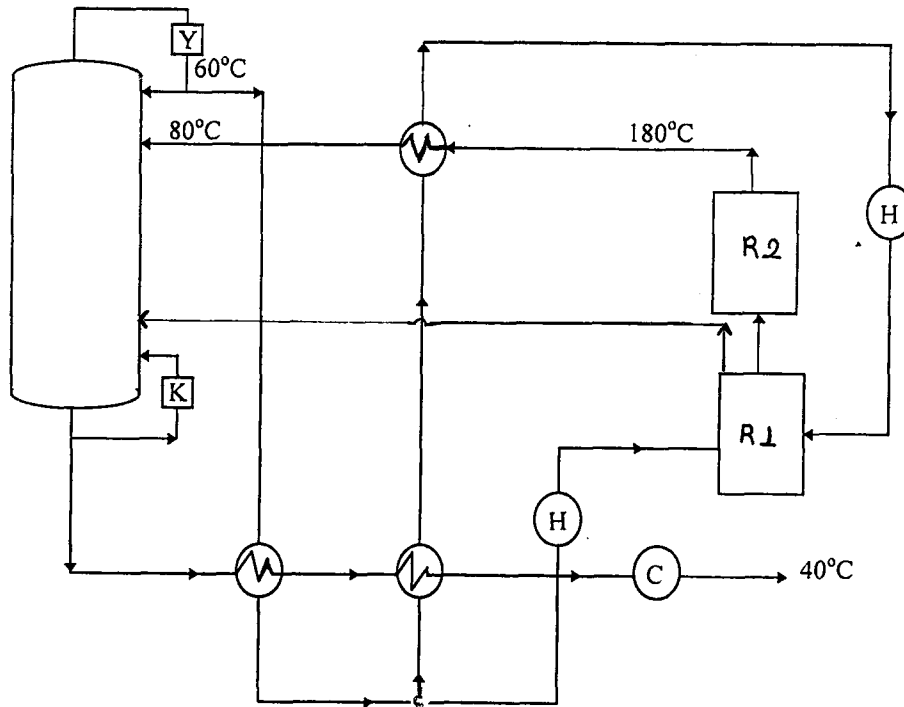


Şekil 3.9.8. Ağ Diyagramı

$$N_{\min} = 4 + 3 - 1 = 6$$

Ancak, $N_{\min, \text{MER}} = 6$

$N_{\min} = N_{\min, \text{MER}}$ olduğu için sistemde bir döngü yoktur.

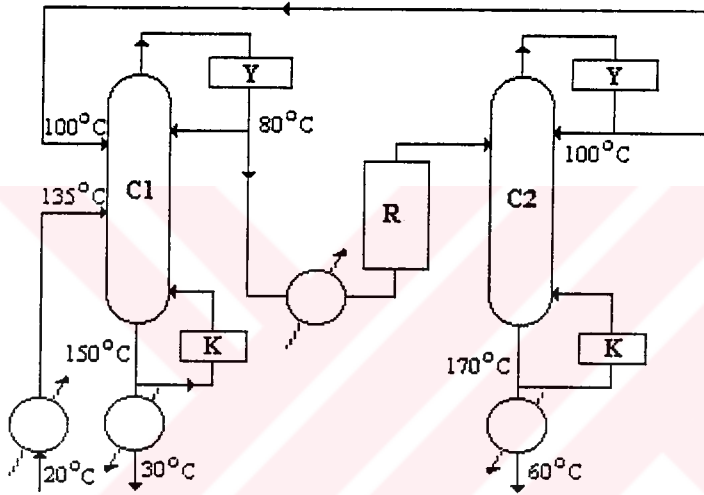


Şekil 3.9.9 Tamamlanmış Akış Şeması

3.10. Uygulama 10 (19)

Bu uygulamada, Şekil 3.10.1'de gösterilen akış şeması için Tablo 3.10.1'deki akım verileri kullanılarak,

- darboğaz analizi uygulanmadan önce sistemde gerekli olan sıcak ve soğuk servis akımı yükleri ve
- darboğaz analizi uygulandıktan sonra sistemde kullanılan servis akımı yükleri hesaplanacaktır; ayrıca,
- maksimum enerji geri kazanımı sağlayan bir ağ tasarlanacaktır.



Şekil 3.10.1. Akış Şeması

Tablo 3.10.1. Akım Verileri

Akım Nosu ve Hali	Besleme Sıcaklığı (°C)	Hedef Sıcaklığı (°C)	Isı Kapasitesi (MW/°C)
(1) Soğuk	20	135	2
(2) Sıcak	170	60	3
(3) Soğuk	80	140	4
(4) Sıcak	150	30	1,5

Bu uygulama,

$\Delta T_{\min} = 5^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, darboğaz oluşmamaktadır (EK 10.1).

$\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 60$ MW, $Q_{h,\min} = 20$ MW olmaktadır.

$\Delta T_{\min} = 15^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 7$ olurken, $Q_{c,\min} = 82,5$ MW, $Q_{h,\min} = 42,5$ MW olmaktadır (EK 10.2).

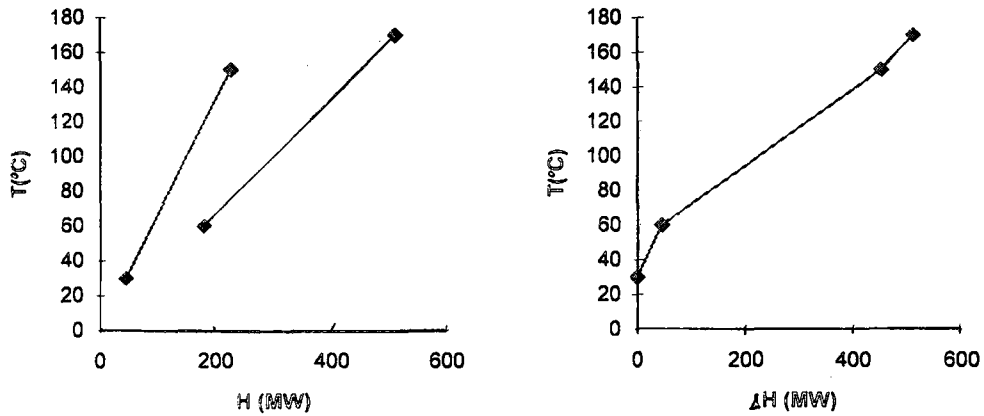
$\Delta T_{\min} = 20^{\circ}\text{C}$ için çözüldüğünde, $N_{\min} = 6$ olurken, $Q_{c,\min} = 105$ MW, $Q_{h,\min} = 65$ MW olmaktadır (EK 10.3).

Hesaplamalar, $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ için ayrıntılı bir şekilde aşağıda verilmektedir.

a) Tablo 3.10.1'deki veriler kullanılarak hazırlanan sıcak ve soğuk akımların eğrileri; ayrıca, Tablo 3.10.2 ve Tablo 3.10.3'deki veriler temelinde çizilen sıcak ve soğuk bileşik eğriler sırasıyla Şekil 3.10.2 ve Şekil 3.10.3'de verilmektedir.

Tablo 3.10.2. Sıcak Bileşik Eğri Verileri

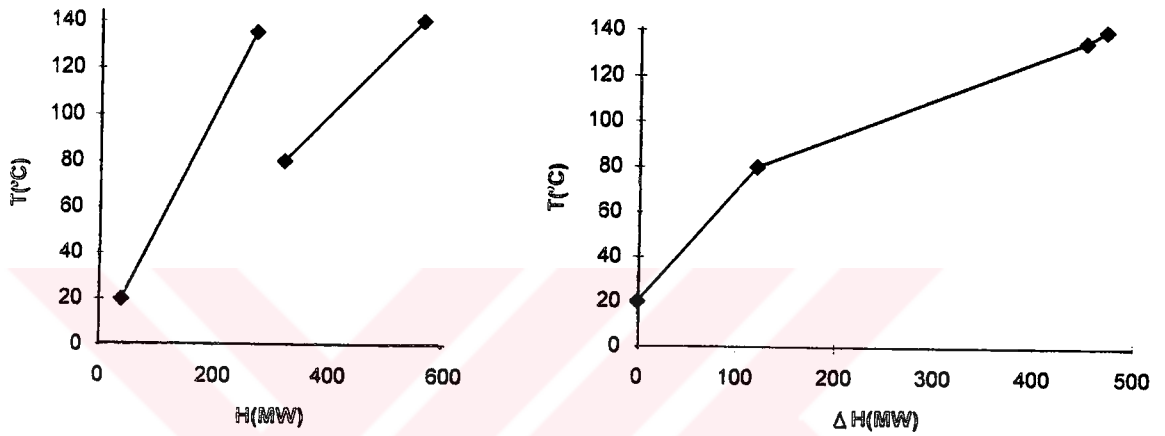
Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{c,\text{maks}}$ (MW)
(4) Sıcak	1,5	30	45
(2+4) Sıcak	4,5	90	405
(2) Sıcak	3	20	60



Şekil 3.10.2. (a) Sıcak Akımlar, (b) Sıcak Bileşik Eğri

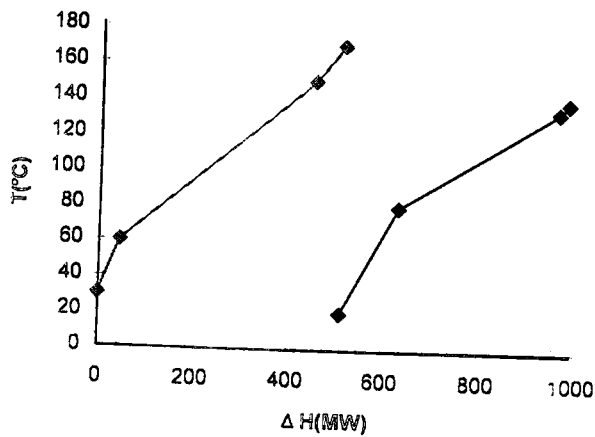
Tablo 3.10.3. Soğuk Bileşik Eğri Verileri

Akım Nosu ve Hali	CP (MW/°C)	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$Q_{h,\text{maks}}$ (MW)
(1) Soğuk	2	60	120
(1+3) Soğuk	6	55	330
(3) Soğuk	4	5	20



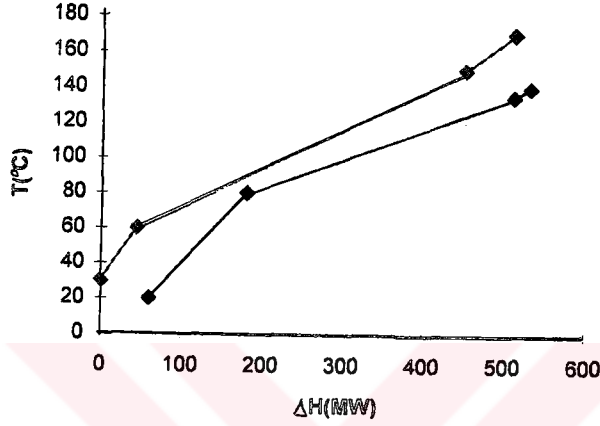
Şekil 3.10.3. (a) Soğuk Akımlar, (b) Soğuk Bileşik Eğri

Şekil 3.10.4'de gösterildiği gibi, sisteme 470 MW ısı verilmesi ($Q_{h,\text{maks}}$) ve sistemden 510 MW ısı alınması ($Q_{c,\text{maks}}$) gerekir.



Şekil 3.10.4. Bileşik Eğriler

b) Bileşik eğriler $\Delta T_{\min} = 10^\circ\text{C}$ olacak şekilde birbirlerine yaklaştırılarak (Şekil 3.10.5), darboğaz sıcaklığı 85°C olarak bulunur. Bu yöntemle göre, minimum soğutma yükü 60 MW, minimum ısıtma yükü ise 20 MW olarak saptanır.



Şekil 3.10.5. Yaklaştırılmış Bileşik Eğriler

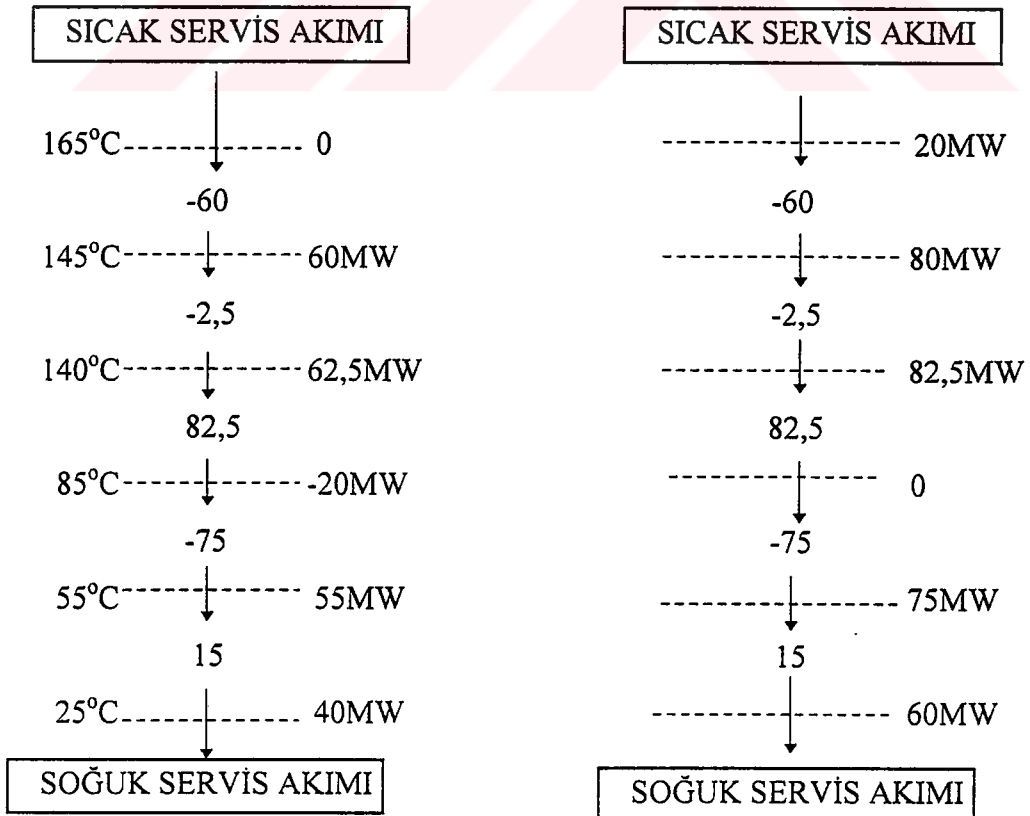
Problem çizelge algoritması uygulanırken, sıcak akımların sıcaklıkları 5°C kadar azaltılarak ve soğuk akımların sıcaklıkları 5°C kadar artırılarak, kaydırılmış sıcaklıklar (T^*) bulunur (Tablo 3.10.4) ve her kaydırılmış sıcaklık aralığı için ısı denklığı kurulur (Şekil 3.10.6).

Tablo 3.10.4. Kaydırılmış Sıcaklıklar

Akım Nosu ve Hali	T_i^* ($^\circ\text{C}$)	T_o^* ($^\circ\text{C}$)
(1) Soğuk	25	140
(2) Sıcak	165	55
(3) Soğuk	85	145
(4) Sıcak	145	25

Sıcaklık Aralıkları (°C)	Akımlar	$\Delta T_{\text{aralık}}$ (°C)	$\Sigma C_{p_c} - \Sigma C_{p_h}$ (MW/°C)	$\Delta H_{\text{aralık}}$ (MW)
165	2	20	-3,0	-60
145	4			
140		5	-0,5	-2,5
85	3	55	1,5	82,5
55		30	-2,5	-75
25	1	30	0,5	15

Şekil 3.10.6. Sıcaklık Aralıklarında Isı Denkliği



Şekil 3.10.7 Kademeli Diyagram

Problem çizelge algoritmasına göre de $T_d = 85^\circ\text{C}$, $Q_{h,\min} = 20\text{MW}$ ve $Q_{c,\min} = 60\text{MW}$ olarak bulunmuştur.

Dolayısıyla, darboğaz analizi uygulanarak, ısıtma yükü % 95,7, soğutma yükü ise % 88,2 azaltılabilir.

c) Bu kısımda, darboğaz analizi için geliştirilen ve darboğazın üstünde ve altında ısı değiştiricilerin yerleştirilmesine yardımcı THEN programından yararlanılmıştır.

Aşağıda, program sonuçları tablolar ve ağ diyagramları halinde verilmektedir.

Tablo 3.10.5. Darboğaz Üstündeki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} ($^\circ\text{C}$)	T_{he} ($^\circ\text{C}$)	T_{ci} ($^\circ\text{C}$)	T_{ce} ($^\circ\text{C}$)
1	3	2	240	170	90	80	140
2	1	4	90	150	90	80	125

Tablo 3.10.6. Isıtıcının Verileri

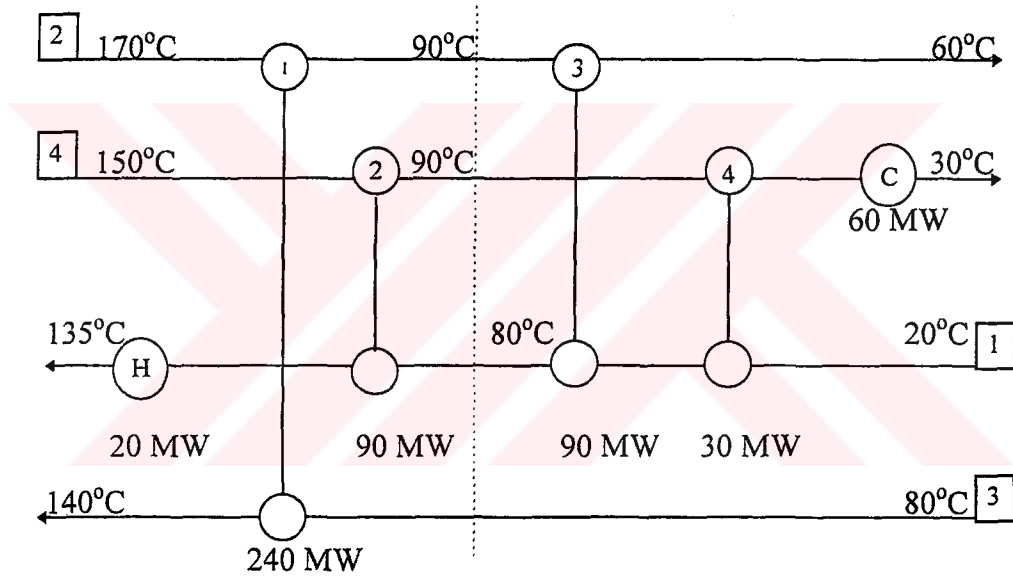
Isıtıcı	Akım No (Soğuk)	ISI (MW)	T_{ci} ($^\circ\text{C}$)	T_{ce} ($^\circ\text{C}$)	CP_c (MW/ $^\circ\text{C}$)
H	1	20	125	135	2

Tablo 3.10.7. Darboğaz Altındaki Isı Değiştiricilerin Verileri

Isı Değiştirici No	Akım No (Soğuk)	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} ($^\circ\text{C}$)	T_{he} ($^\circ\text{C}$)	T_{ci} ($^\circ\text{C}$)	T_{ce} ($^\circ\text{C}$)
3	1	2	90	90	60	35	80
4	1	4	30	90	70	20	35

Tablo 3.10.8. Soğutucunun Verileri

Soğutucu	Akım No (Sıcak)	ISI (MW)	T_{hi} (°C)	T_{he} (°C)	CP_h (MW/°C)
C	4	60	70	30	1,5



Şekil 3.10.7. Ağ Diyagramı

$$N_{\min} = 4 + 2 - 1 = 5$$

Ancak, $N_{\min, \text{MER}} = 6$ olduğuna göre, sistemde bir döngü vardır. Döngü kırıldıktan sonra, aşağıdaki tasarım şekli geliştirilmiş olur.

SONUÇ

Isı değiştirici ağlarında yapılan ısı entegrasyonu çalışmaları, enerji maliyetlerini ve toplam maliyeti dūřürmek açısından çok önemlidir. Bu alışmalar sırasında uygulanan darboğaz tasarım yöntemi, olabildiğince az birim içeren ve servis akımı miktarlarının minimum dūzeyde kullanıldığı tasarımlar üreterek, ısı değiştirici ağı problemlerine optimum bir çözüm getirir. Bu yöntem basit ve açık olduğu için, geniş problemler için bile, tasarımlar kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilir.

Bu çalışmada, darboğaz analizinde maliyet bakımından önemli olan ΔT_{\min} seçimi üzerinde duruldu. Ele alınan uygulamalarda, ΔT_{\min} 5, 10, 15 ve 20°C olmak üzere değiştirilmiş ve ısı değiştirici ağında gerekli olan birim sayısı ve servis akımı bu ile sağlanan ısı aktarımı saptanmıştır. ΔT_{\min} 5 ve 10°C için aynı diğer ΔT_{\min} değerlerine göre daha dūřk sayıda birim gerektiği görülmüştür. Çalışmanın daha sonraki kademesinde, pratikte daha çok uygulanan $\Delta T_{\min}=10$ °C için ayrıntılı hesaplamalar gösterilmiştir.

Darboęaz analizinin uygulanmasıyla, bu alışmada, ısıtma ihtiyaı % 65 - 95,7 arasında, soğutma ihtiyaı ise % 63,4 - 97,9 arasında dūřrlmřtr.

KAYNAKLAR

1. Morgan, S. W., "Use Process Integration to Improve Process Designs and the Design Process", Chemical Engineering Progress, Sept, 62-68, 1992.
2. Terrill, D.L., Douglas, J.M., "Heat-Exchanger Network Analysis. 1. Optimization", Ind. Eng. Chem. Res., 26, (4), 685-691, 1987.
3. Linnhoff, B., "Pinch Analysis- A State-of-The-Art Overview", Trans IChemE, 71, Part A, September, 503-522, 1993.
4. Linnhoff, B., Senior, P., "Energy Targets Clarify Scope for Better Heat Integration", Process Engineering, March, 29-33, 1983.
5. Linnhoff, B., Hindmarsh, E., "The Pinch Design Method for Heat Exchanger Networks", Chemical Engineering Science, 38 (5), 745-763, 1983.
6. Linnhoff, B., Vredeveld, D.R., "Pinch Technology Has Come of Age", Chemical Engineering Progress, July, 33-40, 1984.
7. Smith, R., "Chemical Proses Design", McGraw-Hill, Inc., N.Y., 1995.
8. Linnhoff, B., Turner, J. A., "Simple Concepts in Proses Synthesis Give Energy Savings and Elegant Designs", The Chemical Engineer, Dec, 742-746, 1980.
9. Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., " Thermal Design and Optimization", John Wiley & Sons, Inc., N.Y., 1996.
10. Linnhoff, B., "Choosing a Route to Energy Efficiency", Processing, March, 39-41, 1986.
11. Linnhoff, B., Witherell, W.D., "Pinch Technology Guides Retrofit", Oil and Gas Journal, 84, 54-65, 1986.
12. Douglas, J.M., "Conceptual Design of Chemical Processes", McGraw-Hill Book Co., N.Y., 1988.
13. Smith, R., Linnhoff, B., "The Design of Separators in The Context of Overall Processes", Chem. Eng. Res. Des., 66, May, 195-228, 1988.
14. Linnhoff, B., Polley, G.T., Sahdev, V., "General Process Improvements Through Pinch Technology", Chemical Engineering Progress, 84, 51-58, 1988.

- Pinch Technology", *Chemical Engineering Progress*, **84**, 51-58, 1988.
15. Taffe, P., "Pinch Technology Squeezes The Best Out of Batch Processing", *Processing*, Dec, 20-21, 1987.
 16. Rudman, A., "Process Integration: Planning Your Total Site", *Chemical Technology Europe*, January / February, 27-32, 1995.
 17. Linnhoff, B., Townsend, D.W., Boland, D., Hewitt, G.F., Thomas, B.E.A., Guy, A.R., Marsland, R.H., "User Guide on Process Integration for The Efficient Use of Energy", IChemE, Rugby, UK, 1994.
 18. Linnhoff, B., "Process Integration", *Seminer Notları*, UMIST, 1986.
 19. "Super Target - Pinch Technology Software", Linnhoff March Ltd., Targeting House, Gadbrook Park, Rudheath Northwich, Cheshire CW9 7UZ. UK.
 20. "THEN" Bilgisayar Programı, Geliştirilen: Knopf, F., C., Department of Chemical Engineering, Louisiana State University, Louisiana.

EKLER

EK 1

EK 1.1 ISI DEĞİŞTİRİCİ AĞI SENTEZİ

SICAK AKIMLARIN AYRINTILARI

S.NO.	AKIŞ DEBİSİ	MCP	GİRİŞ SIC	ÇIKIŞ SIC
1	1.00	2.00	180.00	40.00
2	1.00	4.00	150.00	40.00

SOĞUK AKIMLARIN AYRINTILARI

S.NO.	AKIŞ DEBİSİ	MCP	GİRİŞ SIC	ÇIKIŞ SIC
1	1.00	3.00	60.00	180.00
2	1.00	2.20	30.00	130.00

EŞLENMELER İÇİN MİNİMUM DELTA T 5.00

DARBOĞAZIN YERİ

DARBOĞAZ SICAKLIĞI = 147.500000

TÜM AKIMLARIN ÇIKIŞLARI

.0	.0	.0	.0	1.0
.0	.0	.0	.0	3.0
.0	.0	.0	.0	167.5
.0	.0	.0	.0	45.0
1.0	2.0	177.5	.0	60.0

DARBOĞAZ ÜSTÜNDEKİ ISI DEĞİŞTİRİCİLER

HEX	CNO	HNO	ISI	THİ	THE	TCİ	TCE
1.0	1.0	1.0	60.0	180.0	150.0	145.0	165.0

DARBOĞAZ ÜSTÜNDEKİ ISITICI

ISITICI	CNO	ISI	TCİ	TCE	CPC
1.0	1.0	45.0	165.0	180.0	3.0

TÜM AKIMLARIN ÇIKIŞLARI

.0	.0	.0	.0	1.0	2.0
.0	.0	.0	.0	3.0	2.2
.0	.0	.0	.0	62.5	32.5
.0	.0	.0	.0	.0	.0
2.0	4.0	83.8	185.0	255.0	.0
1.0	2.0	37.5	.0	.0	220.0

DARBOĞAZ ALTINDAKİ ISI DEĞİŞTİRİCİLER

HEX	CNO	HNO	ISI	THİ	THE	TCİ	TCE
2.0	1.0	2.0	255.0	150.0	86.3	60.0	145.0
3.0	2.0	1.0	220.0	150.0	40.0	30.0	130.0

DARBOĞAZ ALTINDAKİ SOĞUTUCU

SOĞUTUCU	CNO	ISI	THİ	THE	CPH
1.0	2.0	185.0	86.3	40.0	4.0

BU AĞDA DÖNGÜ YOKTUR

MİNİMUM SICAK SERVİS AKIM İHTİYACI

45.000000

MİNİMUM SOĞUK SERVİS AKIM İHTİYACI

185.000000

EK 1.2

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	2.00	180.00	40.00
2	1.00	4.00	150.00	40.00

DETAILS OF COLD STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	3.00	60.00	180.00
2	1.00	2.20	30.00	130.00

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 15.00 DEG

PINCH LOCATED

PINCH TEMPERATURE = 142.500000

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	1.0
.0	.0	.0	.0	3.0
.0	.0	.0	.0	162.5
.0	.0	.0	.0	75.0
1.0	2.0	172.5	.0	60.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	1.0	1.0	60.0	180.0	150.0	135.0	155.0

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```
=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
-----
      1.0      1.0      75.0      155.0      180.0      3.0
=====
```

ERROR-ALL STRMS NOT EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      1.0      2.0
.0      .0      .0      .0      3.0      2.2
.0      .0      .0      .0      67.5     87.5
.0      .0      .0      .0      .0      110.0
2.0     4.0     86.3     .0     225.0     .0
1.0     2.0     87.5     .0      .0     110.0
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```
=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
-----
      2.0      1.0      2.0     225.0     150.0     93.8     60.0     135.0
=====
```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```
=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
-----
      1.0      1.0     110.0     95.0     40.0     2.0
      2.0      2.0     215.0     93.8     40.0     4.0
=====
```

NO LOOPS PRESENT IN THIS NETWORK

```
=====
```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 75.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 215.000000

Stop - Program terminated.

EK 1.3

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE    MCP    INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00        2.00    180.00     40.00
2      1.00        4.00    150.00     40.00
=====
    
```

DETAILS OF COLD STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE    MCP    INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00        3.00    60.00     180.00
2      1.00        2.20    30.00     130.00
=====
    
```

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 20.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 140.000000

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      1.0
.0      .0      .0      .0      3.0
.0      .0      .0      .0     160.0
.0      .0      .0      .0      90.0
1.0     2.0     170.0   .0      60.0
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEX    CNO    HNO    HEAT    THIN    THOUT    TCIN    TCOUT
=====
1.0    1.0    1.0    60.0    180.0    150.0    130.0    150.0
=====
    
```

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEATER	CNO	HEAT	TCIN	TCOUT	CPC
1.0	1.0	90.0	150.0	180.0	3.0

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	1.0	2.0	2.0
.0	.0	.0	.0	3.0	2.0	.2
.0	.0	.0	.0	70.0	40.0	40.0
.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
2.0	3.0	70.0	.0	210.0	.0	.0
1.0	2.0	40.0	20.0	.0	200.0	.0
2.0	1.0	120.0	.0	.0	.0	20.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
2.0	1.0	2.0	210.0	150.0	80.0	60.0	130.0
3.0	2.0	1.0	200.0	150.0	50.0	30.0	130.0
4.0	2.0	2.0	20.0	150.0	130.0	30.0	130.0

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

COOLER	CNO	HEAT	THIN	THOUT	CPH
1.0	1.0	20.0	50.0	40.0	2.0
2.0	2.0	210.0	92.5	40.0	4.0

LOOP#

HEAT EXCHANGERS INVOLVED

1	4	1	2	3
---	---	---	---	---

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 90.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 230.000000

Stop - Program terminated.

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
      1.0      1.0      25.0      475.0      500.0      1.0
ALL STRMS EXHAUSTED
      .0      .0      .0      .0      1.0      2.0
      .0      .0      .0      .0      1.0      1.5
      .0      .0      .0      .0      242.5     142.5
      .0      .0      .0      .0      .0      .0
      2.0      1.0      287.5     .0      .0      190.0
      2.0      1.0      287.5     .0      190.0     .0
      1.0      1.8      248.1     91.0     45.0      80.0
=====
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      1.0      1.0      2.0      190.0     480.0     290.0     285.0     475.0
      2.0      2.0      2.0      190.0     480.0     290.0     193.3     320.0
      3.0      1.0      1.0      45.0      320.0     295.0     240.0     285.0
      4.0      2.0      1.0      80.0      295.0     250.6     140.0     193.3
=====
    
```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      1.0      91.0      250.6     200.0      1.8
=====
    
```

```

=====
LOOP#      HEAT EXCHANGERS INVOLVED
=====
      1      4 3 2 1
=====
    
```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 25.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 91.000000

Stop - Program terminated.

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
      1.0      1.0      35.0      465.0      500.0      1.0
ALL STRMS EXHAUSTED
      .0      .0      .0      .0      1.0      2.0
      .0      .0      .0      .0      1.0      1.5
      .0      .0      .0      .0      247.5      147.5
      .0      .0      .0      .0      .0      .0
      2.0      1.0      282.5      .0      .0      190.0
      2.0      1.0      282.5      .0      190.0      .0
      1.0      1.8      248.6      101.0      35.0      80.0
=====
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      1.0      1.0      2.0      190.0      480.0      290.0      275.0      465.0
      2.0      2.0      2.0      190.0      480.0      290.0      193.3      320.0
      3.0      1.0      1.0      35.0      320.0      300.6      240.0      275.0
      4.0      2.0      1.0      80.0      300.6      256.1      140.0      193.3
=====
    
```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      1.0      101.0      256.1      200.0      1.8
=====
    
```

```

=====
LOOP#      HEAT EXCHANGERS INVOLVED
=====
      1      4 3 2 1
=====
    
```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 35.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 101.000000

Stop - Program terminated.

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
1.0         1.0       40.0      460.0     500.0      1.0
ALL STRMS EXHAUSTED
.0          .0        .0        .0        1.0        2.0
.0          .0        .0        .0        1.0        1.5
.0          .0        .0        .0       250.0     150.0
.0          .0        .0        .0        .0         .0
2.0         1.0     280.0      .0        .0       190.0
2.0         1.0     280.0      .0       190.0        .0
1.0         1.8     248.9     106.0     30.0       80.0
=====

```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
1.0      1.0      2.0     190.0     480.0     290.0     270.0     460.0
2.0      2.0      2.0     190.0     480.0     290.0     193.3     320.0
3.0      1.0      1.0      30.0     320.0     303.3     240.0     270.0
4.0      2.0      1.0      80.0     303.3     258.9     140.0     193.3
=====

```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
1.0         1.0     106.0     258.9     200.0      1.8
=====

```

```

=====
LOOP#          HEAT EXCHANGERS INVOLVED
=====
1              4 3 2 1
=====

```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 40.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 106.000000

Stop - Program terminated.

EK 3

EK 3.1

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	2.00	400.00	310.00
2	1.00	1.00	450.00	350.00

DETAILS OF COLD STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	1.80	300.00	390.00
2	1.00	4.00	330.00	370.00

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 5.00 DEG

UNPINCHED PROBLEM

PROB. ABOVE PINCH

ERROR-ALL STRMS NOT EXHAUSTED
NO STREAMS SPLIT

.0	.0	.0	.0	1.0	2.0
.0	.0	.0	.0	1.8	4.0
.0	.0	.0	.0	352.5	357.5
.0	.0	.0	.0	.0	.0
1.0	2.0	352.5	90.0	90.0	1.0
2.0	1.0	447.5	.0	.0	100.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	1.0	1.0	90.0	355.0	310.0	300.0	350.0

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```
=====
      1.0      1.0      72.0      350.0      390.0      1.8
      2.0      2.0      60.0      355.0      370.0      4.0
=====
```

```
NO LOOPS PRESENT IN THIS NETWORK
=====
```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 42.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 0.000000E+00

Stop - Program terminated.



EK 3.2

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	2.00	400.00	310.00
2	1.00	1.00	450.00	350.00

DETAILS OF COLD STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	1.80	300.00	390.00
2	1.00	4.00	330.00	370.00

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 15.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 337.500000

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	2.0	1.0
.0	.0	.0	.0	4.0	1.8
.0	.0	.0	.0	365.0	393.1
.0	.0	.0	.0	50.0	8.0
1.0	2.0	392.5	.0	110.0	.0
2.0	1.0	442.5	.0	.0	100.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	2.0	1.0	110.0	400.0	345.0	330.0	357.5
2.0	1.0	2.0	100.0	450.0	350.0	330.0	385.6

HEATER	CNO	HEAT	TCIN	TCOUT	CPC
1.0	1.0	8.0	385.6	390.0	1.8
2.0	2.0	50.0	357.5	370.0	4.0

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	1.0	
.0	.0	.0	.0	1.8	
.0	.0	.0	.0	307.5	
.0	.0	.0	.0	.0	
1.0	2.0	310.5	16.0	54.0	

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
3.0	1.0	1.0	54.0	345.0	318.0	300.0	330.0

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

COOLER	CNO	HEAT	THIN	THOUT	CPH
1.0	1.0	16.0	318.0	310.0	2.0

NO LOOPS PRESENT IN THIS NETWORK

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 58.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 16.000000

Stop - Program terminated.

EK 3.3

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      2.00  400.00     310.00
2      1.00      1.00  450.00     350.00
=====
    
```

DETAILS OF COLD STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      1.80  300.00     390.00
2      1.00      4.00  330.00     370.00
=====
    
```

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 20.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 340.000000

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      2.0      1.0
.0      .0      .0      .0      4.0      1.8
.0      .0      .0      .0     365.0     395.6
.0      .0      .0      .0      60.0      8.0
1.0     2.0     390.0     .0     100.0      .0
2.0     1.0     440.0     .0      .0     100.0
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEX    CNO    HNO    HEAT    THIN    THOUT    TCIN    TCOUT
=====
1.0    2.0    1.0    100.0   400.0   350.0   330.0   355.0
2.0    1.0    2.0    100.0   450.0   350.0   330.0   385.6
=====
    
```

HEATER	CNO	HEAT	TCIN	TCOUT	CPC
1.0	1.0	8.0	385.6	390.0	1.8
2.0	2.0	60.0	355.0	370.0	4.0

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	1.0
.0	.0	.0	.0	1.8
.0	.0	.0	.0	310.0
.0	.0	.0	.0	.0
1.0	2.0	313.0	26.0	54.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
3.0	1.0	1.0	54.0	350.0	323.0	300.0	330.0

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

COOLER	CNO	HEAT	THIN	THOUT	CPH
1.0	1.0	26.0	323.0	310.0	2.0

NO LOOPS PRESENT IN THIS NETWORK

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 68.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 26.000000

Stop - Program terminated.

EK 4

EK 4.1

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	2.50	190.00	110.00
2	1.00	20.00	140.00	50.00

DETAILS OF COLD STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	20.00	90.00	170.00
2	1.00	5.00	30.00	120.00

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 5.00 DEG

PINCH LOCATED
PINCH TEMPERATURE = 92.500000

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	1.0	2.0
.0	.0	.0	.0	20.0	5.0
.0	.0	.0	.0	140.0	122.5
.0	.0	.0	.0	650.0	.0
2.0	20.0	137.5	.0	900.0	.0
1.0	2.5	187.5	.0	50.0	150.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	1.0	2.0	900.0	140.0	95.0	90.0	135.0
2.0	2.0	1.0	150.0	170.0	110.0	90.0	120.0
3.0	1.0	1.0	50.0	190.0	170.0	135.0	137.5

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
      1.0      1.0      650.0      137.5      170.0      20.0
=====

```

ALL STRMS EXHAUSTED

```

      .0      .0      .0      .0      2.0
      .0      .0      .0      .0      5.0
      .0      .0      .0      .0      32.5
      .0      .0      .0      .0      .0
      2.0      20.0      77.5      600.0      300.0

```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      4.0      2.0      2.0      300.0      95.0      80.0      30.0      90.0
=====

```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      2.0      600.0      80.0      50.0      20.0
=====

```

LOOP#

HEAT EXCHANGERS INVOLVED

```

=====
1          4 2 1 3
=====

```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 650.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 600.000000

Stop - Program terminated.

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE    MCP    INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00         2.50    190.00     110.00
2      1.00        20.00    140.00      50.00
=====
    
```

DETAILS OF COLD STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE    MCP    INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00        20.00     90.00     170.00
2      1.00         5.00     30.00     120.00
=====
    
```

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 15.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 97.500000

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      1.0      2.0
.0      .0      .0      .0      20.0     5.0
.0      .0      .0      .0     135.0    127.5
.0      .0      .0      .0     850.0     .0
2.0     20.0    132.5   .0     700.0     .0
1.0      2.5     182.5   .0      50.0     150.0
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEX    CNO    HNO    HEAT    THIN    THOUT    TCIN    TCOUT
=====
1.0    1.0    2.0    700.0   140.0   105.0    90.0   125.0
2.0    2.0    1.0    150.0   170.0   110.0    90.0   120.0
3.0    1.0    1.0    50.0    190.0   170.0   125.0  127.5
=====
    
```

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
      1.0      1.0      850.0      127.5      170.0      20.0
=====
  
```

ALL STRMS EXHAUSTED

```

      .0      .0      .0      .0      2.0
      .0      .0      .0      .0      5.0
      .0      .0      .0      .0      37.5
      .0      .0      .0      .0      .0
      2.0     20.0     82.5     800.0     300.0
  
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      4.0      2.0      2.0     300.0     105.0      90.0      30.0      90.0
=====
  
```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      2.0     800.0      90.0      50.0      20.0
=====
  
```

LOOP#

HEAT EXCHANGERS INVOLVED

```

=====
      1           4  2  1  3
=====
  
```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 850.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 800.000000

Stop - Program terminated.

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	2.50	190.00	110.00
2	1.00	20.00	140.00	50.00

DETAILS OF COLD STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	20.00	90.00	170.00
2	1.00	5.00	30.00	120.00

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 20.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 100.000000

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	1.0	2.0
.0	.0	.0	.0	20.0	5.0
.0	.0	.0	.0	132.5	130.0
.0	.0	.0	.0	950.0	.0
2.0	20.0	130.0	.0	600.0	.0
1.0	2.5	180.0	.0	50.0	150.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	1.0	2.0	600.0	140.0	110.0	90.0	120.0
2.0	2.0	1.0	150.0	170.0	110.0	90.0	120.0
3.0	1.0	1.0	50.0	190.0	170.0	120.0	122.5

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
      1.0      1.0      950.0      122.5      170.0      20.0
=====
    
```

ALL STRMS EXHAUSTED

```

      .0      .0      .0      .0      2.0
      .0      .0      .0      .0      5.0
      .0      .0      .0      .0      40.0
      .0      .0      .0      .0      .0
      2.0      20.0      85.0      900.0      300.0
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      4.0      2.0      2.0      300.0      110.0      95.0      30.0      90.0
=====
    
```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      2.0      900.0      95.0      50.0      20.0
=====
    
```

```

=====
LOOP#      HEAT EXCHANGERS INVOLVED
=====
      1      4  2  1  3
=====
    
```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 950.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 900.000000

Stop - Program terminated.

EK 5

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

EK 5.1

DETAILS OF HOT STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      .30   300.00     80.00
2      1.00      .45   200.00     40.00
=====
    
```

DETAILS OF COLD STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      .40   40.00     180.00
2      1.00      .60  140.00     280.00
=====
    
```

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 5.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 142.500000

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      2.0      1.0
.0      .0      .0      .0      .6      .4
.0      .0      .0      .0      234.6   182.5
.0      .0      .0      .0      28.8    .0
2.0     .4     197.5   .0      24.8    .0
1.0     .3     297.5   .0      30.5    16.0
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEX    CNO    HNO    HEAT    THIN    THOUT    TCIN    TCOU1
=====
1.0    2.0    2.0    24.8    200.0   145.0   140.0   181.3
2.0    1.0    1.0    16.0    198.3   145.0   140.0   180.0
3.0    2.0    1.0    30.5    300.0   198.3   181.3   232.1
=====
    
```

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
      1.0      2.0      28.8      232.1      280.0      .6
=====

```

ALL STRMS EXHAUSTED

```

      .0      .0      .0      .0      1.0
      .0      .0      .0      .0      .4
      .0      .0      .0      .0      42.5
      .0      .0      .0      .0      .0
      2.0      .4      53.6      7.3      40.0
      1.0      .3      142.5      19.5      .0

```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      4.0      1.0      2.0      40.0      145.0      56.1      40.0      140.0
=====

```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      1.0      19.5      145.0      80.0      .3
      2.0      2.0      7.3      56.1      40.0      .4
=====

```

```

=====
LOOP#
=====

```

HEAT EXCHANGERS INVOLVED

```

=====
1      4 2 1 3
=====

```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 28.750000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 26.750000

Stop - Program terminated.

 DETAILS OF HOT STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE    MCP    INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00         .30    300.00     80.00
2      1.00         .45    200.00     40.00
=====
  
```

 DETAILS OF COLD STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE    MCP    INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00         .40    40.00      180.00
2      1.00         .60    140.00     280.00
=====
  
```

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 15.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 147.500000

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      2.0      1.0
.0      .0      .0      .0      .6       .4
.0      .0      .0      .0     227.1    187.5
.0      .0      .0      .0     36.3     .0
2.0     .4    192.5   .0     20.3     .0
1.0     .3    292.5   .0     27.5     16.0
  
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEX    CNO    HNO    HEAT    THIN    THOUT    TCIN    TCOUT
=====
1.0    2.0    2.0    20.3    200.0   155.0    140.0   173.8
2.0    1.0    1.0    16.0    208.3   155.0    140.0   180.0
3.0    2.0    1.0    27.5    300.0   208.3    173.8   219.6
=====
  
```

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
      1.0      2.0      36.3      219.6      280.0      .6
=====

```

ALL STRMS EXHAUSTED

```

      .0      .0      .0      .0      1.0
      .0      .0      .0      .0      .4
      .0      .0      .0      .0      47.5
      .0      .0      .0      .0      .0
      2.0      .4      58.6      11.8      40.0
      1.0      .3      147.5      22.5      .0

```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      4.0      1.0      2.0      40.0      155.0      66.1      40.0      140.0
=====

```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      1.0      22.5      155.0      80.0      .3
      2.0      2.0      11.8      66.1      40.0      .4
=====

```

```

=====
LOOP#
=====

```

```

HEAT EXCHANGERS INVOLVED
=====

```

```

1          4 2 1 3
=====

```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 36.250000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 34.250000

Stop - Program terminated.

EK 5.3

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	.30	300.00	80.00
2	1.00	.45	200.00	40.00

DETAILS OF COLD STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	.40	40.00	180.00
2	1.00	.60	140.00	280.00

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 20.00 DEG

PINCH LOCATED
PINCH TEMPERATURE = 150.000000

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	2.0	1.0
.0	.0	.0	.0	.6	.4
.0	.0	.0	.0	223.3	190.0
.0	.0	.0	.0	40.0	.0
2.0	.4	190.0	.0	18.0	.0
1.0	.3	290.0	.0	26.0	16.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	2.0	2.0	18.0	200.0	160.0	140.0	170.0
2.0	1.0	1.0	16.0	213.3	160.0	140.0	180.0
3.0	2.0	1.0	26.0	300.0	213.3	170.0	213.3

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
      1.0      2.0      40.0      213.3      280.0      .6
=====

```

ALL STRMS EXHAUSTED

```

      .0      .0      .0      .0      1.0
      .0      .0      .0      .0      .4
      .0      .0      .0      .0      50.0
      .0      .0      .0      .0      .0
      2.0      .4      61.1      14.0      40.0
      1.0      .3      150.0      24.0      .0

```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      4.0      1.0      2.0      40.0      160.0      71.1      40.0      140.0
=====

```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      1.0      24.0      160.0      80.0      .3
      2.0      2.0      14.0      71.1      40.0      .4
=====

```

```

=====
LOOP#

```

```

HEAT EXCHANGERS INVOLVED

```

```

=====
1      4  2  1  3
=====

```

```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS:      40.000000

```

```

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS:      38.000000

```

```

Stop - Program terminated.

```

EK 6

EK 6.1

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	2.00	220.00	40.00
2	1.00	2.50	150.00	60.00

DETAILS OF COLD STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	2.00	20.00	115.00
2	1.00	4.00	70.00	170.00

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 5.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 72.500000

ERROR-ALL STRMS NOT EXHAUSTED
 NO STREAMS SPLIT

.0	.0	.0	.0	2.0	1.0
.0	.0	.0	.0	4.0	2.0
.0	.0	.0	.0	119.4	117.5
.0	.0	.0	.0	.0	.0
2.0	2.5	147.5	.0	187.5	.0
1.0	2.0	117.5	200.0	1.0	90.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	2.0	2.0	187.5	150.0	75.0	70.0	116.9

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```
=====
      1.0      2.0      212.5      116.9      170.0      4.0
=====
```

ALL STRMS EXHAUSTED

```

      .0      .0      .0      .0      1.0
      .0      .0      .0      .0      2.0
      .0      .0      .0      .0      22.5
      .0      .0      .0      .0      .0
      2.0      2.5      60.5      7.5      30.0
      1.0      2.0      37.5      .0      70.0
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```
=====
      HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      2.0      1.0      1.0      70.0      75.0      40.0      35.0      70.0
      3.0      1.0      2.0      30.0      75.0      63.0      20.0      35.0
=====
```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```
=====
      COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      2.0      7.5      63.0      60.0      2.5
=====
```

```
NO LOOPS PRESENT IN THIS NETWORK
=====
```

```
THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS:      12.500000
```

```
THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS:      7.500000
```

```
Stop - Program terminated.
```

EK 6.2

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	2.00	220.00	40.00
2	1.00	2.50	150.00	60.00

DETAILS OF COLD STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	2.00	20.00	115.00
2	1.00	4.00	70.00	170.00

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 15.00 DEG

PINCH LOCATED
PINCH TEMPERATURE = 77.500000

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	2.0	1.0
.0	.0	.0	.0	4.0	2.0
.0	.0	.0	.0	163.1	122.5
.0	.0	.0	.0	57.5	.0
2.0	2.5	142.5	.0	162.5	.0
1.0	2.0	212.5	.0	180.0	90.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	2.0	2.0	162.5	150.0	85.0	70.0	110.6
2.0	1.0	1.0	90.0	130.0	85.0	70.0	115.0
3.0	2.0	1.0	180.0	220.0	130.0	110.6	155.6

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
      1.0      2.0      57.5      155.6      170.0      4.0
=====

```

ALL STRMS EXHAUSTED

```

      .0      .0      .0      .0      1.0
      .0      .0      .0      .0      2.0
      .0      .0      .0      .0      27.5
      .0      .0      .0      .0      .0
      2.0      2.5      73.5      52.5      10.0
      1.0      2.0      32.5      .0      90.0

```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      4.0      1.0      1.0      90.0      85.0      40.0      25.0      70.0
      5.0      1.0      2.0      10.0      85.0      81.0      20.0      25.0
=====

```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      2.0      52.5      81.0      60.0      2.5
=====

```

LOOP#

HEAT EXCHANGERS INVOLVED

```

=====
      1          4  2
      2          5  2  1  3
=====

```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 57.500000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 52.500000

Stop - Program terminated.

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	2.00	220.00	40.00
2	1.00	2.50	150.00	60.00

DETAILS OF COLD STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	2.00	20.00	115.00
2	1.00	4.00	70.00	170.00

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 20.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 80.000000

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	2.0	1.0
.0	.0	.0	.0	4.0	2.0
.0	.0	.0	.0	160.0	125.0
.0	.0	.0	.0	80.0	.0
2.0	2.5	140.0	.0	150.0	.0
1.0	2.0	210.0	.0	170.0	90.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	2.0	2.0	150.0	150.0	90.0	70.0	107.5
2.0	1.0	1.0	90.0	135.0	90.0	70.0	115.0
3.0	2.0	1.0	170.0	220.0	135.0	107.5	150.0

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
      1.0      2.0      80.0      150.0      170.0      4.0
=====

```

ALL STRMS EXHAUSTED

```

      .0      .0      .0      .0      1.0
      .0      .0      .0      .0      2.0
      .0      .0      .0      .0      30.0
      .0      .0      .0      .0      .0
      2.0      2.5      80.0      75.0      .0
      1.0      2.0      30.0      .0      100.0

```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      4.0      1.0      1.0      100.0      90.0      40.0      20.0      70.0
=====

```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      2.0      75.0      90.0      60.0      2.5
=====

```

```

=====
LOOP#
=====

```

```

HEAT EXCHANGERS INVOLVED
=====

```

```

1          4  2
=====

```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 80.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 75.000000

Stop - Program terminated.

EK 7

EK 7.1

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	2.29	159.00	77.00
2	1.00	.20	267.00	80.00
3	1.00	.54	343.00	90.00

DETAILS OF COLD STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	.93	18.00	123.00
2	1.00	1.96	118.00	193.00
3	1.00	1.80	189.00	286.00

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 5.00 DEG

PINCH LOCATED

PINCH TEMPERATURE = 156.500000

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	2.0	2.0	3.0
.0	.0	.0	.0	1.4	.5	1.8
.0	.0	.0	.0	172.0	195.5	234.9
.0	.0	.0	.0	.0	.0	96.2
3.0	.5	340.5	.0	.0	21.0	78.0
2.0	.2	264.5	.0	22.0	.0	.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
      HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      1.0      2.0      3.0      21.0      198.0      159.0      154.0      193.0
      2.0      2.0      2.0      22.0      267.0      159.0      154.0      169.5
-----
      3.0      3.0      3.0      78.0      343.0      198.0      189.0      232.4
=====
  
```

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
      HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
      1.0      2.0      33.5      175.9      193.0      2.0
      2.0      3.0      96.2      232.4      286.0      1.8
=====
  
```

ALL STRMS EXHAUSTED

```

      .0      .0      .0      .0      2.0      1.0
      .0      .0      .0      .0      2.0      .9
      .0      .0      .0      .0     120.5     20.5
      .0      .0      .0      .0      .0      .0
      1.0      2.3     82.7     18.8     70.6     98.0
      3.0      .5     156.5     37.1      .0      .0
      2.0      .2     156.5     16.1      .0      .0
  
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
      HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      4.0      2.0      1.0      70.6      159.0      128.1      118.0      154.0
      5.0      1.0      1.0      98.0      128.1      85.2       18.0      123.0
=====
  
```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
      COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      1.0      18.8      85.2      77.0      2.3
      2.0      2.0      16.1      159.0      80.0      .2
      3.0      3.0      37.1      159.0      90.0      .5
=====
  
```

NO LOOPS PRESENT IN THIS NETWORK

=====

EK 7.2

DETAILS OF HOT STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      2.29  159.00     77.00
2      1.00      .20   267.00     80.00
3      1.00      .54   343.00     90.00
=====
    
```

DETAILS OF COLD STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      .93   18.00     123.00
2      1.00     1.96  118.00     193.00
3      1.00     1.80  189.00     286.00
=====
    
```

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 15.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 151.500000

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      2.0      2.0      3.0
.0      .0      .0      .0      1.4      .5      1.8
.0      .0      .0      .0     167.0     200.5     236.9
.0      .0      .0      .0      .0      .0     101.6
3.0     .5     335.5     .0      .0     26.4     72.6
2.0     .2     259.5     .0     22.0      .0      .0
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEX    CNO    HNO    HEAT    THIN    THOUT    TCIN    TCOUT
=====
1.0    2.0    3.0    26.4    208.0    159.0    144.0    193.0
2.0    2.0    3.0    22.0    267.0    150.0    144.0    150.5
3.0    3.0    3.0    72.6    343.0    208.0    189.0    229.4
=====
    
```

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEATER	CNO	HEAT	TCIN	TCOUT	CPC
1.0	2.0	47.7	168.7	193.0	2.0
2.0	3.0	101.6	229.4	286.0	1.8

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	2.0	1.0
.0	.0	.0	.0	2.0	.9
.0	.0	.0	.0	125.5	25.5
.0	.0	.0	.0	.0	.0
1.0	2.3	88.7	43.9	51.0	92.5
3.0	.5	151.5	37.1	.0	.0
2.0	.2	124.6	10.6	.0	5.5

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
4.0	2.0	1.0	51.0	159.0	136.7	118.0	144.0
5.0	1.0	2.0	5.5	159.0	132.1	117.1	123.0
6.0	1.0	1.0	92.5	136.7	96.2	18.0	117.1

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

COOLER	CNO	HEAT	THIN	THOUT	CPH
1.0	1.0	43.9	96.2	77.0	2.3
2.0	2.0	10.6	132.1	80.0	.2
3.0	3.0	37.1	159.0	90.0	.5

LOOP#

HEAT EXCHANGERS INVOLVED

1	6	4	2	5
---	---	---	---	---

DETAILS OF HOT STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      2.29  159.00     77.00
2      1.00      .20   267.00     80.00
3      1.00      .54   343.00     90.00
=====
    
```

DETAILS OF COLD STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      .93   18.00     123.00
2      1.00     1.96  118.00     193.00
3      1.00     1.80  189.00     286.00
=====
    
```

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 20.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 149.000000

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      2.0      2.0      3.0
.0      .0      .0      .0      1.4      .5      1.8
.0      .0      .0      .0     164.5    203.0    237.9
.0      .0      .0      .0      .0      .0     104.3
3.0     .5    333.0    .0      .0     29.1     69.9
2.0     .2    257.0    .0     22.0     .0      .0
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEX    CNO    HNO    HEAT    THIN    THOUT    TCIN    TCOUT
=====
1.0    2.0    3.0    29.1    213.0    159.0    139.0    193.0
2.0    2.0    3.0    22.0    267.0    150.0    120.0    154.5
3.0    3.0    3.0    69.9    343.0    213.0    189.0    227.9
=====
    
```

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEATER	CNO	HEAT	TCIN	TCOUT	CPC
1.0	2.0	54.8	165.0	193.0	2.0
2.0	3.0	104.3	227.9	286.0	1.8

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	2.0	1.0
.0	.0	.0	.0	2.0	.9
.0	.0	.0	.0	128.0	28.0
.0	.0	.0	.0	.0	.0
1.0	2.3	89.9	52.4	41.2	93.8
3.0	.5	149.0	37.1	.0	.0
2.0	.2	128.5	11.9	.0	4.2

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
4.0	2.0	1.0	41.2	159.0	141.0	118.0	139.0
5.0	1.0	2.0	4.2	159.0	138.5	118.5	123.0
6.0	1.0	1.0	93.8	141.0	99.9	18.0	118.5

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

COOLER	CNO	HEAT	THIN	THOUT	CPH
1.0	1.0	52.4	99.9	77.0	2.3
2.0	2.0	11.9	138.5	80.0	.2
3.0	3.0	37.1	159.0	90.0	.5

LOOP#

HEAT EXCHANGERS INVOLVED

1	6	4	2	5
---	---	---	---	---

DETAILS OF HOT STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      .15  250.00     40.00
2      1.00      .25  200.00     80.00
=====
  
```

DETAILS OF COLD STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      .20  20.00      180.00
2      1.00      .30  140.00     230.00
=====
  
```

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 5.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 142.500000

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      2.0      1.0
.0      .0      .0      .0      .3      .2
.0      .0      .0      .0      214.2   182.5
.0      .0      .0      .0      5.5      .0
2.0     .3     197.5   .0      13.8     .0
1.0     .2     247.5   .0      7.8      8.0
  
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEX    CNO    HNO    HEAT    THIN    THOUT    TCIN    TCOUT
=====
1.0    2.0    2.0    13.8    200.0   145.0    140.0   185.8
2.0    1.0    1.0     8.0    198.3   145.0    140.0   180.0
3.0    2.0    1.0     7.8    250.0   198.3    185.8   211.7
=====
  
```

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
      1.0      2.0      5.5      211.7      230.0      .3
=====
    
```

ALL STRMS EXHAUSTED

```

      .0      .0      .0      .0      1.0
      .0      .0      .0      .0      .2
      .0      .0      .0      .0      22.5
      .0      .0      .0      .0      .0
      2.0      .3      77.5      .0      16.3
      1.0      .2      90.8      8.0      7.8
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      4.0      1.0      2.0      16.3      145.0      80.0      58.8      140.0
      5.0      1.0      1.0      7.8      145.0      93.3      20.0      58.8
=====
    
```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      1.0      8.0      93.3      40.0      .2
=====
    
```

```

=====
LOOP#      HEAT EXCHANGERS INVOLVED
=====
      1      4 2 1 3
      2      5 2
=====
    
```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 5.500002

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 8.000000

Stop - Program terminated.

EK 8.2

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      .15  250.00     40.00
2      1.00      .25  200.00     80.00
=====
    
```

DETAILS OF COLD STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      .20  20.00     180.00
2      1.00      .30  140.00    230.00
=====
    
```

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 15.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 147.500000

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      2.0      1.0
.0      .0      .0      .0      .3      .2
.0      .0      .0      .0      205.8   187.5
.0      .0      .0      .0      9.5     .0
2.0     .3     192.5   .0      11.3    .0
1.0     .2     242.5   .0      6.3     8.0
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEX    CNO    HNO    HEAT    THIN    THOUT    TCIN    TCOUT
=====
1.0    2.0    2.0    11.3    200.0   155.0   140.0   177.5
2.0    1.0    1.0    8.0     208.3   155.0   140.0   180.0
3.0    2.0    1.0    6.3     250.0   208.3   177.5   198.3
=====
    
```

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
1.0         2.0         9.5      198.3     230.0       .3
=====
    
```

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0         .0         .0         .0         1.0
.0         .0         .0         .0         .2
.0         .0         .0         .0        27.5
.0         .0         .0         .0         .0
2.0        .3        72.5       .0        18.8
1.0        .2       112.5      12.0       5.3
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOU
=====
4.0      1.0      2.0      18.8     155.0     80.0      46.3     140.
5.0      1.0      1.0       5.3     155.0     120.0     20.0     46.3
=====
    
```

ALL DIMENSIONS ON MILLI METER

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
1.0         1.0       12.0     120.0     40.0       .2
=====
    
```

```

=====
LOOP#      HEAT EXCHANGERS INVOLVED
=====
1          4  2  1  3
2          5  2
=====
    
```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 9.500002

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 12.000000

Stop - Program terminated.

EK 8.3

DETAILS OF HOT STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      .15  250.00     40.00
2      1.00      .25  200.00     80.00
=====

```

DETAILS OF COLD STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE  MCP  INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00      .20  20.00     180.00
2      1.00      .30  140.00    230.00
=====

```

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 20.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 150.000000

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      2.0      1.0
.0      .0      .0      .0      .3       .2
.0      .0      .0      .0     201.7    190.0
.0      .0      .0      .0     11.5     .0
2.0     .3     190.0   .0     10.0     .0
1.0     .2     240.0   .0      5.5      8.0

```

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEX    CNO    HNO    HEAT    THIN    THOUT    TCIN    TCOUT
=====
1.0    2.0    2.0    10.0    200.0   160.0    140.0   173.3
2.0    1.0    1.0     8.0    213.3   160.0    140.0   180.0
3.0    2.0    1.0     5.5    250.0   213.3    173.3   191.7
=====

```

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER      CNO      HEAT      TCIN      TCOUT      CPC
=====
      1.0      2.0      11.5      191.7      230.0      .3
=====

```

ALL STRMS EXHAUSTED

```

      .0      .0      .0      .0      1.0
      .0      .0      .0      .0      .2
      .0      .0      .0      .0      30.0
      .0      .0      .0      .0      .0
      2.0      .3      70.0      .0      20.0
      1.0      .2      123.3      14.0      4.0

```

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```

=====
HEX      CNO      HNO      HEAT      THIN      THOUT      TCIN      TCOUT
=====
      4.0      1.0      2.0      20.0      160.0      80.0      40.0      140.0
      5.0      1.0      1.0      4.0      160.0      133.3      20.0      40.0
=====

```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```

=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      1.0      14.0      133.3      40.0      .2
=====

```

LOOP#

HEAT EXCHANGERS INVOLVED

```

=====
      1      4  2  1  3
      2      5  2
=====

```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 11.500000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 14.000000
 Stop - Program terminated.

EK 9

EK 9.1

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	1.00	180.00	80.00
2	1.00	2.00	130.00	40.00

DETAILS OF COLD STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	4.00	60.00	100.00
2	1.00	1.80	30.00	120.00

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 5.00 DEG

UNPINCHED PROBLEM

PROB. ABOVE PINCH

ERROR-ALL STRMS NOT EXHAUSTED

NO STREAMS SPLIT

.0	.0	.0	.0	1.0	2.0
.0	.0	.0	.0	4.0	1.8
.0	.0	.0	.0	87.5	82.5
.0	.0	.0	.0	.0	.0
1.0	1.0	177.5	.0	100.0	.0
2.0	2.0	82.5	90.0	1.0	90.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	2.0	2.0	90.0	85.0	40.0	30.0	80.0

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEATER	CNO	HEAT	TCIN	TCOUT	CPC
1.0	1.0	60.0	85.0	100.0	4.0
2.0	2.0	72.0	80.0	120.0	1.8

NO LOOPS PRESENT IN THIS NETWORK

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 42.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 0.000000E+00

Stop - Program terminated.

EK 9.2

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE    MCP    INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1       1.00        1.00    180.00     80.00
2       1.00        2.00    130.00     40.00
=====
    
```

DETAILS OF COLD STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE    MCP    INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1       1.00        4.00    60.00     100.00
2       1.00        1.80    30.00     120.00
=====
    
```

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 15.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 67.500000

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      1.0      2.0
.0      .0      .0      .0      4.0      1.8
.0      .0      .0      .0      95.0     123.1
.0      .0      .0      .0      50.0      8.0
2.0     2.0     122.5   .0      110.0     .0
1.0     1.0     172.5   .0      .0       100.0
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEX    CNO    HNO    HEAT    THIN    THOUT    TCIN    TCOUT
=====
1.0    1.0    2.0    110.0   130.0   75.0    60.0    87.5
2.0    2.0    1.0    100.0   180.0   80.0    60.0    115.6
=====
    
```

HEATER	CNO	HEAT	TCIN	TCOUT	CPC
1.0	1.0	50.0	87.5	100.0	4.0
2.0	2.0	8.0	115.6	120.0	1.8

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	2.0
.0	.0	.0	.0	1.8
.0	.0	.0	.0	37.5
.0	.0	.0	.0	.0
2.0	2.0	40.5	16.0	54.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
3.0	2.0	2.0	54.0	75.0	48.0	30.0	60.0

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

COOLER	CNO	HEAT	THIN	THOUT	CPH
1.0	2.0	16.0	48.0	40.0	2.0

NO LOOPS PRESENT IN THIS NETWORK

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 58.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 16.000000

Stop - Program terminated.

EK 9.3

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	1.00	180.00	80.00
2	1.00	2.00	130.00	40.00

DETAILS OF COLD STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	4.00	60.00	100.00
2	1.00	1.80	30.00	120.00

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 20.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 70.000000

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	1.0	2.0
.0	.0	.0	.0	4.0	1.8
.0	.0	.0	.0	95.0	125.6
.0	.0	.0	.0	60.0	8.0
2.0	2.0	120.0	.0	100.0	.0
1.0	1.0	170.0	.0	.0	100.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	1.0	2.0	100.0	130.0	80.0	60.0	85.0
2.0	2.0	1.0	100.0	180.0	80.0	60.0	115.6

HEATER	CNO	HEAT	TCIN	TCOUT	CPC
1.0	1.0	60.0	85.0	100.0	4.0
2.0	2.0	8.0	115.6	120.0	1.8

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	2.0
.0	.0	.0	.0	1.8
.0	.0	.0	.0	40.0
.0	.0	.0	.0	.0
2.0	2.0	43.0	26.0	54.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
3.0	2.0	2.0	54.0	80.0	53.0	30.0	60.0

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

COOLER	CNO	HEAT	THIN	THOUT	CPH
1.0	2.0	26.0	53.0	40.0	2.0

NO LOOPS PRESENT IN THIS NETWORK

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 68.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 26.000000

Stop - Program terminated.

EK 10

EK 10.1

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	3.00	170.00	60.00
2	1.00	1.50	150.00	30.00

DETAILS OF COLD STREAMS

S.NO.	FLOW RATE	MCP	INLET TEMP	OUTLET TEMP
1	1.00	2.00	20.00	135.00
2	1.00	4.00	80.00	140.00

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 5.00 DEG

UNPINCHED PROBLEM

PROB. BELOW PINCH

ERROR-ALL STRMS NOT EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	1.0	2.0
.0	.0	.0	.0	2.0	4.0
.0	.0	.0	.0	131.5	82.5
.0	.0	.0	.0	218.0	.0
1.0	3.0	91.5	.0	1.0	228.0
2.0	1.5	131.5	.0	12.0	12.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	2.0	2.0	12.0	150.0	142.0	137.0	140.0
2.0	2.0	1.0	228.0	170.0	94.0	80.0	137.0

```
=====
COOLER      CNO      HEAT      THIN      THOUT      CPH
=====
      1.0      1.0      102.0      94.0      60.0      3.0
      2.0      2.0      156.0      134.0      30.0      1.5
=====
```

```
NO LOOPS PRESENT IN THIS NETWORK
=====
```

```
THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS:  0.000000E+00
```

```
THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS:  40.000000
```

```
Stop - Program terminated.
```



EK 10.2

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS

DETAILS OF HOT STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE    MCP    INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00         1.80    320.00     200.00
2      1.00         2.00    480.00     290.00
=====
    
```

DETAILS OF COLD STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE    MCP    INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1      1.00         1.00    240.00     500.00
2      1.00         1.50    140.00     320.00
=====
    
```

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 15.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 472.500000

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      1.0
.0      .0      .0      .0      1.0
.0      .0      .0      .0      472.5
.0      .0      .0      .0      35.0
    
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEX     CNO     HNO     HEAT    THIN    THOUT    TCIN    TCOUT
=====
=====
    
```

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER    CNO     HEAT    TCIN    TCOUT    CPC
=====
1.0      1.0     35.0    465.0    500.0    1.0
    
```

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	1.0	2.0
.0	.0	.0	.0	1.0	1.5
.0	.0	.0	.0	247.5	147.5
.0	.0	.0	.0	.0	.0
2.0	1.0	282.5	.0	.0	190.0
2.0	1.0	282.5	.0	190.0	.0
1.0	1.8	248.6	101.0	35.0	80.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```
=====
```

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	1.0	2.0	190.0	480.0	290.0	275.0	465.0
2.0	2.0	2.0	190.0	480.0	290.0	193.3	320.0
3.0	1.0	1.0	35.0	320.0	300.6	240.0	275.0
4.0	2.0	1.0	80.0	300.6	256.1	140.0	193.3

```
=====
```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```
=====
```

COOLER	CNO	HEAT	THIN	THOUT	CPH
1.0	1.0	101.0	256.1	200.0	1.8

```
=====
```

```
=====
```

LOOP#	HEAT EXCHANGERS INVOLVED			
1	4	3	2	1

```
=====
```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 35.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 101.000000

Stop - Program terminated.

 DETAILS OF HOT STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE    MCP    INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1       1.00        1.80    320.00     200.00
2       1.00        2.00    480.00     290.00
=====
  
```

 DETAILS OF COLD STREAMS

```

=====
S.NO.  FLOW RATE    MCP    INLET TEMP  OUTLET TEMP
=====
1       1.00        1.00    240.00     500.00
2       1.00        1.50    140.00     320.00
=====
  
```

MINIMUM DELTA T FOR THE MATCHES IS 20.00 DEG

PINCH LOCATED
 PINCH TEMPERATURE = 470.000000

ALL STRMS EXHAUSTED

```

.0      .0      .0      .0      1.0
.0      .0      .0      .0      1.0
.0      .0      .0      .0     470.0
.0      .0      .0      .0     40.0
  
```

HEAT EXCHANGER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEX     CNO     HNO     HEAT    THIN    THOUT    TCIN    TCOUT
=====
=====
  
```

HEATER SUMMARY ABOVE THE PINCH

```

=====
HEATER    CNO     HEAT    TCIN    TCOUT    CPC
=====
1.0       1.0     40.0    460.0   500.0    1.0
=====
  
```

ALL STRMS EXHAUSTED

.0	.0	.0	.0	1.0	2.0
.0	.0	.0	.0	1.0	1.5
.0	.0	.0	.0	250.0	150.0
.0	.0	.0	.0	.0	.0
2.0	1.0	280.0	.0	.0	190.0
2.0	1.0	280.0	.0	190.0	.0
1.0	1.8	248.9	106.0	30.0	80.0

HEAT EXCHANGER SUMMARY BELOW PINCH

```
=====
```

HEX	CNO	HNO	HEAT	THIN	THOUT	TCIN	TCOUT
1.0	1.0	2.0	190.0	480.0	290.0	270.0	460.0
2.0	2.0	2.0	190.0	480.0	290.0	193.3	320.0
3.0	1.0	1.0	30.0	320.0	303.3	240.0	270.0
4.0	2.0	1.0	80.0	303.3	258.9	140.0	193.3

```
=====
```

COOLER SUMMARY BELOW THE PINCH

```
=====
```

COOLER	CNO	HEAT	THIN	THOUT	CPH
1.0	1.0	106.0	258.9	200.0	1.8

```
=====
```

LOOP#

HEAT EXCHANGERS INVOLVED

```
=====
```

1	4	3	2	1
---	---	---	---	---

```
=====
```

THE MINIMUM HOT UTILITY REQUIREMENT IS: 40.000000

THE MINIMUM COLD UTILITY REQUIREMENT IS: 106.000000

Stop - Program terminated.

ÖZGEÇMİŞ

ADI	ELİF HATİCE
SOYADI	GÜRKAN
DOĞUM TARİHİ	06.06.1973
DOĞUM YERİ	SAMSUN
MEDENİ DURUM	Bekar
ÖĞRENİM DURUMU	
1979-1984 (İLKOKUL)	GÜLSÜM SAMİ KEFELİ İLKÖĞRETİM OKULU
1984-1987 (ORTAOKUL)	GÜLSÜM SAMİ KEFELİ İLKÖĞRETİM OKULU
1987-1990 (LİSE)	ONDOKUZ MAYIS LİSESİ
1990-1994 (ÜNİVERSİTE)	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ KİMYA MÜHENDİSLİĞİ
LİSANS BİTİRME ÖDEVİ	AMONYUMPERKLORAT ÜRETİMİ
1994 - (YÜKSEK LİSANS)	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ KİMYA MÜHENDİSLİĞİ
YABANCI DİL	İNGİLİZCE