

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEVCUT BUHAR TÜRBİN SANTRALLERİNİN
YENİLENMESİNDE KULLANILAN YENİLEME
YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Makina Müh. Muhammet KOÇ

**F.B.E Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Enerji Makinaları Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Ertuğrul KÜÇÜKKARAMIKLI (YTÜ)

Ertuğrul Küçükkaramıklı

Bayülken
Prof. Dr. *Şahmet* Bayülken

İSTANBUL, 2002

128783
Doc. Dr. Recep ÖZTÜRK

Recep Öztürk

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Yenileme Yöntemleri.....	1
1.2 Yenileme Nedenleri.....	2
1.3 Kombine Çevrim Genel Bakış.....	3
2. TAM YENİLEME YÖNTEMİ.....	4
2.1 Tam Yenileme Yöntemi Genel Bilgi.....	4
2.2 Tam Yenileme Yöntemi Analizi.....	7
2.3 Tam Yenileme Yöntemi Termodinamik Analiz.....	9
2.3.1 Bilinen Veriler.....	11
2.3.2 Kabul Edilecek Veriler.....	12
2.3.3 Hesaplamalarda Kullanılan Denklemler.....	13
2.4 Örnek Tesis Hesaplamaları.....	14
2.4.1 Örnek Tesis Verileri.....	16
3. TOPPING YENİLEME SİSTEMİ.....	22
3.1 Topping Yenileme Sistemi Genel Bilgi.....	22
3.2 Topping Yenileme Yöntemi Analiz.....	25
3.3 Sistemin Termodinamik Analizi.....	27
3.3.1 Bilinen Veriler.....	29
3.3.2 Kabul Edilecek Veriler.....	30
3.3.3 Hesaplamalarda Kullanılan Denklemler.....	31
3.4 Örnek Tesis Hesaplamalar.....	33
3.4.1 Örnek Tesis Verileri.....	35
4. PARALEL YENİLEME SİSTEMİ.....	43
4.1 Paralel Yenileme Sistemi Genel Bilgi.....	43
4.2 Paralel Yenileme Yöntemi Analiz.....	52
4.3 Sistemin Termodinamik Analizi.....	54
4.3.1 Bilinen Veriler.....	55
4.3.2 Kabul Edilecek Veriler.....	56
4.3.3 Hesaplamalarda Kullanılan Denklemler.....	57
4.4 Örnek Tesis Hesaplamalar.....	58
4.4.1 Örnek Tesis Verileri.....	60

5.	YENİLEME YÖNTEMLERİ ÖRNEK KODLAMA	67
6.	SONUÇLAR	78
	KAYNAKLAR.....	79
	EKLER.....	80
EK1	Eğriler (Tam Yenileme Yöntemi).....	80
EK1.1	Eğriler (Tam Yenileme Yöntemi) T3=1200	80
EK1.2	Eğriler (Tam Yenileme Yöntemi) T3=1300	85
EK1.3	Eğriler (Tam Yenileme Yöntemi) T3=1400	90
EK2	Eğriler (Topping Yenileme Yöntemi).....	95
EK2.1	Eğriler (Topping Yenileme Yöntemi) T3=1200	95
EK2.2	Eğriler (Topping Yenileme Yöntemi) T3=1300	101
EK2.3	Eğriler (Topping Yenileme Yöntemi) T3=1400	107
EK3	Eğriler (Paralel Yenileme Yöntemi)	113
EK3.1	Eğriler (Paralel Yenileme Yöntemi) T3=1200.....	113
EK3.2	Eğriler (Paralel Yenileme Yöntemi) T3=1300.....	118
EK3.3	Eğriler (Paralel Yenileme Yöntemi) T3=1400.....	123
	ÖZGEÇMİŞ.....	128

SİMGE LİSTESİ

P_6	Kızdırıcı çıkış basıncı
T_6	Kızdırıcı çıkış sıcaklığı
P_7	Kondenser basıncı
P_{rc}	Kompresör çıkış basıncının kompresör giriş basıncına oranı
P_{rt}	Yanma Odası çıkış basıncının türbin çıkış basıncına oranı
$N_{İLAVE}$	Sisteme ilave edilecek Gaz Türbin Gücü
\cdot	
m_g	Gaz Türbini kütleli debisi
T_3	Yanma Odası Sıcaklığı
T_4	Gaz Türbini çıkış sıcaklığı
T_5	Gazların Atık Isı Kazanından çıkış sıcaklığı
T_8	Ek Yanma Sonrası gazların sıcaklığı
T_1	Kompresör Giriş Sıcaklığı
P_1, P_4	Sırasıyla Gaz Türbini giriş ve çıkış basınçları
T_2	Kompresör Çıkış Sıcaklığı
T_C	Egzost Gazlarının Pinch Noktasındaki sıcaklığı
T_{X_s}	Suyun Pinch Noktasındaki Sıcaklığı
ΔT_p	Pinch Noktasındaki Sıcaklık farkı (Grafiklerde $\Delta T_p = TP$)
TP	Pinch Noktasındaki Sıcaklık farkı (Grafiklerde $\Delta T_p = TP$)
N_{BT}	Buhar Türbin Gücü
T_{F_s}	Suyun Yoğuşma noktasındaki sıcaklığı
T_9	Kazan giriş suyu sıcaklığı
N_{GT}	Gaz Türbini Gücü
N_{KOMP}	Kompresör Gücü
N_T	Toplam Tesis Gücü
\cdot	
m_b	Toplam buhar debisi
\cdot	
m_{b1}	Buhar Kazanı buhar debisi
\cdot	
m_{b2}	Atık Isı Kazanı buhar debisi
H_U	Kullanılan Yakıtın Alt Isıl değeri
H_{U2}	Ek Yanmada kullanılan yakıtın alt ısıl değeri
Q_Y	Verilen Toplam Isıl Güç
Q_{Y1}	Yanma Odasında verilen toplam ısıl güç
m_y	Yakıt Tüketimi
m_{y2}	Ek Yanma Yakıt Tüketimi
$\eta_{the(T)}$	Tüm Tesis Termik Verimi

$\eta_{\text{tbc(GT)}}$	Gaz Türbin Grubu Termik Verimi
η_b	Gaz Türbini Yanma Odası Yanma Verimi
$\eta_{\text{cis}}, \eta_{\text{tis}}$	Gaz Türbini Kompresör ve Türbin izentropik verimleri
$\eta_{\text{oc}}, \eta_{\text{ot}}$	Gaz Türbini Kompresör ve Türbin politropik verimleri
η_{b2}	Ek Yanma Yanma Verimi
η_{AIK}	Atık Isı Kazanı Verimi
η_K	Kazan Verimi
$c_{p_a}, c_{p_b}, c_{p_{eg}}, c_{p_m}$	Sırasıyla havanın, yanma gazlarının, egzost gazlarının, suyun özgül ısısı
$\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$	Sırasıyla Kompresör çıkışı, Yanma Odası, Türbin çıkışı basınç kaybı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Teknolojik Gelişim Eğrileri.....	3
Şekil 2.1	Yanmasız Kombine Çevrim Tesis Şeması	4
Şekil 2.2	Tam Yenileme ile yenilenmiş tesiste Gaz Türbini- Buhar Türbini güç oranları	5
Şekil 2.3	Bergen Elektrik Üretim Santralinde kömür-yakmalı kazanların kaldırılmasından önce ve sonra çekilmiş iki resmi tesisin görünümündeki değişikliği göstermektedir.	6
Şekil 2.4	Tam Yenileme Yöntemi Tesis Şeması	9
Şekil 2.5	Tam Yenileme Yöntemi Çevrim Şemaları (Topping and Bottoming Cycles) .	10
Şekil 2.6	AIK'nı Isı Transfer Diyagramı	10
Şekil 2.7	Yenileme Yöntemleri Programı Tam Yenileme Yöntemi Ana Menü.....	14
Şekil 2.8	Yenileme Yöntemleri Programı Tam Yenileme Yöntemi Veri Sonuçları Menüsü	15
Şekil 2.9	İlave Güç – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek1.1)	17
Şekil 2.10	Toplam Güç – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek1.2).....	18
Şekil 2.11	Termik Verim – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek1.3).....	19
Şekil 2.12	Yakıt Tüketimi – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek 1.4)	20
Şekil 2.13	Termik Verim-Toplam Güç Değişimi (Detay Ek 1.5).....	21
Şekil 3.1	Topping Yenileme Yöntemi akış şeması.....	22
Şekil 3.2	Topping Yenileme Yöntemi kullanılarak Yenilenmiş Tesisin şeması	23
Şekil 3.3	Mevcut kömür yakmalı ara kızdırmalı Buhar Türbin Santralininin Topping Yenileme Yöntemi kullanılarak yenilenmesi için gerekli yeni donanım	24
Şekil 3.4	Topping Yenileme Sistemi Tesis Şeması	27
Şekil 3.5	Topping Yenileme Sistemi Isı Transfer Diyagramı.....	28
Şekil 3.6	Yenileme Yöntemleri Programı Tam Yenileme Yöntemi Ana Menü.....	33
Şekil 3.7	Yenileme Yöntemleri Programı Tam Yenileme Yöntemi Veri Sonuçları Menüsü	34
Şekil 3.8	İlave Güç – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek2.1)	36
Şekil 3.9	Toplam Güç – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek2.2).....	37
Şekil 3.10	Termik Verim – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek2.3).....	39
Şekil 3.11	Yakıt Tüketimi – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek 2.4)	40
Şekil 3.12	Yakıt Tüketimi – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek 2.5)	41
Şekil 3.13	Termik Verim-Toplam Güç Değişimi (Detay Ek 2.6).....	42
Şekil 4.1	Paralel Yenileme Yöntemi akış şeması	43
Şekil 4.2	Paralel Yenileme Yöntemi kullanılarak Yenilenmiş Tesisin şeması.....	44
Şekil 4.3	İşletme basıncının düşürülerek kazan ömrünün artışı	45
Şekil 4.4	Paralel Yenilenmiş Mussalo2 kombine ısı güç santrali.....	46
Şekil 4.5	1. Düzenleme şematik şekli	48
Şekil 4.6	2. Düzenleme şematik şekli	49
Şekil 4.7	3. Düzenleme şematik şekli	50
Şekil 4.8	Uygulanan paralel yenileme düzenlemelerinin kazan basıncına etkisi	52
Şekil 4.9	Paralel Yenileme Yöntemi Tesis Şeması.....	54
Şekil 4.10	Yenileme Yöntemleri Programı Tam Yenileme Yöntemi Ana Menü.....	58
Şekil 4.11	Yenileme Yöntemleri Programı Tam Yenileme Yöntemi Veri Sonuçları Menüsü	59
Şekil 4.12	İlave Güç – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek3.1)	61
Şekil 4.13	Toplam Güç – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek3.2).....	62
Şekil 4.14	Termik Verim – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek3.3).....	63
Şekil 4.15	Yakıt Tüketimi – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek 3.4)	64
Şekil 4.16	Termik Verim-Toplam Güç Değişimi (Detay Ek 3.5).....	65

ÖNSÖZ

Bu Tez, Mevcut Buhar Türbin santrallerinin kombine çevrim santrallerine dönüştürülerek yenilenmesinde kullanılan Yenileme Yöntemlerinin karşılaştırılmasını içermektedir. Karşılaştırma Visual Basic ortamında tarafımdan hazırlanmış olan Yenileme Yöntemleri adlı bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada Siemens, General Electric, SOAPP, Tampa, Taftan Data, IAPPS gibi firma ve kurumların yapmış olduğu çalışmalardan faydalanılmıştır. Ayrıca Gaz Türbinleri I-II Ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi Termodinamik Kürsüsü doktora tez çalışmaları ve Laboratory of Termal Engineering of the University of Twente doktora tez çalışmaları tez çalışmamda kaynak teşkil etmişlerdir.

Burada önemli fikirlerinden yararlandığım hocam, Sayın Prof. Ertuğrul Küçükçaramıklı ve Araştırma Görevlisi Hasan Hüseyin Erdem'e yardımlarımdan dolayı teşekkürü bir borç bilirim.



ÖZET

Mevcut buhar türbin santrallerinin yenilenmesinin temelini ; fosil yakıtlı buhar türbin santraline gaz türbini yerleştirilmesi ve gaz türbini çıkışındaki eksoz gazlarının ısısından yararlanılarak çevrimin kombine çevrime dönüştürülmesi oluşturur. Uygulanan tüm sistemlerde eklenen gaz türbini ile santral güç kapasitesi artırılır ve eksoz gazındaki ısıdan yararlanılarak santralin verim değeri yükseltilir. Uygulanan yöntemler bu çalışmada anlatılmış ve birer uygulama örnekleri verilmiştir. Uygulama örnekleri tesise özgü verilerin ve standart olarak kabul ettiğimiz veriler ışığında termodinamik denklemler kullanılarak Visual Basic ortamında tarafımdan hazırlanmış Yenileme Yöntemleri adlı bilgisayar programı ile yapılmıştır. Sonuçlar Excel-Grafik programına aktarılmış ve elde edilen grafikler yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : yenileme yöntemleri, gaz türbini, atık ısı kazanı, pinch noktası, buhar türbini



ABSTRACT

The basis of repowering existing steam turbines is to add a gas turbine group to a fossil fueled plant and to use the waste heat in the gas turbine exhaust by changing the steam cycle to a combined cycle. In all of the repowered systems the power capacity of the plant is enhanced by the added gas turbine and the efficiency of the plant is also enhanced by using the waste heat in the exhaust gases. The applications of repowering are presented and an example to each of them is given in this study. The applications are discussed and evaluated by a pc program called "Repowering Options" where the input data for the existing steam plant and the standart data are used in the thermodynamic equations to find the repowered plant data. The program is written by using the Microsoft Visual Basic Programming Environment. The results are transfered to Microsoft Excel Graphical Environment to have the resultant curves. The resultant curves are then discussed.

Keywords : Repowering, gas turbine, pinch point, heat recovery steam generator, steam turbine



1. GİRİŞ

1.1 Yenileme Yöntemleri

Mevcut Buhar türbinlerinin yenilenmesinde en iyi bilinen ve en çok kullanılan yöntem genelde, yenileme olarak da bilinen Tam Yenileme yöntemidir. Bu yöntem buhar türbininden en yüksek tatbik edilebilir (mümkün) çıkış gücünü elde etmek ve yakmalı kazanın uygun koşullarda gerekli buharı arttırmak için tasarlanmış Atık Isı Kazanı boyunca egzost eden bir veya daha fazla gaz türbini ile yer değiştirilmesi esasına dayanır. Başka bir deyişle, basit buhar çevrimi yanmasız kombine çevrime dönüştürülmüş olur. Bu da hem tesis kapasitesinin hem de tesis veriminin önemli ölçüde artırılmasıyla sonuçlanır.

Sıcak-Rüzgar kutulu yenileme olarak da bilinen Topping Yenileme yöntemi mevcut buhar türbin ünitelerinin (gruplarının) yenilenmesinde çok daha az sıklıkta tatbik edilen bir yenileme yöntemidir. Bu yöntem mevcut kazan ocağında yakıtı yakmak için yeni gaz türbininden çıkan egzost gazının sıcak yanma havası olarak kullanımını içerir. Kazan bölümünde değişikliklerin yapılmasının gerekli kılan bu yöntem basit buhar çevriminin tam yanmalı kombine çevrime dönüştürülmesi anlamına gelir. Tam yenileme yöntemine göre daha az olmakla beraber, hem tesis kapasitesinin hem de tesis veriminin önemli ölçüde artırılmasıyla sonuçlanır. Kapasite ve performanstaki benzer bir artışa mevcut buhar türbinin paralel yenileme yöntemi kullanılarak yenilenmesi ile daha basit olarak ulaşılabilir. Bunun nedeni birçok durumda kazanın yenilenmesi veya kazanda tadilat yapılmasını gerekli kılmayıdır. Paralel Yenileme yönteminde kazanın termal güç çıkışı azaltılmasına rağmen buhar türbininden tam çıkış gücü sağlamak için tasarlanmış yeni gaz türbini ile ilişkili (bağlantılı) olan Atık Isı Kazanı (AIK) ikinci bir bağımsız buhar kaynağı olarak sisteme eklenir. Kazan yükü böylece azaltılmış olur. Buhar türbinine ek buhar gönderilmesi, kızdırıcı çıkış basıncının düşürülmesi ile sonuçlanmıştır. Böylece mevcut kazanın ortalama ömrü artırılmış olur.

Sadece son zamanlarda ortaya atılan paralel yenileme fikri yüksek derecede çok yönlü bir kavramdır. Paralel Yenileme yöntemi sadece hem kömür ve doğalgaz veya petrol fuel oil gibi sıvı yakıtların aynı kombine-çevrim bloğu içinde yakılmasına imkan vermekle kalmaz, aynı zamanda mevcut buhar türbininin kapasitesine bağlı olan gaz türbin kapasitesinin uygun seçimi ile katı yakıtların gaz ve sıvı yakıtlara oranı hemen hemen belirlenebilir. Sonuç olarak, bu çalışmanın amacı, mevcut kömür-yakmalı buhar üretim tesislerinde hala iyi bilinmeyen

Paralel-yenileme yöntemini ve diğer yenileme yöntemlerinin uygulanmasını bilgilerinize sunmaktadır.

1.2 Yenileme Nedenleri

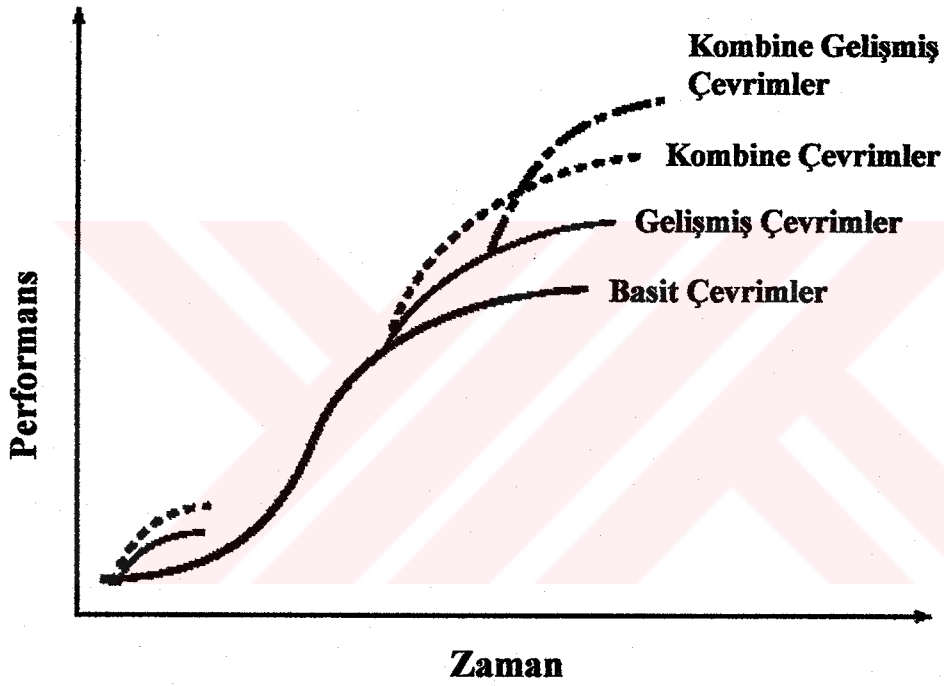
Dünya nüfusun hızlı artışı ve yaşam standartlarının gün geçtikçe yükselmesi beraberinde enerji tüketimindeki hızlı artışı getirmiştir. Enerji tüketimi içerisinde önemli bir yer tutan elektrik enerjisi bu hızlı artış ile üretilmesi gereken en önemli enerji türü olmuştur. Elektrik enerjisi üretim kapasitesini artırmanın iki yöntemi vardır. Birinci yöntem yeni santrallerin yapılması ve ikinci yöntem ise mevcut eski santrallerin yenilenerek güç ve verimlerinin artırılmasıdır. Mevcut santrallerin yenilenmesi yada modernize edilmesi bir çok sebepten dolayı daha avantajlı olabilir. Bu avantajlar aşağıda sıralanmıştır.

- Mevcut santrallerin lisansları vardır. Yeni santral yapılırken alınması gerekli olan lisansın mevcut santrallerin yenilenmesi esnasında alınmasına gerek yoktur yada lisans alma süresi kısadır.
- Mevcut santralin altyapısından yararlanılmaya devam edilir. Bu sayede inşaat süresi ve inşaat maliyetleri düşük olacaktır.
- Daha az inşaat yapılması ve yeni ekipmanlar için daha az yer gerektirir.
- Mevcut santraller kömür, fuel-oil ve doğal gazdan oluşan fosil kaynaklı yakıtları kullanırlar. Fosil yakıtların potansiyelleri ise sınırlıdır ve tüketim hızına bağlı olarak tahmin edilen belirli bir ömürleri vardır. Bu nedenle fosil yakıtların kullanımındaki en önemli husus en verimli şekilde değerlendirilmeleridir. (Bauer G. and Joyce J. 1996) Kömür yakıtlı santrallerde ulaşılan en iyi verim değeri % 45 iken , mevcut santrallerin yenilenmesinin de temelini oluşturan kombine çevrimde verim % 60 değerlerine ulaşmaktadır. Bir santraldaki verimin artırılması birim güç elde etmek için harcanan yakıt miktarını azaltacaktır. Verim değerindeki çok küçük artışlar bile santralin güç değerine bağlı olarak tüketilen yakıt miktarında önemli azalmalar sağlayacaktır.
- Mevcut santrallerin yenilenmesi , santrallerin çevre üzerine olan zararlı etkilerinin de azaltacaktır. Verimin artması ile azalacak yakıt miktarı nedeniyle çevreye atılan zararlı gaz bileşenleri ve katı atıklar azalacaktır. Bu azalmanın bir nedeni de ilave edilen gaz türbininde yakıt olarak doğal gaz yada fuel-oil kullanılması ve bu sayede eski santralin ana yakıtı olan kömürün tüketim miktarının azaltılmasıdır.
- Eski santrallerin kuruluş yıllarından buyana otomasyon konusunda hızlı gelişmeler olmuştur. Yeni santrallerde kurulan gelişmiş otomasyon sistemleri ile operatörler yüksek verim ve ilave ısı üretimlerini monitörlerden kolayca kontrol edebilmektedirler.

Yukarıdaki hususlar göz önüne alındığında eski santrallerin yenilenmeleri ve modernize edilmeleri büyük önem kazanmaktadır. Bir çok eski santral tekrar gözden geçirilmiş ve en uygun yöntem araştırılmıştır.

1.3 Kombine Çevrim Genel Bakış

Teknolojilerin gelişimi genelde bir S-çirisi şeklindedir. Yeni teknoloji sunum aşamasında düşük bir performans gösterir ve mevcut teknolojilerle rekabet edemez. Daha sonra ilerleme evresi gelir. Bu evrede performans çok hızlı artar, kitlesel üretimden dolayı maliyetler düşer ve daha ileri araştırma ve geliştirmeler için daha fazla yatırım hedeflenir. Bir süre sonra teknoloji duraklama evresine girer, büyüme yavaşlar ve başarı ancak ünite kapasitesini arttırarak sağlanabilir duruma gelir(Şek.1.1).

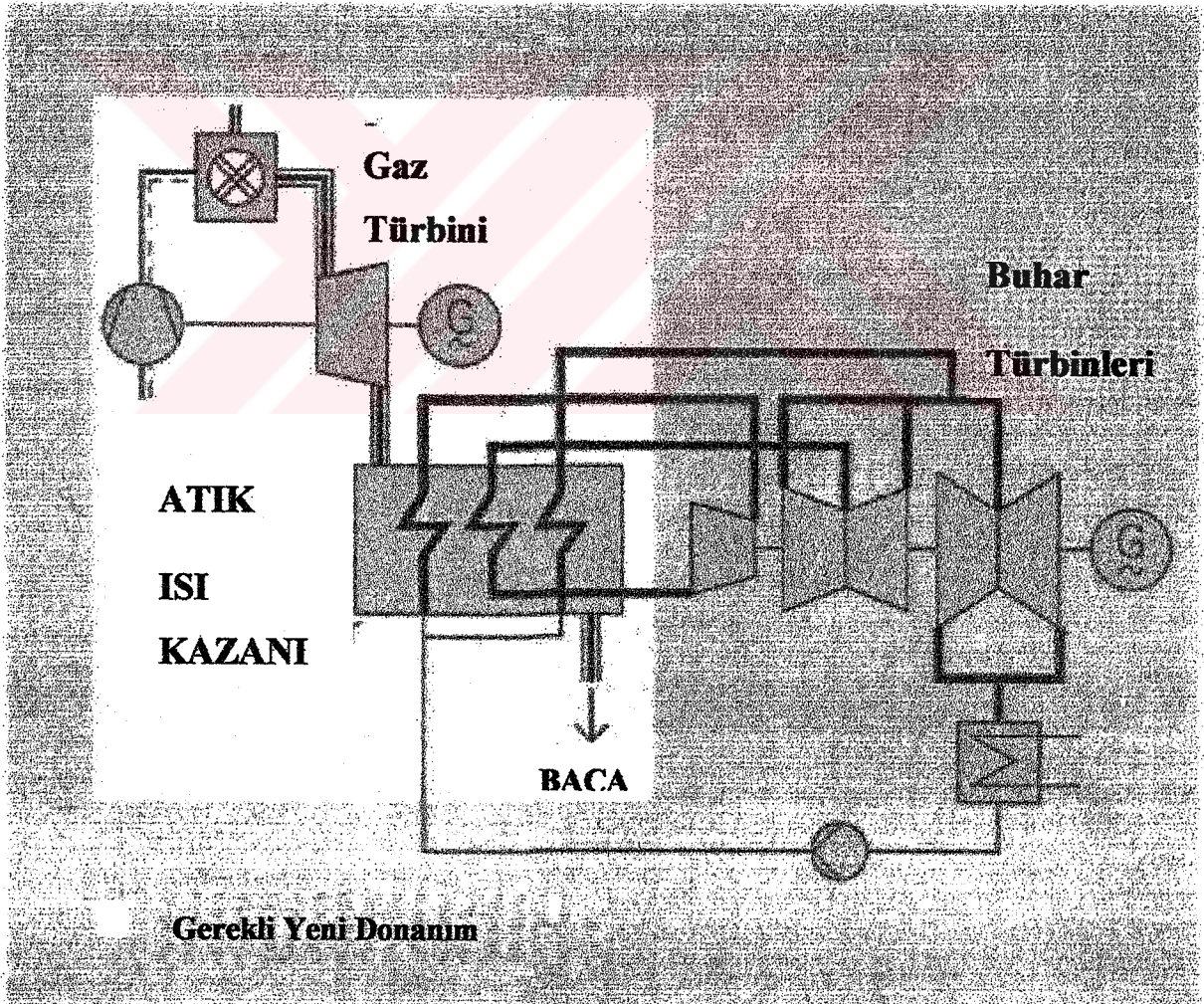


Şekil 1.1 Teknolojik Gelişim Eğrileri

2. TAM YENİLEME YÖNTEMİ

2.1 Tam Yenileme Yöntemi Genel Bilgi

Özellikle kömür yakmalı kazanlarda olmak üzere kazanın ömrü türbinin ömründen kısadır. Bunun sonucunda ; sadece kazan bir veya daha fazla gaz türbini ve atık ısı kazanı (AIK) ile değiştirilir. Değişirme esnasında ya eski buhar ihtiyacı yada yenilenmiş buhar ihtiyacı göz önüne alınır. Bu yöntemle tam buhar çevrimi yanmasız kombine çevrime dönüştürülür. Eski santraller için en uygun yöntemdir Çünkü türbin, kondenser ve diğer elemanlar kullanılırken verim ve kapasitede önemli artışlar meydana gelir. Aynı zamanda gaz türbininin ve AIK nın yatırım maliyetleri düşüktür. Şekil 2.1 de'ki beyaz kare içine alınmış bölgedeki elemanlar mevcut buhar türbin santralının tam yenileme yöntemi kullanılarak yenilenmesi için gerekli olan gaz türbini ve atık ısı kazanı(AIK) donanımını göstermektedir.

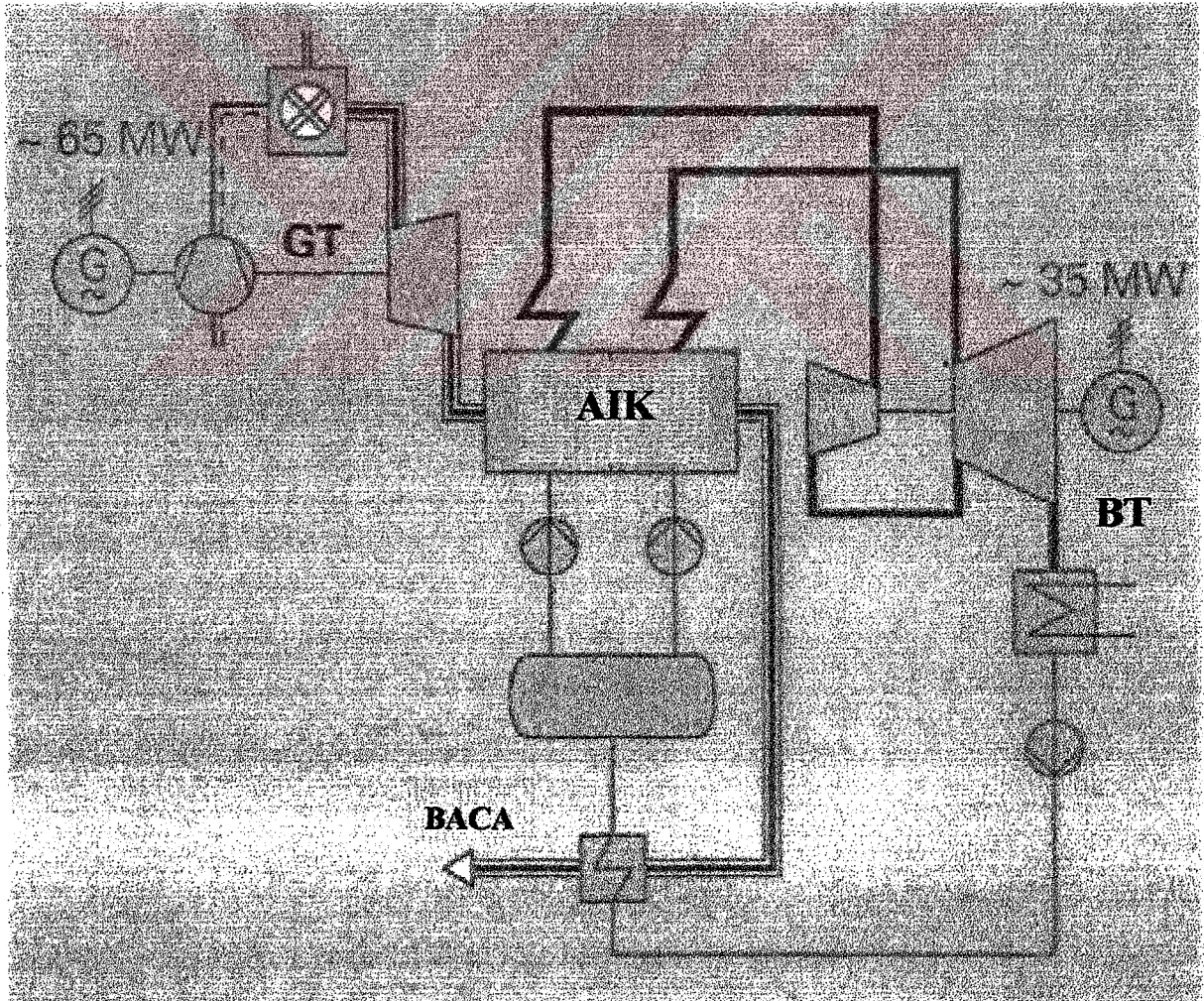


Şekil 2.1 Yanmasız Kombine Çevrim Tesis Şeması

Modern yanmasız kombine santrallarda gaz türbini-buhar türbini kapasite oranı 65-35 dir. Yani gaz türbini toplam çıktının yaklaşık olarak 3 de 2' sini üretir. Şekil 2.2 de bu sistemin şematik şekli verilmiştir.

Tam yenileme sistemi ile % 38 mertebesinde olan verim % 50 civarına çıkartılır ve santralin kapasitesi 2 katına ve bazı durumlarda 3 katına yükseltilir. Bu şekilde verim ve kapasite artışını engelleyen bir engel yoktur. Çünkü eski kazanın çıkartılması ile boşalan alana rahatlıkla çok sıkı bir şekilde dizayn edilmiş olan gaz türbini ve AIK yerleştirilebilir.

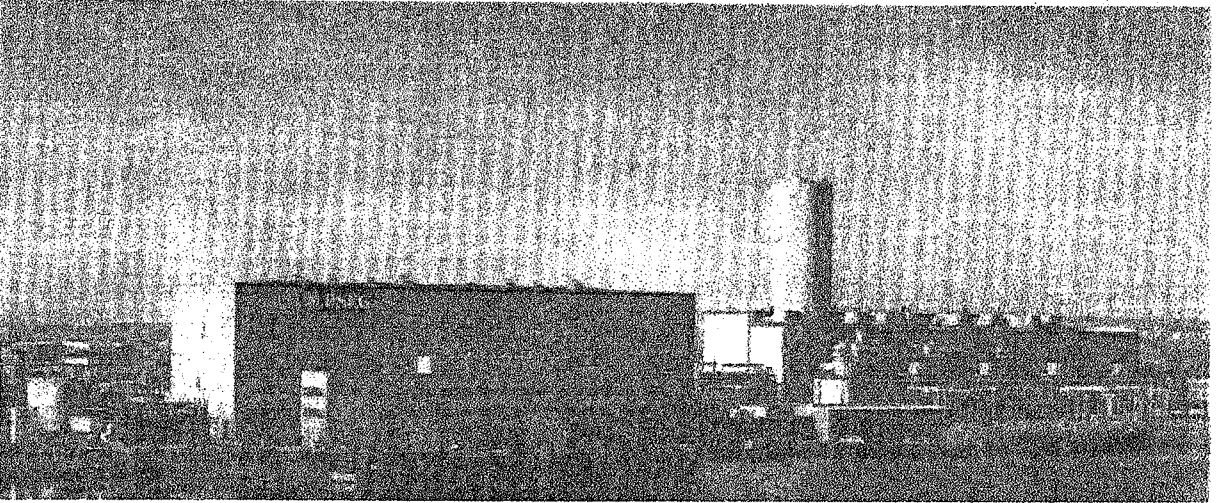
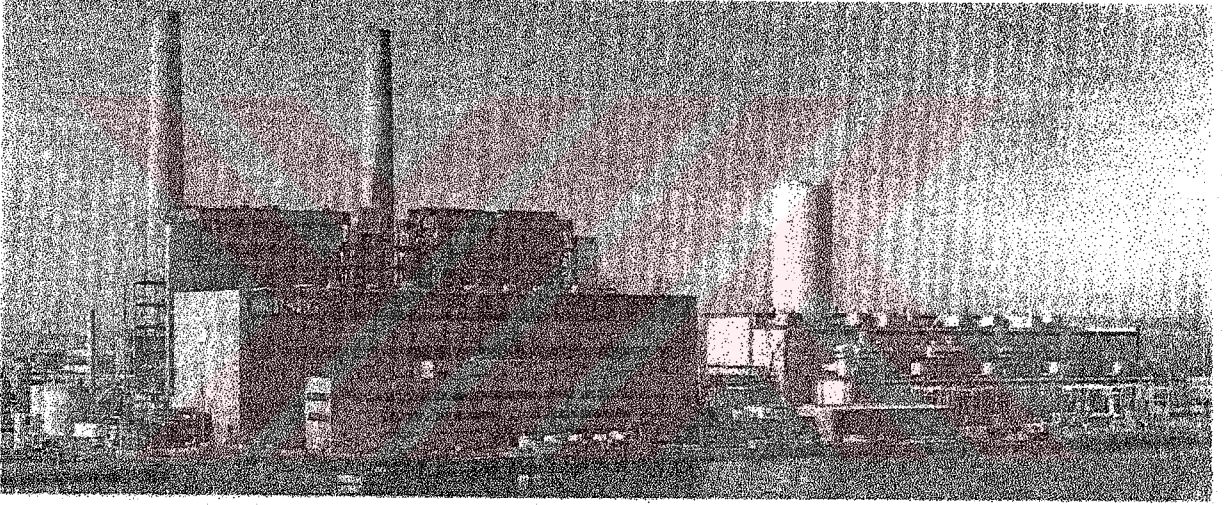
Bu yöntem daha çok yeni santral yapılması zor olan ülkelerde uygulanır. Kapasitenin büyük miktarda artırılması ile eski santralden daha yoğun faydalanılmış olunur. Çıkış gücünün üç katına çıkmasına rağmen kondenserde atılan ısıda bir artış olmayacaktır. Bu nedenle kondenserin giriş ve çıkış yapılarında bir değişiklik yapılmayacağı gibi soğutma suyu miktarında artırılmayacaktır.



Şekil 2.2 Tam Yenileme ile yenilenmiş tesiste Gaz Türbini- Buhar Türbini güç oranları

Mevcut dış elektrik sistemi ile hatlar ve mevcut transformatörler aynen kalır, sadece yeni gaz türbini transformatörleri ilişkilendirilmek zorundadır. Gaz türbini ve AIK ları kömür yakmalı kazan ve bacalardan daha küçük olduğundan, bu dönüşüm sonrasında santralin görüntüsü küçülür. Bu durum şehir içersinde kalan santraller için önemlidir.

Bu yenilemeye örnek ABD' deki Bergen Santralidir. Bergen santrali 1959 yılında kurulmuş ve 285 MW'lık 2 adet ara kızdırmalı buhar türbini ile 1989 ydına kadar 200.000 saat işletilmişti. Orjinali kömür yakıtlı olan santral fuel-oil' e dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sonrasında buhar sıcaklığı 593° C den 566° C ye indirildi. Kazanlardan birinin yerine 4 adet gaz türbini ve 3 faz basınçlı AIK yerleştirilerek güç 750 MW e çıkarıldı. Yüksek basınç ve orta basınç türbinlerinin giriş şartları düşürülerek türbin ömürleri artırıldı. Bu düşüğe rağmen yeni verim % 50 oldu.



Şekil 2.3 Bergen Elektrik Üretim Santralinde kömür-yakmalı kazanların kaldırılmasından önce ve sonra çekilmiş iki resmi tesisin görünümündeki değişikliği göstermektedir.

Tam Yenileme Yöntemi kullanılarak yenilenmiş tesis 9 ppm NOx emisyon limitinin altında çalışmaktadır. İlişkili CO ve UHC(yanmamış hidrokarbon) emisyonları ise 1ppm gibi zorlukla ölçülebilen değerin altında seyretmektedir. CO₂ atımı ve bilinen kirlotici emisyon seviyeleri eski tesise göre oldukça azalmıştır. Şekil 2.3 teki iki resim Bergen istasyonunun yenilenmeden önceki ve sonraki durumunu göstermektedir.

2.2 Tam Yenileme Yöntemi Analizi

$$N_{\text{ILAVE}} = N_{\text{GT}} - N_{\text{KOMP}} \quad (2.1)$$

$$N_{\text{ILAVE}} = \dot{m}_g \times [c_{p_g} \times (T_3 - T_4) - c_{p_a} \times (T_2 - T_1)] \quad (2.2)$$

$$T_C = T_{x_s} + \Delta T_P \quad (2.3)$$

$$\dot{m}_g = \frac{\dot{m}_b (h_6 - h_{s_x})}{c_{p_{oz}} \times (T_4 - T_C) \times \eta_{\text{AIK}}} \quad (2.4)$$

Sabit basınçtaki özgül ısılar, (specific heat at constant pressure),(c_p) bütün sıcaklıklarda sabit kabul edilirse,

$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{\dot{m}_b (h_6 - h_{s_x})}{(T_4 - T_C) \times \eta_{\text{AIK}}} \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (2.5)$$

$$A = \frac{\dot{m}_b (h_6 - h_{s_x})}{\eta_{\text{AIK}}} \quad (2.6)$$

$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{A}{(T_4 - T_5)} \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (2.7)$$

$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{A}{(T_4 - T_C)} \times \left[\left(\eta_{\text{tis}} \times T_3 \times \left(1 - \left(\frac{1}{P_r} \right)^{(k_g-1)/k_g} \right) \right) - \left(\frac{T_1}{\eta_{\text{eis}}} \times \left((P_{re})^{(k_a-1)/k_a} - 1 \right) \right) \right] \quad (2.8)$$

$$N_{\text{ILAVE}} \approx (A, T_C, T_3, T_1, \eta_{\text{cis}}, \eta_{\text{tis}}, P_{\text{rc}}, P_{\text{rt}}) \quad (2.9)$$

$$\eta_{\text{the(BT)}} = \frac{h_6 - h_7}{h_6 - h_9} \quad (2.10)$$

$$m_b = \frac{N_{\text{BT}}}{h_6 - h_7} \quad (2.11)$$

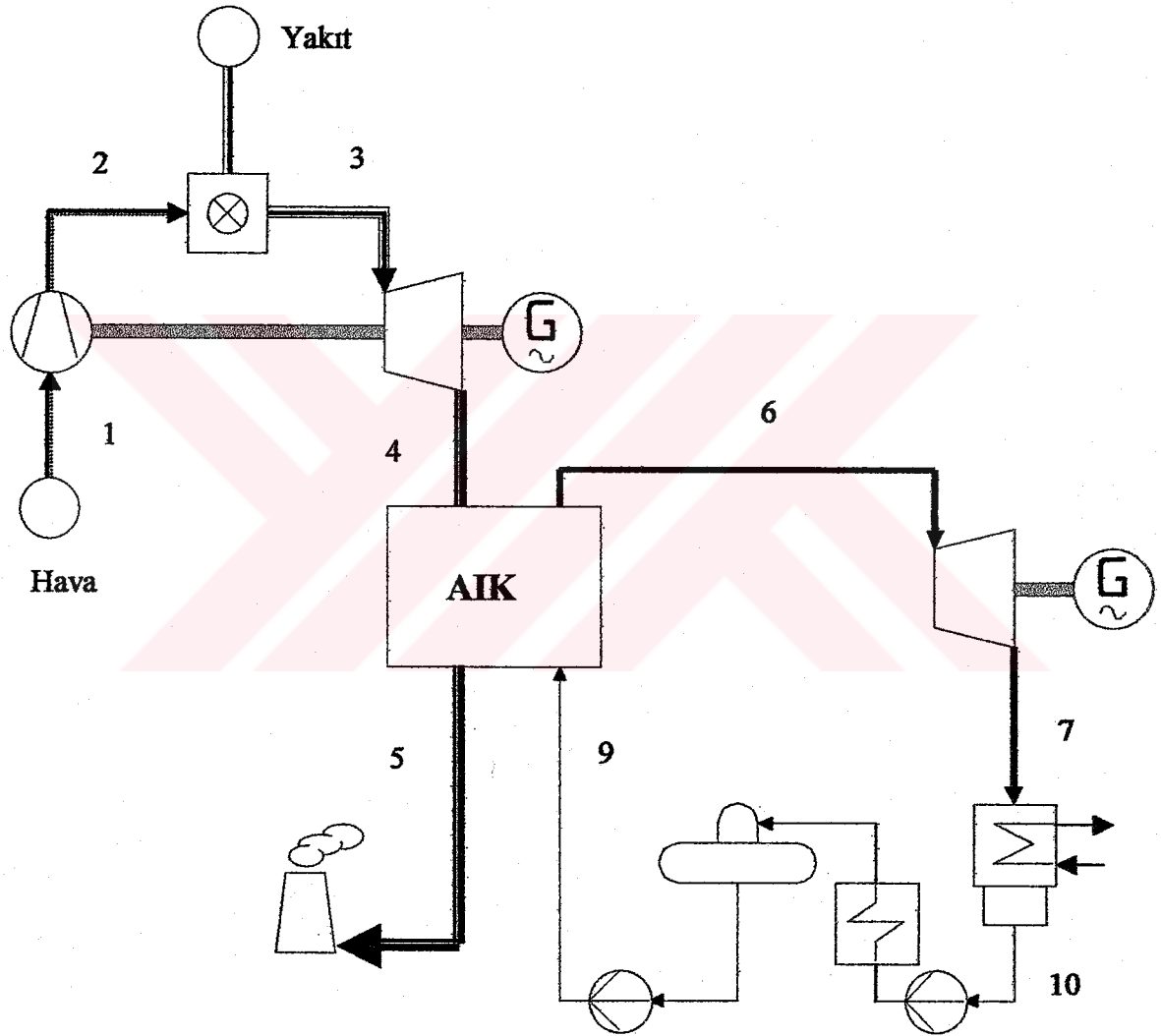
$$\dot{m}_g = \frac{\dot{m}_b (h_6 - h_9)}{c_{\text{Peg}} \times (T_4 - T_5) \times \eta_{\text{AIK}}} \quad (2.12)$$

$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{N_{\text{BT}}}{\eta_{\text{the(BT)}} \times (T_4 - T_5) \times \eta_{\text{AIK}}} \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (2.13)$$

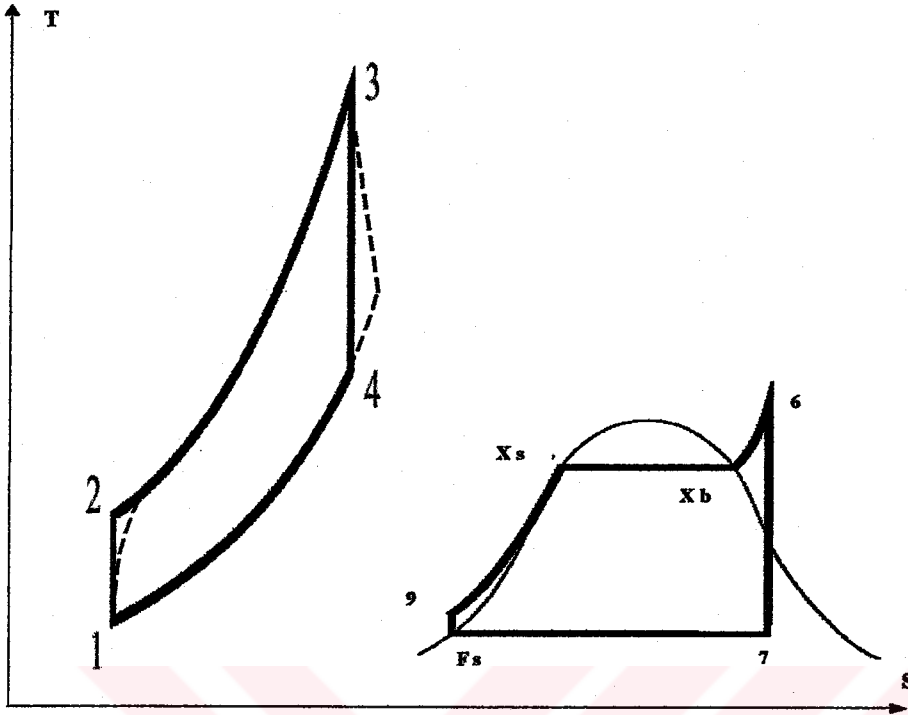
$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{N_{\text{BT}}}{\eta_{\text{the(BT)}} \times (T_4 - T_5) \times \eta_{\text{AIK}}} \times \left[\left(\eta_{\text{tis}} \times T_3 \times \left(1 - \left(\frac{1}{P_{\text{rt}}} \right)^{(k_g-1)/k_g} \right) \right) - \left(\frac{T_1}{\eta_{\text{cis}}} \times \left((P_{\text{rc}})^{(k_a-1)/k_a} - 1 \right) \right) \right] \quad (2.14)$$

$$N_{\text{ILAVE}} \approx (N_{\text{BT}}, \eta_{\text{the(BT)}}, \eta_{\text{AIK}}, T_3, T_5, T_1, \eta_{\text{cis}}, \eta_{\text{tis}}, P_{\text{rc}}, P_{\text{rt}}) \quad (2.15)$$

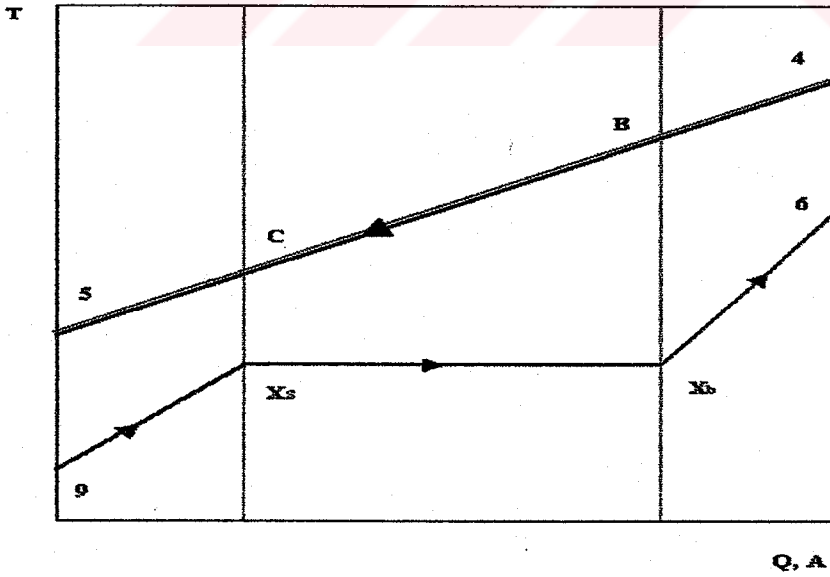
2.3 Tam Yenileme Yöntemi Termodinamik Analiz



Şekil 2.4 Tam Yenileme Yöntemi Tesis Şeması



Şekil 2.5 Tam Yenileme Yöntemi Çevrim Şemaları (Topping and Bottoming Cycles)



Şekil 2.6 AIK'nı Isı Transfer Diyagramı

Buhar Türbini grubu ile ilgili veriler bilinmektedir. Sistemden sadece kazan kaldırılarak atık ısı kazanı ve gaz türbin grubu ilave edilecektir.

2.3.1 Bilinen Veriler;

Buhar Türbin Gücü N_{BT} (kW)

Kızdırıcı çıkış basıncı ve sıcaklığı P_6, T_6 : (1967 IAPS özellikleri referans alınarak fortran programlama kodu visual basic'e dönüştürülmüş ve h_6 hesaplanmasında kullanılmıştır.

Türbin Egzost Basıncı (Kondenser basıncı) P_7 : Referans Programlama kodu ve yaş buhar bölgesi termodinamik denklemleri kullanılmıştır.

Doyma Sıcaklıkları $T_{x_s}, h_{x_s}, T_{f_s}, h_{f_s}$: Referans Programlama kodu kullanılmıştır.

Kazan Giriş Suyu Sıcaklığı T_9 : Bu kazan giriş suyu sıcaklığı olup sistem için önceden verilecektir. Kazan besleme suyu hiterlerde ön ısıtmadan geçmektedir.

2.3.2 Kabul Edilecek Veriler ;

Yanma Verimi η_b (0.95-0.99)

Yanma Odası Sıcaklığı T_3 ($^{\circ}\text{K}$) (1100, 1200, 1300, 1400, 1500)

Gaz Türbin giriş ve çıkış basınçları P_1, P_4 (1 bar)

Politropik Verimler $\eta_{\text{loc}}, \eta_{\text{tot}}$

Özgül Isılar $c_{p_a}, c_{p_g}, c_{p_{eg}}, c_{p_{su}}$: Kabul edilecek (Sıcaklık ve yakıtı bağı olarak)

Basınç kayıpları $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$: Kompresör çıkış basınç kaybı, Yanma Odası basınç kaybı, Türbin çıkış basınç kaybı

Atık Isı Kazanı Verimi η_{AIK}

Pinch Noktası Sıcaklık Farkı ΔT_p : Sıcak ve Soğuk akımlar arasındaki minimum sıcaklık farkı

2.3.3 Hesaplamalarda Kullanılan Denklemler ;

$$\text{Buhar debisi } \dot{m}_b : N_{BT} = \dot{m}_b \times (h_6 - h_7) , \quad \dot{m}_b = \frac{N_{BT}}{h_6 - h_7} \quad (2.16)$$

$$\text{Pinch noktasındaki sıcak akışkan sıcaklığı } T_C : T_C = T_{x_s} + \Delta T_p \quad (2.17)$$

$$\text{Türbin Basınç oranı } P_{rt} : P_{rt} = \frac{P_2 \times (1 - \Delta P_1(\%) - \Delta P_2(\%))}{P_1 + \Delta P_3} \quad (2.18)$$

$$\text{Türbin Çıkış Sıcaklığı } T_4 : T_4 = T_3 \left[1 - \eta_{tis} \times \left(1 - \frac{1}{(P_{rt})^{(k_s-1)/k_s}} \right) \right] \quad (2.19)$$

$$\text{Gaz debisi } \dot{m}_g : \dot{m}_g = \frac{\dot{m}_b (h_6 - h_{x_s})}{c_{p_{eg}} \times (T_4 - T_C) \times \eta_{AIK}} \quad (2.20)$$

$$\text{Kompresör Çıkış Sıcaklığı } T_2 : T_2 = T_1 \left(1 + \frac{1}{\eta_{cis}} \times \left(P_{re}^{(k_a-1)/k_a} - 1 \right) \right) \quad (2.21)$$

$$\text{İlave Edilen Güç } N_{İLAVE} : N_{İLAVE} = \dot{m}_g \times [c_{p_g} \times (T_3 - T_4) - c_{p_a} \times (T_2 - T_1)] \quad (2.22)$$

$$\text{Sistemin Toplam Gücü } N_T : N_T = N_{BT} + N_{İLAVE(GT)} \quad (2.23)$$

$$\text{Yanma Odasında verilen Isıl Güç } Q_Y : Q_Y = \frac{\dot{m}_g \times c_{p_g} (T_3 - T_2)}{\eta_b} \quad (2.24)$$

$$\text{Toplam Verim } \eta_{the(T)} : \eta_{the(T)} = \frac{N_T}{Q_Y} \quad (2.25)$$

$$\text{Gaz Türbin Grubu Verimi } \eta_{the(GT)} : \eta_{the(GT)} = \frac{N_{İLAVE}}{Q_Y} \quad (2.26)$$

$$\text{Yakıt Tüketimi } m_Y : m_Y = \frac{\dot{m}_g \times c_{p_g} (T_3 - T_2)}{H_U \times \eta_b} \quad (2.27)$$

2.4 Örnek Tesis Hesaplamaları;

Yukarıdaki formüller yardımıyla atık ısı kazanındaki ısı değişiminden yararlanılarak visual basic 6.0 yardımıyla aşağıda Tam Yenileme Yöntemi Hesaplama Menüsü görülen Yenileme Yöntemleri adlı bilgisayar programı tarafımdan yazılmıştır. Üst bölümde tesise ait veriler ve standart kabul edilen veriler girilmiştir. Alt bölümde ise yukarıda esas alınan termodinamik denklemler yardımıyla hesaplanmış tesis verileri görülmektedir. Program ile ilgili örnek kodlama Yenileme Yöntemleri örnek kodlama adı altında 5. bölümde detaylı olarak verilecektir.

TAM YENİLEME YÖNTEMİ İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR													
TAM YENİLEME YÖNTEMİ İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR													
Buhar Dehisi Verileri			Kütlesel Dehi Verileri				Hava Güç Hesabı Verileri						
N_{BT}	400	MW	$c_{p_{en}}$	1.14	kJ/kg ^o K	η_{en}	0.87	$c_{p_{an}}$	4.18	kJ/kg ^o K	η_{an}	0.85	
P_1	40	bar	T_1	300	^o K	$T_2/(T_2-1)$	3.5	T_2	523	^o K	$c_{p_{an}}$	1.1	kJ/kg ^o K
T_1	873.17	^o K	$c_{p_{an}}$	1.00	kJ/kg ^o K	P_2	12	η_{air}	0.88	$T_2/(T_2-1)$	4		
P_2	0.05	bar	P_1	1	bar	ΔP_1	2	% P_1		ΔP_2	3	% P_2	
ΔT_1	10							T_3	120	^o K	ΔP_3	0.04	bar
η_{en}	0.97												
Termik Verim Hesabı Verisi			Yakıt Tüketimi Hesabı Verisi										
η_k	0.98		H_u	43000	kJ/kg								
Kütlesel Dehi Hesabı			Buhar Dehisi Hesabı			Hava Güç Hesabı		Termik Verim Hesabı		Tabluya Yazdır			
h_a	1046.7	kJ/kg	h_e	3672.802	kJ/kg	m	315.8929391	kg/s	T_2	678.47236	^o K	$\eta_{air(T)}$	0.420975561
T_a	721.453	^o K	T_e	306.0472	^o K	Formül		N_{HAVA}	771.65915	MW	$\eta_{air(T)}$	0.277256096	
T_2	533.355	^o K	h_r	138.3622	kJ/kg	Net Güç Hesabı		P_1	10.96153		Formül		
m_e	4555.65	kg/s	T_2	523.4830	^o K	N_r	1171.659151	MW	Yakıt Tüketimi Hesabı				
Formül			h_r	1048.722	kJ/kg	Formül		m	64.72557958	kg/s	Formül		
										Hexapla			
										Kaydet			

Şekil 2.7 Yenileme Yöntemleri Programı Tam Yenileme Yöntemi Ana Menü

Örnek Tesisimiz bir yakmalı buhar kazanı ve buhar türbininden oluşan bir termik tesis olsun. Bu tesise uygun yenileme yönteminin Tam Yenileme Yöntemi olduğunu varsayalım ve standart değerlere ve tesis verilerine göre yenileme yapıldığında gerekli olan ek tesis verilerini elde edelim. Yukarıdaki menüde belli bir ΔT_p , P_{tc} değeri için ilave edilecek gaz türbini gücü, yakıt tüketimi, kütleli gaz debisi, gaz türbin çıkış sıcaklığı gibi veriler elde edilmektedir. Eğer P_{tc} değişken kabul edilir ve ΔT_p 'nin 10-80 arasında değiştiği varsayılırsa yine Yenileme Yöntemleri Programı yardımıyla gaz türbin gücü, yakıt tüketimi, toplam termik verim ve toplam gücün değişimi elde edilir.

EXCEL VERİ SONUÇLARI TABLOSU					
HESAPLAMA SONUÇLARI TABLOSU					
Basınç oranı	Buhar Türbin Gücü	Gaz Türbin Gücü	Toplam Güç	Termik Verim	Y.
2	400.000	145.255	545.255	3448	
3	400.000	265.254	665.254	3749	
4	400.000	358.039	758.039	3926	
5	400.000	434.562	834.562	4039	
6	400.000	500.072	900.072	4114	
7	400.000	557.531	957.531	4164	
8	400.000	608.785	1008.785	4196	
9	400.000	655.068	1055.068	4214	
10	400.000	697.247	1097.247	4221	
11	400.000	735.953	1135.953	4219	
12	400.000	771.659	1171.659	4210	
13	400.000	804.729	1204.729	4194	
14	400.000	835.444	1235.444	4172	
15	400.000	864.024	1264.024	4144	
16	400.000	890.645	1290.645	4112	
17	400.000	915.441	1315.441	4075	
18	400.000	938.520	1338.520	4033	
19	400.000	959.960	1359.960	3986	
20	400.000	979.819	1379.819	3935	
21	400.000	998.134	1398.134	3880	
22	400.000	1014.922	1414.922	3820	
23	400.000	1030.181	1430.181	3756	
24	400.000	1043.891	1443.891	3687	
25	400.000	1056.011	1456.011	3613	
26	400.000	1066.478	1466.478	3534	
27	400.000	1075.206	1475.206	3450	
28	400.000	1082.079	1482.079	3360	
29	400.000	1086.946	1486.946	3264	
30	400.000	1089.619	1489.619	3162	

Şekil 2.8 Yenileme Yöntemleri Programı Tam Yenileme Yöntemi Veri Sonuçları Menüsü

2.4.1 Örnek Tesis Verileri :

$$N_{BT} = 400 \text{ MW}$$

$$P_6, T_6 = 40 \text{ bar}, 600 \text{ C}$$

$$P_7 = 0.05 \text{ bar}$$

$$T_9 = 523 \text{ K}$$

Yukarıdaki veriler yenilenmesi düşünülen tesise özgü verilerdir. Diğer inputlar (veri girdileri) standart olarak kabul edilecektir.

$$\eta_b = (0.95-0.99)$$

$$T_3 (^{\circ}\text{K}) = (1100, 1200, 1300, 1400, 1500)$$

$$P_1, P_4 = (1 \text{ bar})$$

$$\eta_{\text{loc}}, \eta_{\text{tot}} = (0.83-0.86), (0.85-0.87)$$

$$c_{P_a}, c_{P_g}, c_{P_{eg}}, c_{P_{su}} = (1.005), (1.148), (1.1), (4.1865)$$

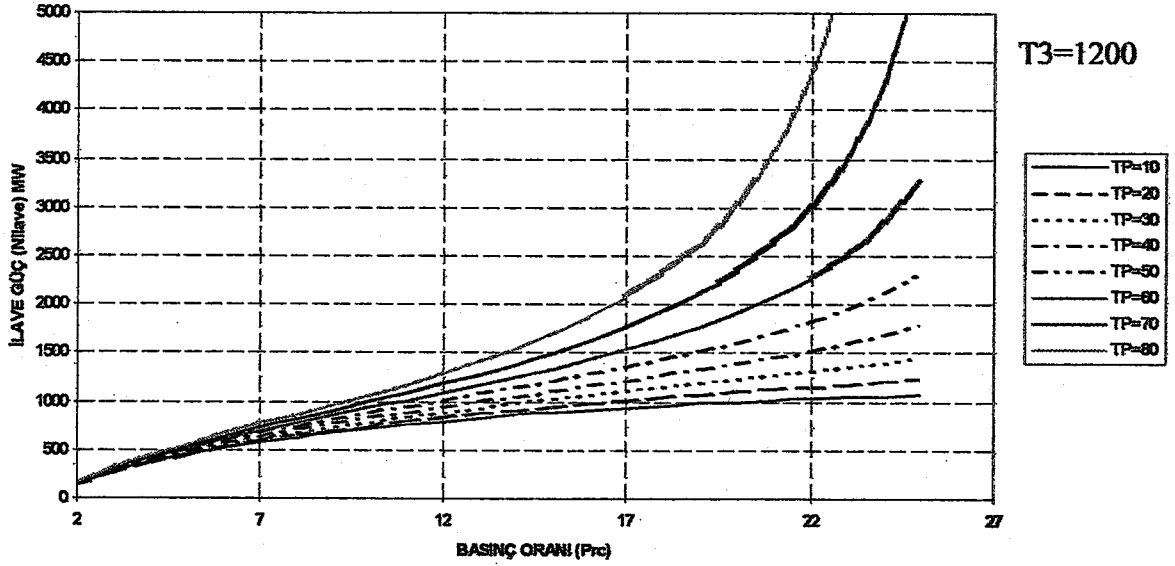
$$\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3 = \%2 P_2, \%3 P_2, 0.04 \text{ bar}$$

$$\eta_{\text{AIK}} = (0.80-0.90)$$

$$\Delta T_p = (10-80 \text{ C})$$

Yukarıdaki veriler esas alınarak basınç oranı P_{tc} 'ye bağlı toplam güç, ilave güç, toplam termik verim, yakıt tüketimi, yakıt kütleli debisi eğrileri microsoft excel ortamında çizilmiştir.

İLAVE GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



Şekil 2.9 İlave Güç – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek1.1)

Şekil 2.9’da görüldüğü üzere basınç oranı arttıkça ilave edilecek gaz türbin gücü artmaktadır. Burada dikkat edilecek husus ise belli bir basınç oranı (P_{rc}) den itibaren artış miktarı gözle görülür ölçüde artmaktadır. Daha büyük Pinch noktası sıcaklık farkları (ΔT_p) için eğri yukarı doğru ötelenmektedir. Bunun sebebi gaz türbin egzost ısısından faydalanma oranının azalmasıdır.

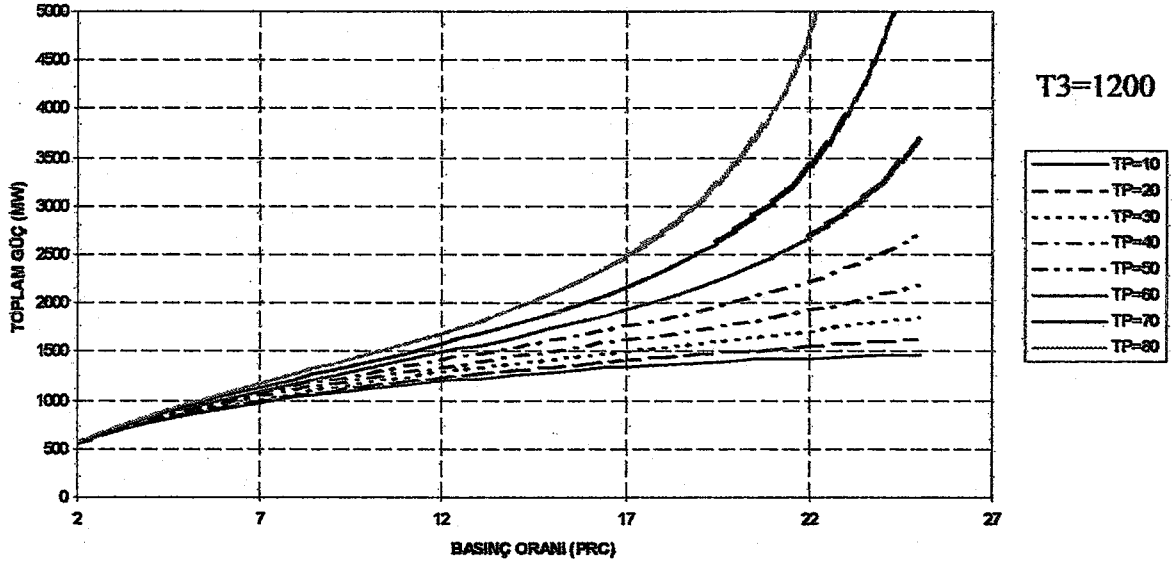
$$N_{İLAVE} = \frac{\dot{m}_b (h_6 - h_{x_s})}{(T_4 - T_C) \times \eta_{AKK}} \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (2.5)$$

Eğer yukarıdaki denklemi irdelersek ve,

$$T_C = T_{x_s} + \Delta T_p \quad (2.3)$$

denklemi yardımıyla tüm verilerin değişmediği yalnız ΔT_p ’nin değiştiği varsayılırsa ΔT_p arttıkça T_C artacaktır. T_4 sıcaklığı aynı basınç oranı için farklı ΔT_p değerlerinde değişmeyeceğinden $T_4 - T_C$ farkı T_C arttıkça azalacaktır. Diğer veriler aynı basınç oranı için aynı değerleri alacağından denklemin paydası azalacak bu da gaz türbin gücü ($N_{İLAVE}$)’yi arttıracaktır.

TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



Şekil 2.10 Toplam Güç – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek1.2)

Şekil 2.10' da görüldüğü üzere basınç oranı arttıkça toplam tesis gücü artmaktadır. Burada dikkat edilecek husus ise belli bir basınç oranı (P_{rc}) den itibaren artış miktarı gözle görülür ölçüde artmaktadır. Daha büyük Pinch noktası sıcaklık farkları (ΔT_p) için eğri yukarı doğru ötelenmektedir. Bunun sebebi gaz türbin egzost ısısından faydalanma oranının azalmasıdır.

$$N_{ILAVE} = \frac{\dot{m}_b (h_6 - h_{x_s})}{(T_4 - T_C) \times \eta_{AIK}} \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (2.5)$$

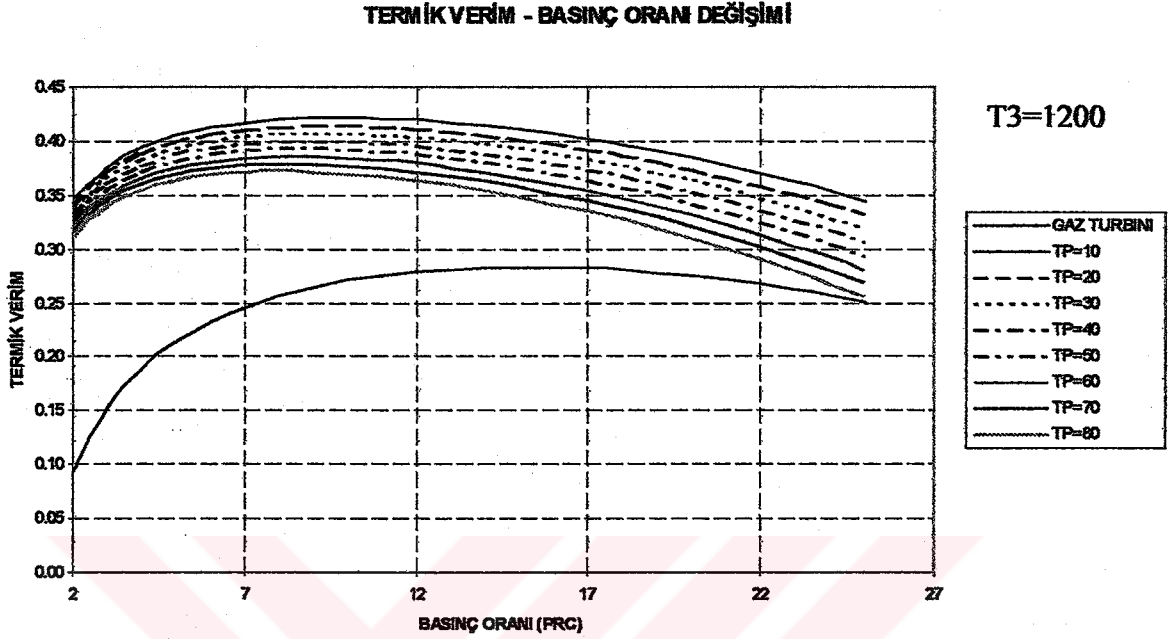
Eğer yukarıdaki denklemi irdelersek ve ,

$$T_C = T_{x_s} + \Delta T_p \quad (2.3)$$

denklemleri yardımıyla tüm verileri değişmediği yalnız ΔT_p 'nin değiştiği varsayılırsa ΔT_p arttıkça T_C artacaktır. T_4 sıcaklığı aynı basınç oranı için farklı ΔT_p değerlerinde değişmeyeceğinden $T_4 - T_C$ farkı T_C arttıkça azalacaktır. Diğer veriler aynı basınç oranı için aynı değerleri alacağından denklemin paydası azalacak bu da N_{ILAVE} 'yi arttıracaktır.

$$N_T = N_{BT} + N_{ILAVE(GT)} \quad (2.23)$$

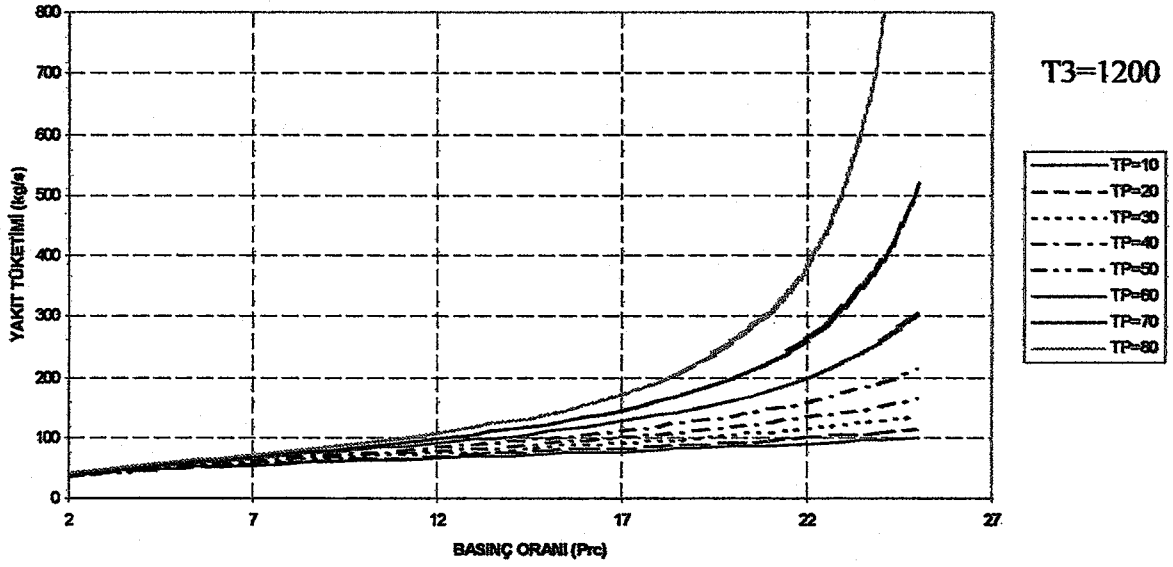
denkleminde de görüleceği üzere buhar türbin gücü (N_{BT}) tesise özgü ve sabit olduğundan N_{LAVE} arttıkça N_T artacaktır.



Şekil 2.11 Termik Verim – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek1.3)

Şekil 2.11’de görüldüğü üzere basınç oranı arttıkça toplam termik verim artma eğiliminde olup belli bir basınç oranı değerinden sonra azalma eğilimindedir. Dikkat edilecek olursa gaz türbini termik verimi ile toplam termik verimin farklı basınç oranlarında optimum değerler aldığı görülebilir. Bu örnek için gaz türbini için verimi maximum yapan optimum basınç oranı 15 olurken tüm tesis için verimi maximum yapan optimum basınç oranı 10 olmaktadır. Pinch noktası sıcaklık farkı arttırıldığında toplam termik verim aşağıya doğru ötelenmektedir. Bunun sebebi ise atık ısıdan yararlanma oranının azalmasıdır. Türbine giriş sıcaklığının sabit değeri için, yüksek basınç oranlarında verimde meydana gelen düşüş, yanma odasına hava giriş sıcaklığının artmasından dolayı yakılan yakıtın azalmasından ileri gelir.

YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



Şekil 2.12 Yakıt Tüketimi – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek 1.4)

$$T_4 = T_3 \left[1 - \eta_{tis} \times \left(1 - \frac{1}{(P_{rt})^{(k_g - 1)/k_g}} \right) \right] \quad (2.19)$$

$$\dot{m}_g = \frac{\dot{m}_b (h_c - h_{x_s})}{c_{p_g} \times (T_4 - T_c) \times \eta_{AIK}} \quad (2.20)$$

Şekil 2.10 da görüldüğü üzere basınç oranı Prc arttıkça Prt artacaktır. Prt'nin artışı gaz türbin çıkış sıcaklığı T_4 'ü azaltacaktır. Kütleli debi formülüne dikkat edilecek olursa belirli bir pinch noktası sıcaklık farkı ΔT_p için gaz türbin çıkış sıcaklığı T_4 azaldıkça payda azalacak ve dolayısıyla kütleli debi \dot{m}_g artacaktır. Kütleli debi \dot{m}_g 'nin artışı ise yakıt tüketimi \dot{m}_y 'yi arttıracaktır.

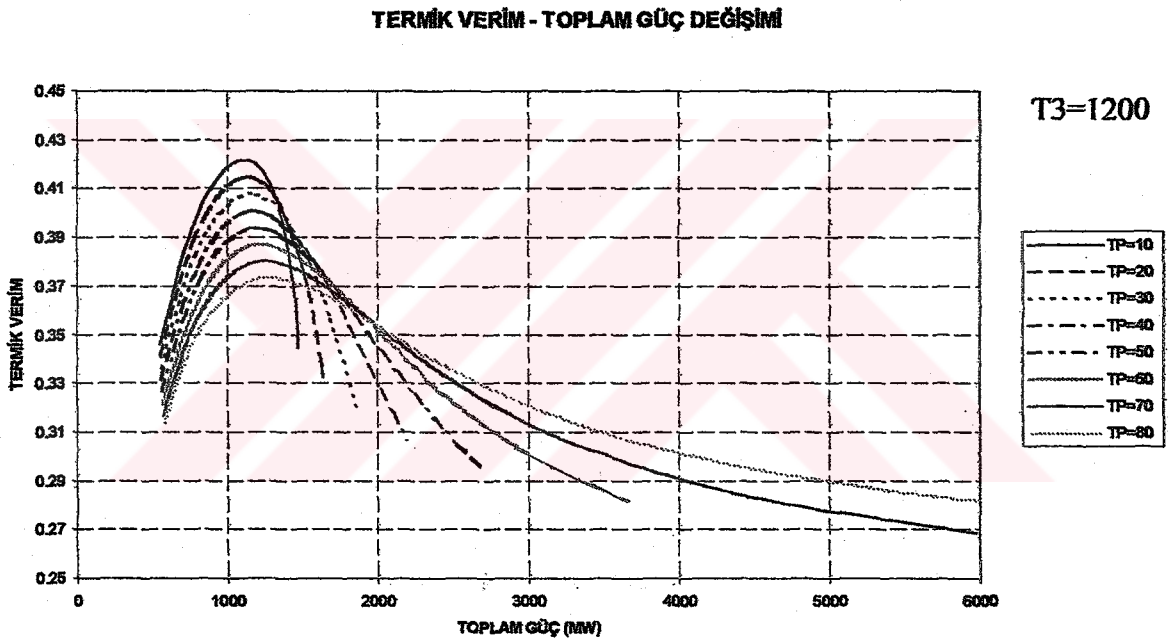
$$\dot{m}_y = \frac{\dot{m}_g \times c_{p_g} (T_3 - T_2)}{H_U \times \eta_b} \quad (2.27)$$

Aynı basınç oranı Prc değeri için Pinch noktası sıcaklık farkı ΔT_p arttırıldığında eğrinin yukarı doğru ötelendiği görülür.

Bunun sebebi,

$$T_C = T_{x_s} + \Delta T_p \quad (2.3)$$

denklemleri yardımıyla tüm verileri değişmediği yalnız ΔT_p 'nin değiştiği varsayılırsa ΔT_p arttıkça T_C artacaktır. T_4 sıcaklığı aynı basınç oranı için farklı ΔT_p değerlerinde değişmeyeceğinden $T_4 - T_C$ farkı T_C arttıkça azalır. $T_4 - T_C$ azaldıkça kütleli debi m_g artacak ve bu da m_y 'yi arttıracaktır.



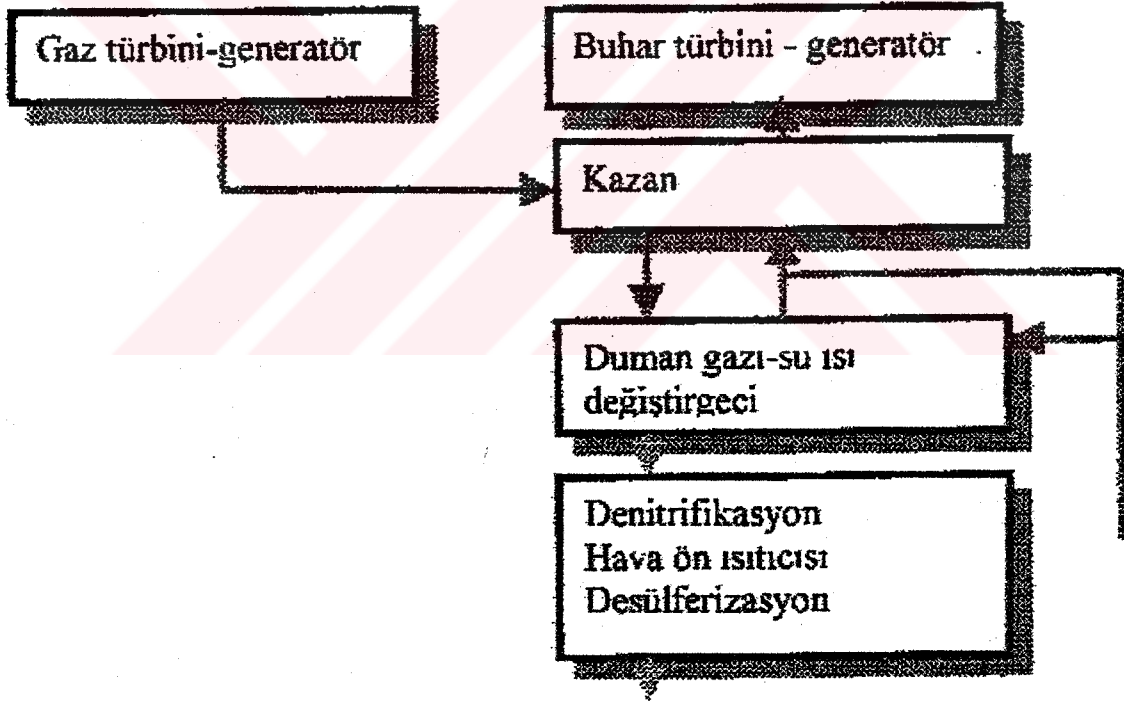
Şekil 2.13 Termik Verim-Toplam Güç Değişimi (Detay Ek 1.5)

Toplam güç termik verim değişim eğrisi bize tesisin hangi eğri aralığında çalıştırılması gerektiği konusunda bilgi vermektedir. Farklı Pinch noktası sıcaklık farkları ΔT_p 'ler için eğrinin ötelendiği ve ΔT_p arttıkça termik verim düşerken kullanılabilir güç aralığının arttığı görülebilir. Eğer Pinch noktası sıcaklık farkı ΔT_p değeri sonsuza giderse eğri düz bir çizgi halini alacaktır. Yani termik verimin güç ile değişimi 0'a yaklaşacaktır.

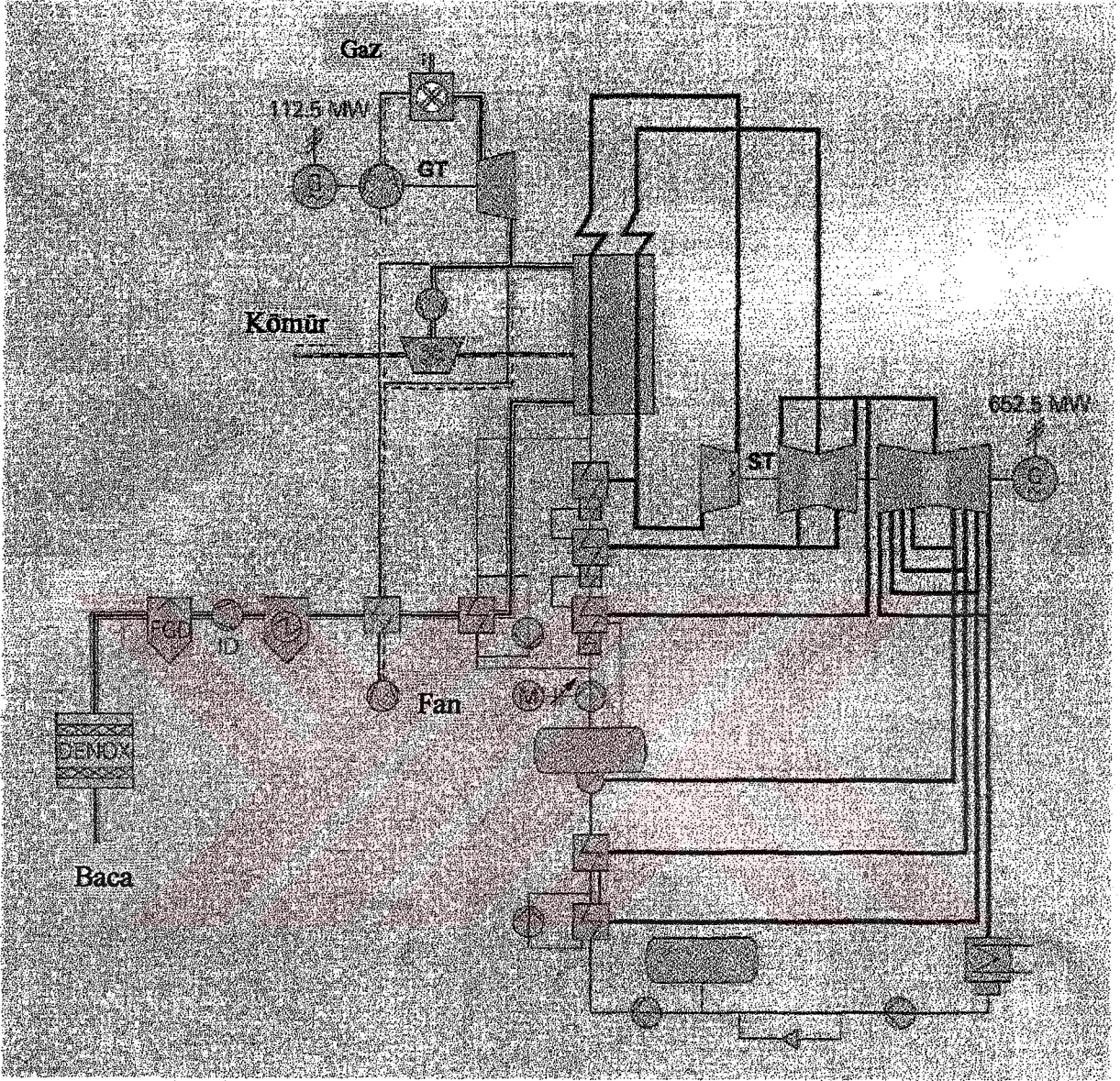
3. TOPPING YENİLEME SİSTEMİ

3.1 Topping Yenileme Sistemi Genel Bilgi

Bu yöntemde sisteme ilave edilen gaz türbininden çıkan eksoz gazları büyük miktarda O_2 içerdiğinden kazanda yakıtın yakılması için gerekli sıcak yakma havası gibi kullanılır. Böylece hava ön ısıtıcısı ihtiyacı ortadan kaldırılır. Topping sistem tam buhar çevrimini tam yanmalı kombine çevrime dönüştürür. Bu yöntem, tam yanmalı olarak adlandırılır. Çünkü eksoz gazlarındaki O_2 ana yakıtın yakılması için tüketilir. Sistemin akış diyagramı Şekil 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.2' de ise sistemin şematik şekli verilmiştir.



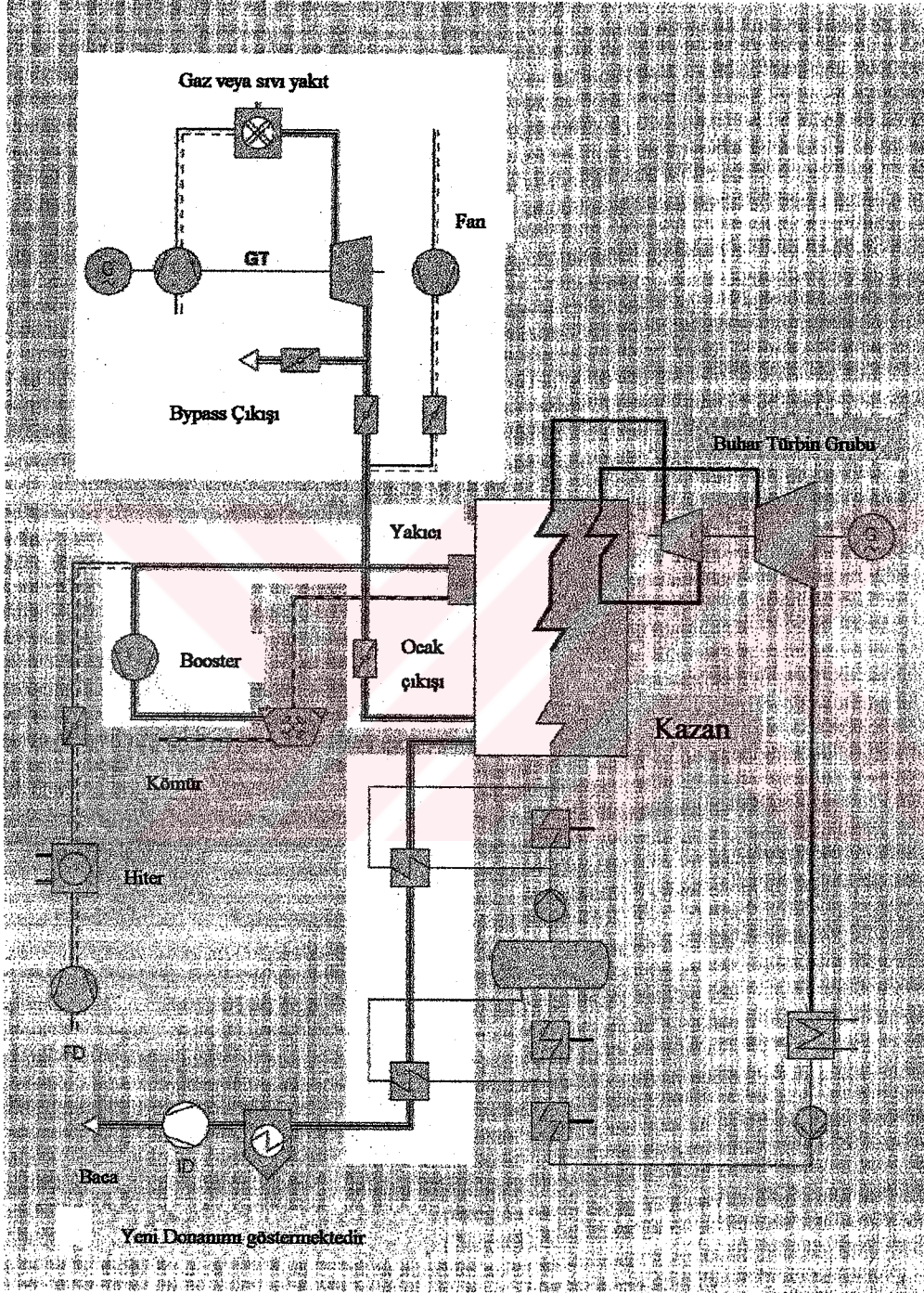
Şekil 3.1 Topping Yenileme Yöntemi akış şeması



Şekil 3.2 Topping Yenileme Yöntemi kullanılarak Yenilenmiş Tesisin şeması

Gaz türbini dizaynında devam eden düzenlemeler türbin verimini, giriş sıcaklığını ve doğal gazın yanması için gerekli olan O_2 miktarını artırdı. Buda gaz türbini eksozundaki O_2 miktarının azalmasına neden oldu. (Bauer G. and Joyce J. 1996) Günümüzde gaz türbinlerinde giriş sıcaklığı $1150^\circ C$ olduğu durumlarda, gaz hacminin yaklaşık % 13' ü O_2 olarak ölçülmüştür. Halbuki kömürün yakılması için yaklaşık olarak % 15 O_2 ' ne ihtiyaç duyulur. Bunun sonucunda O_2 ihtiyacını karşılamak için büyük miktarda taze havaya ihtiyaç duyulur.

Klasik buhar türbinli termik santrallerin besleme fanları yerine gaz türbini konularak ve hava ısıtıcıları kaldırılarak topping yenileme sistemi gerçekleştirilir. Şekil 3.3' de mevcut bir santrale eklenen yeni elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Mevcut kömür yakmalı ara kızdırmalı Buhar Türbin Santralininin Topping Yenileme Yöntemi kullanılarak yenilenmesi için gerekli yeni donanım

Mevcut bir santral topping yenileme sistemiyle donatıldığında kazanda yakıtın yakılması için ilk durumdaki hava miktarından yaklaşık olarak % 40 daha fazla eksoz gazının alınması gerekir. Bunun nedeni hava içerisinde ağırlıkça %23 O₂ bulunmasına karşın, eksoz gazları içerisinde ağırlıkça % 13-15 arasında O₂ olmasıdır. (Bauer G. and Joyce J. 1996) Kazana alınan eksoz gazlarının miktarındaki bu artış fuel-oil yada doğal gaz yakıldığı zaman bir soruna neden olamaz. Fakat kömür yada kül bırakan diğer yakıtların kullanıldığı durumlarda gaz hızları, kazan içerisindeki boruların erozyonunu önlemek için sınırlandırılmalıdır

Hollanda da bulunan Eemscentrale santrali gaz yakıt kullanarak, ara kızdırmalı buhar türbini ile 590 MW güç ürettiyordu. 1987 yılında santrale ilave edilen gaz türbini ile gücü 700 MW'e çıkarıldı. Aynı zamanda santral veriminde % 14 artırıldı. Bu verim artışının %10'u topping sistem ilavesinden, % 4'ü de mevcut türbin ve sistemin yenilenmesinden kaynaklanıyordu. Santraldeki bu değişiklik 8 ayda gerçekleştirilmiştir.

Topping yenileme sistemi kullanılarak verimde önemli artışlar elde edilebilir. Özellikle santralin kısmi yük performansı önemli miktarda iyileşme gösterir. Fakat şekil 3.3' den de görülebileceği gibi bu sistem kazan bölgesinde önemli değişiklikler gerektirir. Sıcak eksoz gazlarını kullanan yeni yakıcılar, yoğunlaşma suyunu ve besleme suyunu ön ısıtmak için eksoz gazı hattına yerleştirilen hiterler, eksoz gazını yakıcılara ve sıcak bölgelere göndermek için yüksek basınç ve sıcaklığa dayanıklı boru sistemleri ilave edilmek zorundadır.

3.2 Topping Yenileme Yöntemi Analiz

$$N_{İLAVE} = N_{GT} - N_{KOMP} \quad (3.1)$$

$$N_{İLAVE} = \dot{m}_g \times [c_{p_g} \times (T_3 - T_4) - c_{p_a} \times (T_2 - T_1)] \quad (3.2)$$

$$T_c = T_{x_s} + \Delta T_p \quad (3.3)$$

$$\dot{m}_g = \frac{\dot{m}_b (h_6 - h_{x_s})}{c_{p_{eg}} \times (T_8 - T_c) \times \eta_{AIK}} \quad (3.4)$$

Sabit basınçtaki özgül ısılar tüm sıcaklıklarda, (c_p) aynı kabul edilirse,

$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{\dot{m}_b (h_6 - h_{x_s})}{(T_8 - T_C) \times \eta_K} \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (3.5)$$

$$A = \frac{\dot{m}_b (h_6 - h_{x_s})}{\eta_K} \quad (3.6)$$

$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{A}{(T_8 - T_C)} \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (3.7)$$

$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{A}{(T_8 - T_C)} \times \left[\left(\eta_{\text{tis}} \times T_3 \times \left(1 - \left(\frac{1}{P_{\text{rt}}} \right)^{(k_g-1)/k_g} \right) \right) - \left(\frac{T_1}{\eta_{\text{cis}}} \times \left((P_{\text{rc}})^{(k_a-1)/k_a} - 1 \right) \right) \right] \quad (3.8)$$

$$N_{\text{ILAVE}} \approx (A, T_8, T_C, T_3, T_1, \eta_{\text{cis}}, \eta_{\text{tis}}, P_{\text{rc}}, P_{\text{rt}}) \quad (3.9)$$

$$\eta_{\text{the(BT)}} = \frac{h_6 - h_7}{h_6 - h_9} \quad (3.10)$$

$$m_b = \frac{N_{\text{BT}}}{h_6 - h_7} \quad (3.11)$$

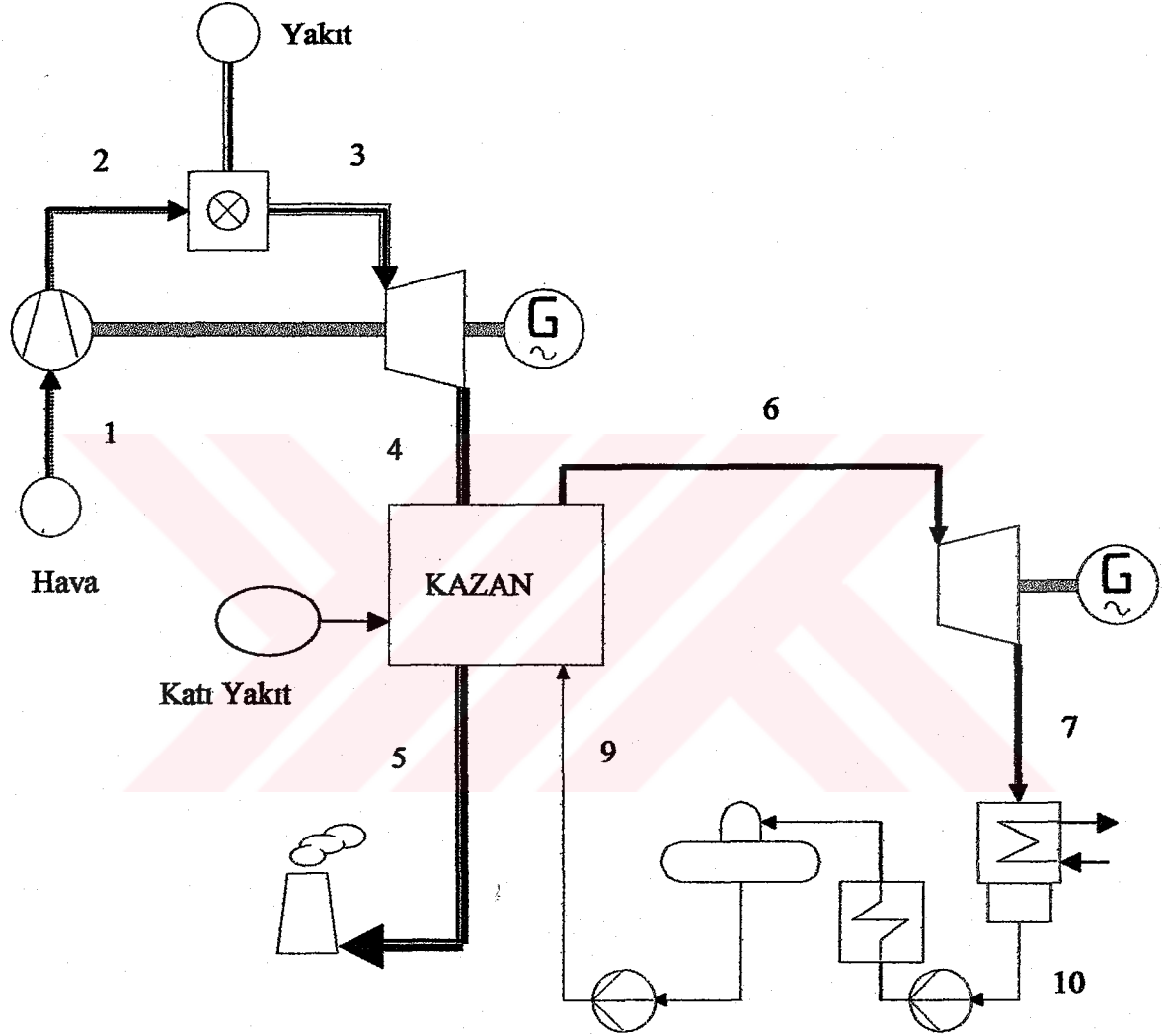
$$\dot{m}_g = \frac{\dot{m}_b (h_6 - h_9)}{c_{p_{\text{eg}}} \times (T_8 - T_5) \times \eta_K} \quad (3.12)$$

$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{N_{\text{BT}}}{\eta_{\text{the(BT)}} \times (T_8 - T_5) \times \eta_K} \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (3.13)$$

$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{N_{\text{BT}}}{\eta_{\text{the(BT)}} \times (T_8 - T_5) \times \eta_K} \times \left[\left(\eta_{\text{tis}} \times T_3 \times \left(1 - \left(\frac{1}{P_{\text{rt}}} \right)^{(k_g-1)/k_g} \right) \right) - \left(\frac{T_1}{\eta_{\text{cis}}} \times \left((P_{\text{rc}})^{(k_a-1)/k_a} - 1 \right) \right) \right] \quad (3.14)$$

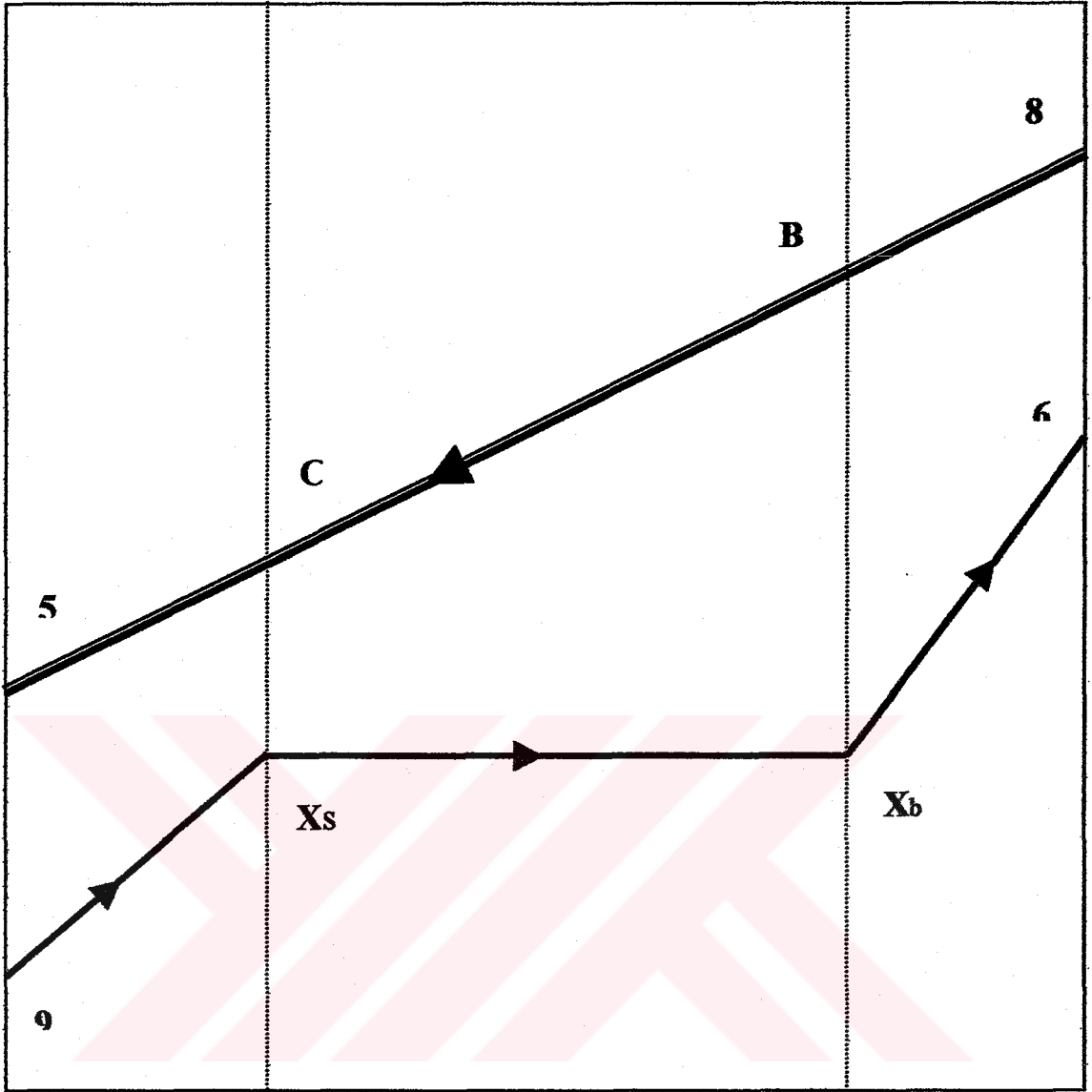
$$N_{\text{ILAVE}} \approx (N_{\text{BT}}, \eta_{\text{the(BT)}}, \eta_{\text{AIK}}, T_8, T_3, T_5, T_1, \eta_{\text{cis}}, \eta_{\text{tis}}, P_{\text{rc}}, P_{\text{rt}}) \quad (3.15)$$

3.3 Sistemin Termodinamik Analizi



Şekil 3.4 Topping Yenileme Sistemi Tesis Şeması

T



Q, A

Şekil 3.5 Topping Yenileme Sistemi Isı Transfer Diyagramı

Buhar Türbini grubu ile ilgili veriler bilinmektedir. Sistemde sadece kazanda düzenlemeler yapılacak ve gaz türbin grubu ilave edilecektir.

3.3.1 Bilinen Veriler;

Buhar Türbin Gücü N_{BT} (kW)

Kızdırıcı çıkış sıcaklığı ve basıncı P_6, T_6 : (1967 IAPS özellikleri referans alınarak fortran programlama kodu visual basic'e dönüştürülmüş ve h_6 hesaplanmasında kullanılmıştır.

Türbin Egzost Basıncı (Kondenser basıncı) P_7 : Referans Programlama kodu ve yaş buhar bölgesi termodinamik denklemleri kullanılmıştır.

Doyma Sıcaklıkları $T_{x_s}, h_{x_s}, T_{F_s}, h_{F_s}$: Referans Programlama kodu kullanılmıştır.

Kazan Giriş Suyu Sıcaklığı T_9 : Bu kazan giriş suyu sıcaklığı olup sistem için önceden verilecektir. Kazan besleme suyu hiterlerde ön ısıtmadan geçmektedir.

3.3.2 Kabul Edilecek Veriler ;

Yanma Verimi η_b (0.95-0.99), η_{b2}

Yanma Odası Sıcaklığı T_3 ($^{\circ}\text{K}$) (1100, 1200, 1300, 1400, 1500)

Gaz Türbin giriş ve çıkış basınçları P_1, P_4 (1 bar)

Politropik Verimler η_{loc}, η_{tot}

Özgül Isılar $c_{p_s}, c_{p_g}, c_{p_{eg}}, c_{p_{en}}$: Kabul edilecek (Sıcaklık ve yakıtı bağlı olarak)

Basınç kayıpları $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$: Kompresör çıkış basınç kaybı, Yanma Odası basınç kaybı, Türbin çıkışı basınç kaybı

Kazan Verimi η_K

Pinch Noktası Sıcaklık Farkı ΔT_p : Sıcak ve Soğuk akımlar arasındaki minimum sıcaklık farkı

Ek Yanma Sonrası gazların sıcaklığı T_8 : Örnek Sistem için 1000°K olarak seçilmiştir.

Kullanılan Yakıtların Alt Isıl Değerleri H_U, H_{U2} : Yakıtın cinsine bağlıdır.

3.3.3 Hesaplamalarda Kullanılan Denklemler ;

$$\text{Buhar debisi } \dot{m}_b : N_{BT} = \dot{m}_b \times (h_6 - h_7) , \quad \dot{m}_b = \frac{N_{BT}}{h_6 - h_7} \quad (3.16)$$

$$\text{Pinch noktasındaki sıcak akışkan sıcaklığı } T_C : T_C = T_{S_x} + \Delta T_P \quad (3.17)$$

$$\text{Türbin Basınç oranı } P_r : P_r = \frac{P_2 \times (1 - \Delta P_1(\%) - \Delta P_2(\%))}{P_1 + \Delta P_3} \quad (3.18)$$

$$\text{Türbin Çıkış Sıcaklığı } T_4 : T_4 = T_3 \left[1 - \eta_{tis} \times \left(1 - \frac{1}{(P_r)^{(k_g-1)/k_g}} \right) \right] \quad (3.19)$$

$$\text{Gaz debisi } \dot{m}_g : \dot{m}_g = \frac{\dot{m}_b (h_6 - h_{x_s})}{c_{p_g} \times (T_8 - T_C) \times \eta_K} \quad (3.20)$$

$$\text{Kompresör Çıkış Sıcaklığı } T_2 : T_2 = T_1 \left(1 + \frac{1}{\eta_{cis}} \times \left(P_{rc}^{(k_a-1)/k_a} - 1 \right) \right) \quad (3.21)$$

$$\text{İlave Edilen Güç } N_{İLAVE} : N_{İLAVE} = \dot{m}_g \times [c_{p_g} \times (T_3 - T_4) - c_{p_a} \times (T_2 - T_1)] \quad (3.22)$$

$$\text{Sistemin Toplam Gücü } N_T : N_T = N_{BT} + N_{İLAVE(GT)} \quad (3.23)$$

$$\text{Ek Yanma Yakıt Tüketimi } m_{y2} : m_{y2} = \frac{\dot{m}_b \times (h_6 - h_{x_s}) \times (T_8 - T_4) \times \eta_{b2}}{H_{U2} \times (T_8 - T_C) \times \eta_K} \quad (3.24)$$

$$\text{Yanma Odasında verilen Isıl Güç } Q_{Y1} : Q_{Y1} = \frac{\dot{m}_g \times c_{p_g} (T_3 - T_2)}{\eta_b} \quad (3.25)$$

$$\text{Verilen Toplam Isıl Güç } Q_Y : Q_Y = \frac{\dot{m}_g \times c_{p_g} (T_3 - T_2)}{\eta_b} + m_{y2} \times H_{U2} \times \eta_{b2} \quad (3.26)$$

$$\text{Toplam Verim } \eta_{the(T)} : \eta_{the(T)} = \frac{N_T}{Q_Y} \quad (3.27)$$

$$\text{Gaz Türbin Grubu Verimi } \eta_{\text{the(GT)}} : \eta_{\text{the(GT)}} = \frac{N_{\text{ILAVE}}}{Q_{Y1}} \quad (3.28)$$

$$\text{Yakıt Tüketimi } m_y : m_y = \frac{m_g \times c_{p_g} \times (T_3 - T_2)}{H_U \times \eta_b} \quad (3.29)$$

$$\text{Ek Yanma Yakıt Tüketimi } m_{Y2} : m_{Y2} = \frac{m_g \times c_{p_g} \times (T_8 - T_4)}{H_{U2} \times \eta_{b2}} \quad (3.30)$$



3.4 Örnek Tesis Hesaplamalar;

Yukarıdaki formüller yardımıyla kazandaki ısı değişiminden yararlanılarak visual basic 6.0 yardımıyla aşağıda Topping Yenileme Yöntemi Hesaplama Menüsü görülen Yenileme Yöntemleri adlı bilgisayar programı tarafımdan yazılmıştır. Üst bölümde tesise ait veriler ve standart kabul edilen veriler girilmiştir. Alt bölümde ise yukarıda esas alınan termodinamik denklemler yardımıyla hesaplanmış tesis verileri görülmektedir. Program ile ilgili detaylı bilgi Yenileme Yöntemleri örnek kodlama adı altında 5. bölümde detaylı olarak verilecektir.

TOPPING YENİLEME YÖNTEMİ İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR									
TOPPING YENİLEME YÖNTEMİ İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR									
Buhar Debişi Verileri		Kütlesel Debi Verileri		İlave Güç Hesabı Verileri					
N_{PT}	400 MW	c_{p1}	1.148 kJ/kg ⁰ K	η_{12}	0.87				
P_1	40 bar	T_1	300 °K	T_2	523 °K				
T_1	873.17 °K	$T_2/(T_1-1)$	35	c_{p2}	1.1 kJ/kg ⁰ K				
P_2	0.05 bar	c_{p3}	1.004 kJ/kg ⁰ K	η_{23}	0.88				
ΔT_1	10	P_3	1 bar	T_3	1200 °K				
η_{12}	0.97	ΔP_1	2 % P_1	ΔP_2	3 % P_2				
Termik Verim Hesabı Verisi		T_3	1000 °K	ΔP_3	0.04 bar				
η_t	0.89	H_{21}	20000 kJ/kg	Yakıt Tüketimi Hesabı Verisi					
		H_{22}	43000 kJ/kg	H_{21}		43000 kJ/kg			
				H_{22}		43000 kJ/kg			
Kütlesel Debi Hesabı		Buhar Debişi Hesabı		İlave Güç Hesabı		Termik Verim Hesabı		Tabloya Yazdır	
h_1	1046.7 kJ/kg	h_2	3672.802 kJ/kg	m_1	315.8929391 kg/s	T_2	678.47238 °K	η_{12}	0.430703200
T_1	721.455 °K	T_2	306.0472 °K	Formül		N_{ILAVE}	310.91985 MW	η_{23}	0.277256098
T_3	533.166 °K	h_3	138.3622 kJ/kg	Net Güç Hesabı		P_3	10.961538	Formül	
m_1	1835.58 kg/s	T_3	523.4830 °K	N_1	710.9198852 MW	m_{21}	27.27758 kg/s	Yakıt Tüketimi Hesabı	
Formül		h_3	1048.722 kJ/kg	Formül		m_{22}	26.07948045 kg/s	Formül	
								Kaydet	

Şekil 3.6 Yenileme Yöntemleri Programı Tam Yenileme Yöntemi Ana Menü

Örnek Tesisimiz bir yakmalı buhar kazanı ve buhar türbininden oluşan bir termik tesis olsun. Bu tesise uygun yenileme yönteminin Topping Yenileme Yöntemi olduğunu varsayalım ve standart değerlere ve tesis verilerine göre yenileme yapıldığında gerekli olan ek tesis verilerini

elde edelim. Yukarıdaki menüde belli bir ΔT_p , P_{re} değeri için ilave edilecek gaz türbini gücü , yakıt tüketimi, ek yanma yakıt tüketimi , kütleli gaz debisi, gaz türbin çıkış sıcaklığı gibi veriler elde edilmektedir. Eğer P_{re} değişken kabul edilir ve ΔT_p 'nin 10-80 arasında değiştiği varsayılırsa yine Yenileme Yöntemleri Programı yardımıyla gaz türbin gücü, yakıt tüketimi, toplam termik verim ve toplam gücün değişimi elde edilir.

EXCEL VERİ SONUÇLARI TABLOSU					
HESAPLAMA SONUÇLARI TABLOSU					
Basınç oranı	Buhar Türbini Gücü	Gaz Türbini Gücü	Toplam Güç	Termik Verim	
2	400.000	162.617	562.617	3380	
3	400.000	247.403	647.403	3776	
4	400.000	289.861	689.861	3983	
5	400.000	312.505	712.505	4107	
6	400.000	324.217	724.217	4186	
7	400.000	329.274	729.274	4238	
8	400.000	330.009	730.009	4271	
9	400.000	327.804	727.804	4292	
10	400.000	323.533	723.533	4304	
11	400.000	317.772	717.772	4308	
12	400.000	310.920	710.920	4307	
13	400.000	303.256	703.256	4302	
14	400.000	294.984	694.984	4293	
15	400.000	286.255	686.255	4281	
16	400.000	277.183	677.183	4266	
17	400.000	267.854	667.854	4250	
18	400.000	258.334	658.334	4231	
19	400.000	248.677	648.677	4211	
20	400.000	238.923	638.923	4189	
21	400.000	229.106	629.106	4166	
22	400.000	219.251	619.251	4142	
23	400.000	209.380	609.380	4117	
24	400.000	199.509	599.509	4091	
25	400.000	189.652	589.652	4064	
26	400.000	179.820	579.820	4036	
27	400.000	170.022	570.022	4008	
28	400.000	160.265	560.265	3978	
29	400.000	150.556	550.556	3948	
30	400.000	140.899	540.899	3917	

Şekil 3.7 Yenileme Yöntemleri Programı Tam Yenileme Yöntemi Veri Sonuçları Menüsü

3.4.1.1 Örnek Tesis Verileri :

$$N_{BT} = 4000 \text{ MW}$$

$$P_6, T_6 = 40 \text{ bar}, 600 \text{ C}$$

$$P_7 = 0.05 \text{ bar}$$

$$T_9 = 523 \text{ K}$$

Yukarıdaki veriler yenilenmesi düşünülen tesise özgü verilerdir. Diğer inputlar (veri girdileri) standart olarak kabul edilecektir.

$$\eta_{b1}, \eta_{b2} = (0.95-0.99)$$

$$T_3 (^{\circ}\text{K}) = (1100, 1200, 1300, 1400, 1500)$$

$$P_1, P_4 = (1 \text{ bar})$$

$$\eta_{\text{occ}}, \eta_{\text{out}} = (0.83-0.86), (0.85-0.87)$$

$$c_{P_a}, c_{P_g}, c_{P_{\text{eg}}}, c_{P_{\text{su}}} = (1.005), (1.148), (1.1), (4.1865)$$

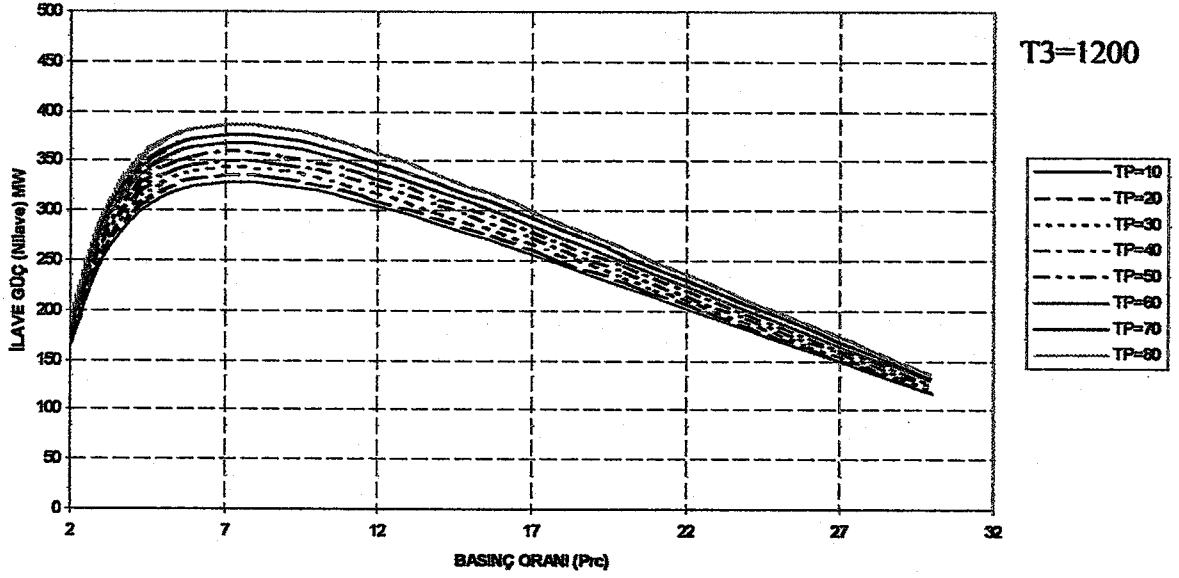
$$\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3 = \%2 P_2, \%3 P_2, 0.04 \text{ bar}$$

$$\eta_K = (0.80-0.90)$$

$$\Delta T_p = (10-80 \text{ C})$$

Yukarıdaki veriler esas alınarak basınç oranı P_{rc} 'ye bağlı toplam güç, ilave güç, toplam termik verim, yakıt tüketimi, yakıt kütleli debisi eğrileri microsoft excel ortamında çizilmiştir.

İLAVE GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



Şekil 3.8 İlave Güç – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek2.1)

Şekil 3.8’de görüldüğü üzere basınç oranı arttıkça toplam tesis gücü artmaktadır. Burada dikkat edilecek husus ise belli bir basınç oranı (P_{rc}) den itibaren eğri azalma eğilimine girmektedir.

Bunun nedeni,

$$m_g = \frac{m_b \times (h_b - h_{x_s})}{c_{p_g} (T_3 - T_c) \times \eta_k} \quad (3.20)$$

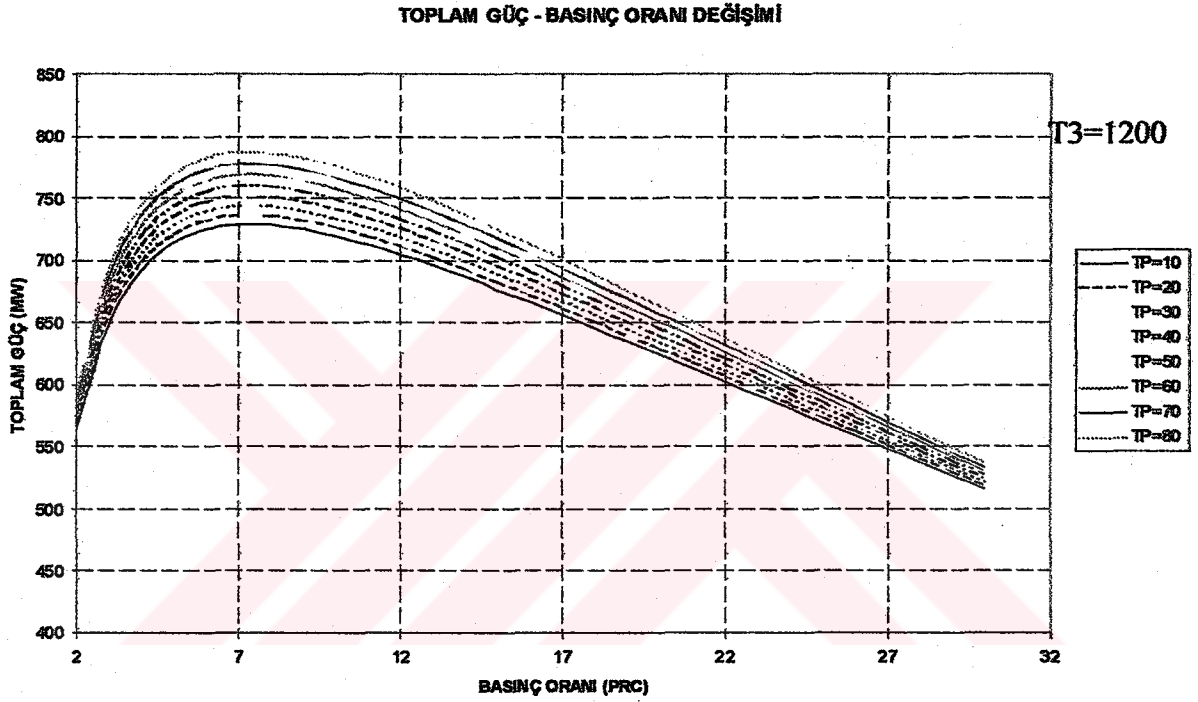
denkleminde de anlaşılacağı üzere T_3 sabit iken basınç oranı (P_{rc}) artarken m_g 'nin sabit kalışıdır.

$$N_{İLAVE} = m_g \times \left[\left(\eta_{tis} \times T_3 \times \left(1 - \left(\frac{1}{P_{rt}} \right)^{(k_g-1)/k_g} \right) \right) - \left(\frac{T_1}{\eta_{cis}} \times \left((P_{rc})^{(k_a-1)/k_a} - 1 \right) \right) \right] \quad (3.31)$$

Basınç oranının artışı ile yukarıdaki denklemin $\eta_{tis} \times T_3 \times \left(1 - \left(\frac{1}{P_{rt}} \right)^{(k_g-1)/k_g} \right)$ kısmı

$\frac{T_1}{\eta_{cis}} \times \left((P_{rc})^{(k_a-1)/k_a} - 1 \right)$ kısmına göre daha fazla artış gösterecek ancak belli bir optimumdan geçtikten sonra ikinci kısım daha çok artacağından ilave güç azalma eğilimine girecektir.

Daha büyük Pinch noktası sıcaklık farkları (ΔT_p) için eğri yukarı doğru ötelenmektedir. Bunun sebebi gaz türbin egzost ısısından faydalanma oranının azalmasıdır.



Şekil 3.9 Toplam Güç – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek2.2)

Şekil 3.9'de görüldüğü üzere basınç oranı arttıkça toplam tesis gücü artmaktadır. Burada dikkat edilecek husus ise belli bir basınç oranı (P_{rc}) den itibaren eğri azalma eğilimine girmektedir.

Bunun nedeni,

$$m_g = \frac{m_b \times (h_6 - h_{x_s})}{c_{p_b} (T_8 - T_c) \times \eta_K} \quad (3.20)$$

denkleminde de anlaşılacağı üzere T_g sabit iken basınç oranı (P_{ro}) artarken m_g 'nin sabit kalışıdır.

$$N_{ILAVE} = m_g \times \left[\left(\eta_{tis} \times T_3 \times \left(1 - \left(\frac{1}{P_{rt}} \right)^{(k_g-1)/k_g} \right) \right) - \left(\frac{T_1}{\eta_{cis}} \times \left((P_{ro})^{(k_a-1)/k_a} - 1 \right) \right) \right] \quad (3.31)$$

Basınç oranının artışı ile yukarıdaki denklemin $\eta_{tis} \times T_3 \times \left(1 - \left(\frac{1}{P_{rt}} \right)^{(k_g-1)/k_g} \right)$ kısmı

$\frac{T_1}{\eta_{cis}} \times \left((P_{ro})^{(k_a-1)/k_a} - 1 \right)$ kısmına göre daha fazla artış gösterecek ancak belli bir optimumdan

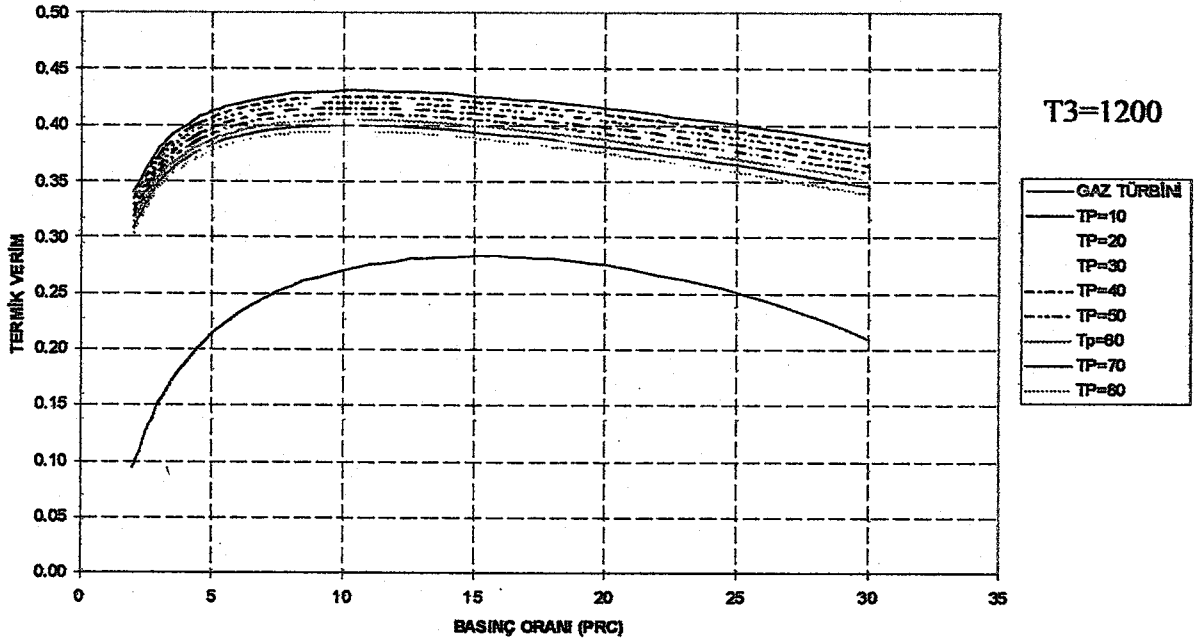
geçtikten sonra ikinci kısım daha çok artacağından İlave güç azalma eğilimine girecektir.

$$N_T = N_{BT} + N_{ILAVE(GT)} \quad (3.23)$$

denkleminde de görüleceği üzere buhar türbin gücü (N_{BT}) tesise özgü ve sabit olduğundan N_{ILAVE} değişimi ile N_T 'nin değişimi aynı olacaktır.

Daha büyük Pinch noktası sıcaklık farkları (ΔT_p) için eğri yukarı doğru ötelenmektedir. Bunun sebebi gaz türbin egzost ısısından faydalanma oranının azalmasıdır.

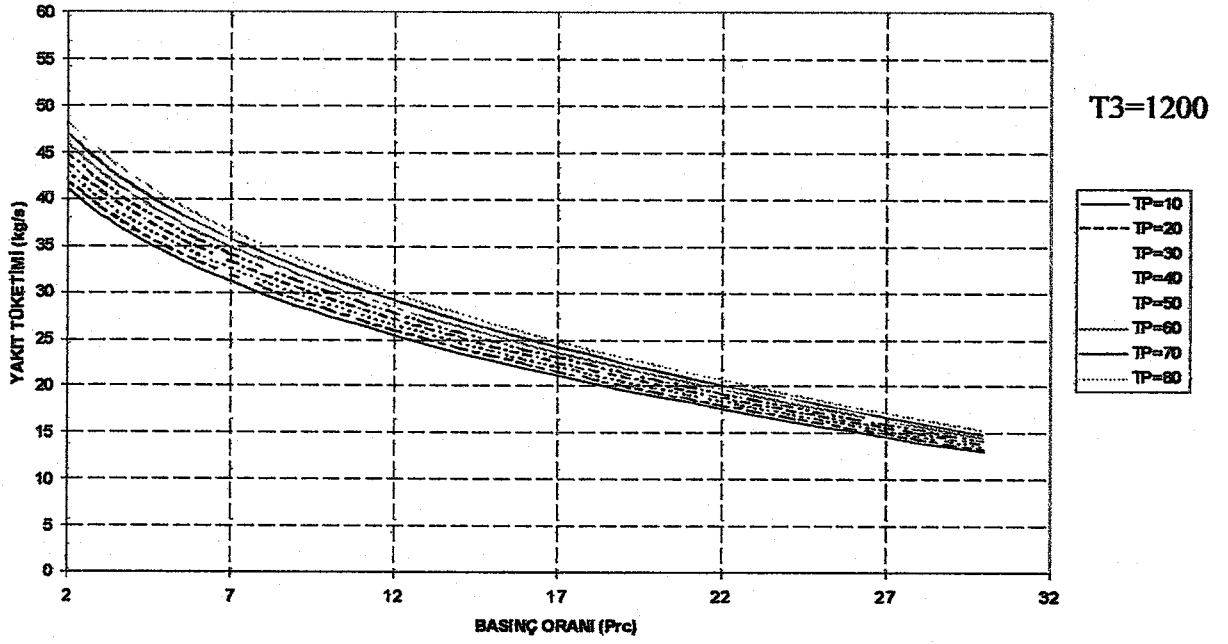
TERMİK VERİM - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



Şekil 3.10 Termik Verim – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek2.3)

Şekil 3.10'da görüldüğü üzere basınç oranı arttıkça toplam termik verim artma eğiliminde olup belli bir basınç oranı değerinden sonra azalma eğilimindedir. Dikkat edilecek olursa gaz türbini termik verimi ile toplam termik verimin farklı basınç oranlarında optimum değerler aldığı görülebilir. Bu örnek için gaz türbini için verimi maximum yapan optimum basınç oranı 15 olurken tüm tesis için verimi maximum yapan optimum basınç oranı 11 olmaktadır. Pinch noktası sıcaklık farkı arttırıldığında toplam termik verim aşağıya doğru ötelenmektedir. Bunun sebebi ise atık ısıdan yararlanma oranının azalmasıdır. Türbine giriş sıcaklığının sabit değeri için, yüksek basınç oranlarında verimde meydana gelen düşüş, yanma odasına hava giriş sıcaklığının artmasından dolayı yakılan yakıtın azalmasından ileri gelir.

YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



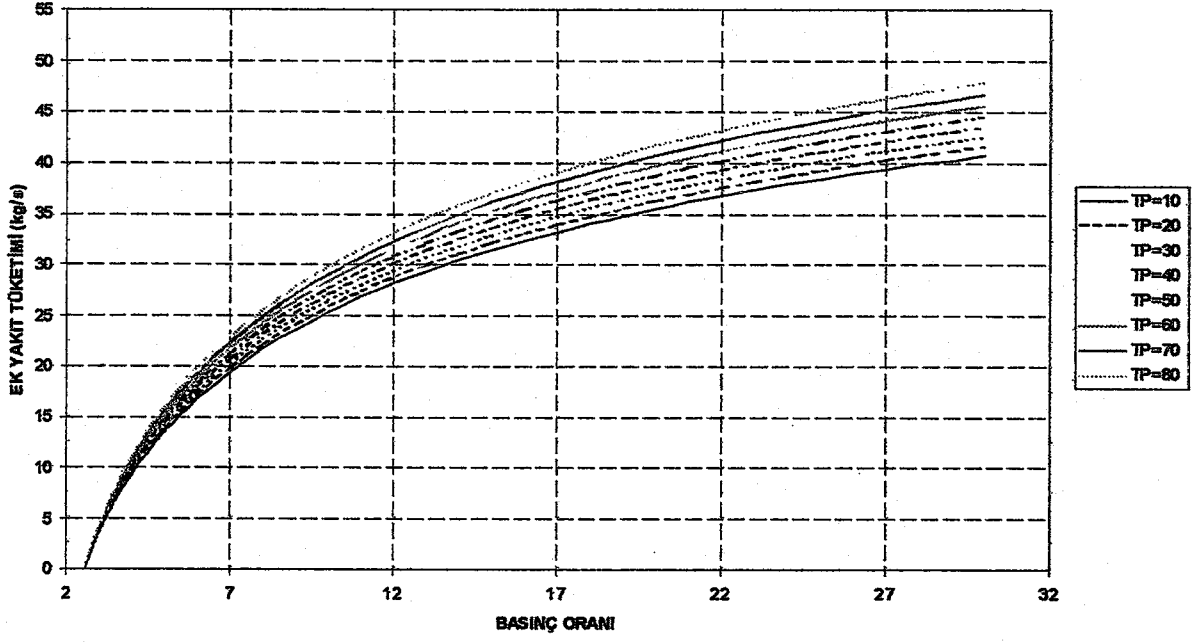
Şekil 3.11 Yakıt Tüketimi – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek 2.4)

Verilen sistem için m_g sabit olduğundan ve

$$m_Y = \frac{m_g \times c_{p_g} \times (T_3 - T_2)}{H_U \times \eta_b}$$

denklemini irdelersek basınç oranı arttıkça $(T_3 - T_2)$ farkı azalacağından yakıt tüketimi azalacaktır.

EK YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

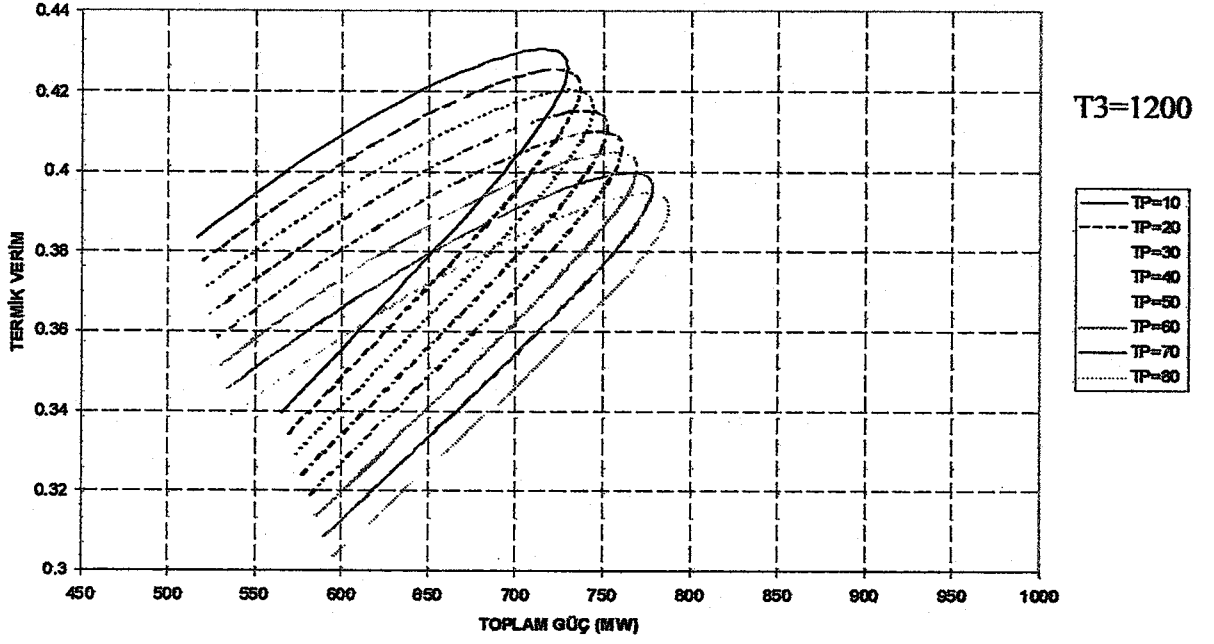


Şekil 3.12 Yakıt Tüketimi – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek 2.5)

$$m_{Y2} = \frac{m_g \times c_{p_g} \times (T_8 - T_4)}{H_{U2} \times \eta_{b2}}$$

denkleminde görüleceği üzere basınç oranı arttıkça $(T_8 - T_4)$ farkı artacak ve m_g sabit kalacağından ek yanma yakıt tüketimi m_{Y2} artacaktır.

TERMİK VERİM - TOPLAM GÜÇ DEĞİŞİMİ



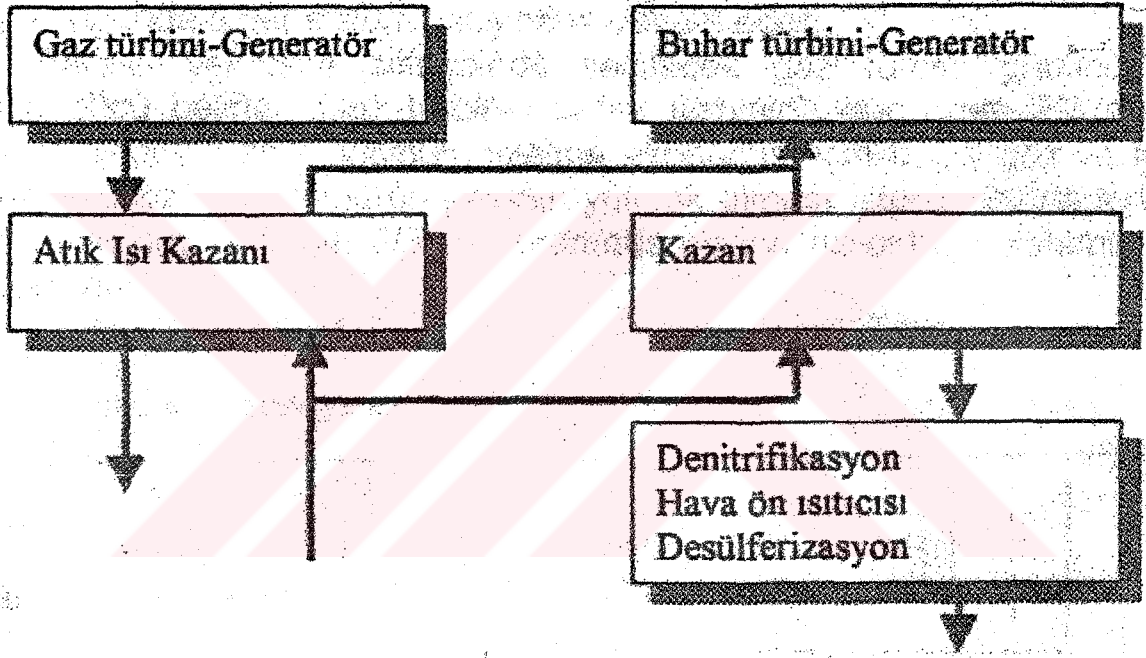
Şekil 3.13 Termik Verim-Toplam Güç Değişimi (Detay Ek 2.6)

Toplam güç termik verim değişim eğrisi bize tesisin hangi eğri aralığında çalıştırılması gerektiği konusunda bilgi vermektedir. Farklı Pinch noktası sıcaklık farkları ΔT_p 'ler için eğrinin ötelendiği ve ΔT_p arttıkça termik verim düşerken kullanılabilir güç aralığının arttığı görülebilir.

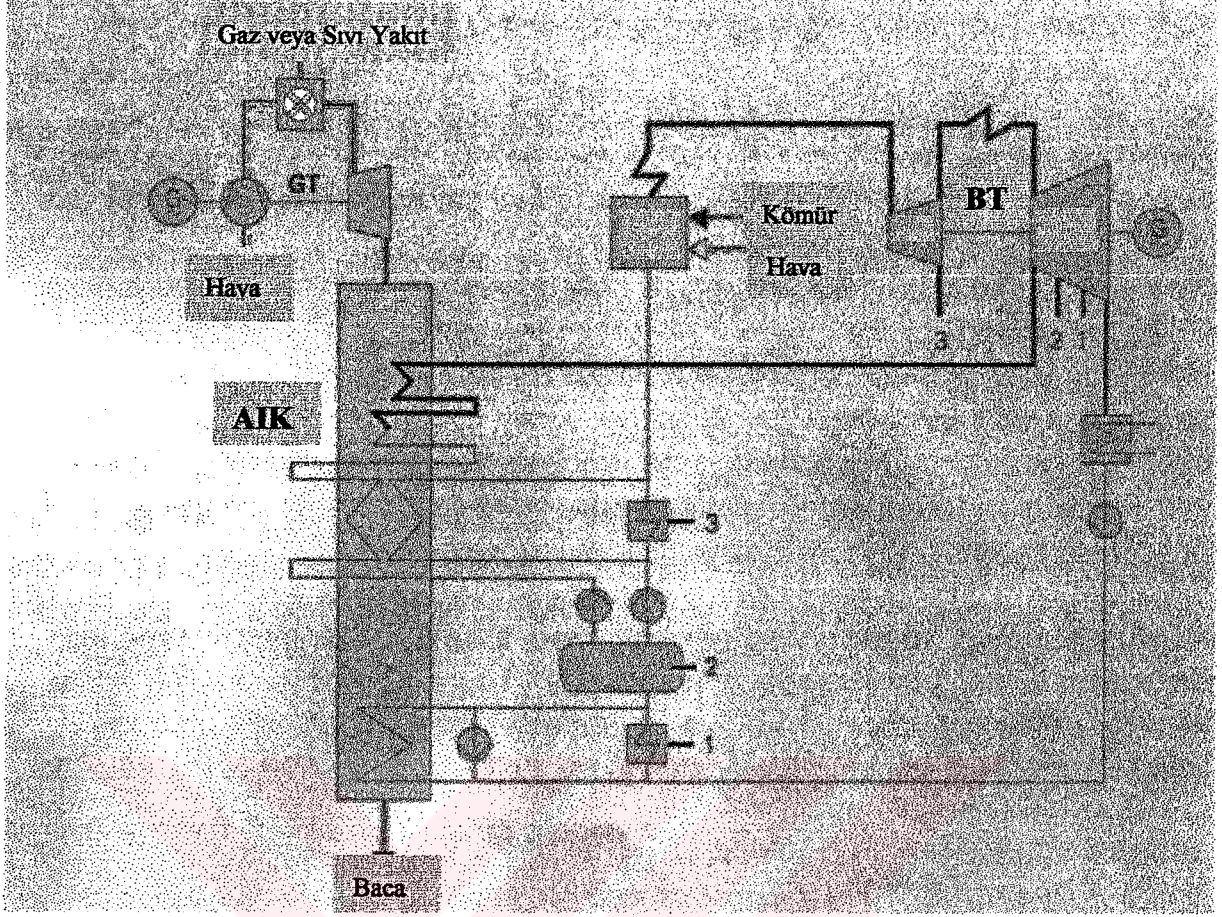
4. PARALEL YENİLEME SİSTEMİ

4.1 Paralel Yenileme Sistemi Genel Bilgi

Paralel yenileme sisteminde ilave edilen gaz türbini ve atık ısı kazanı ile hem türbine ek buhar üretilir hemde kondenser yoğunlaşma suyu veya kazan besleme suyu ısıtılır. Yani buhar türbinleri iki ayrı ve birbirinden bağımsız kaynaktan beslenir.



Şekil 4.1 Paralel Yenileme Yöntemi akış şeması

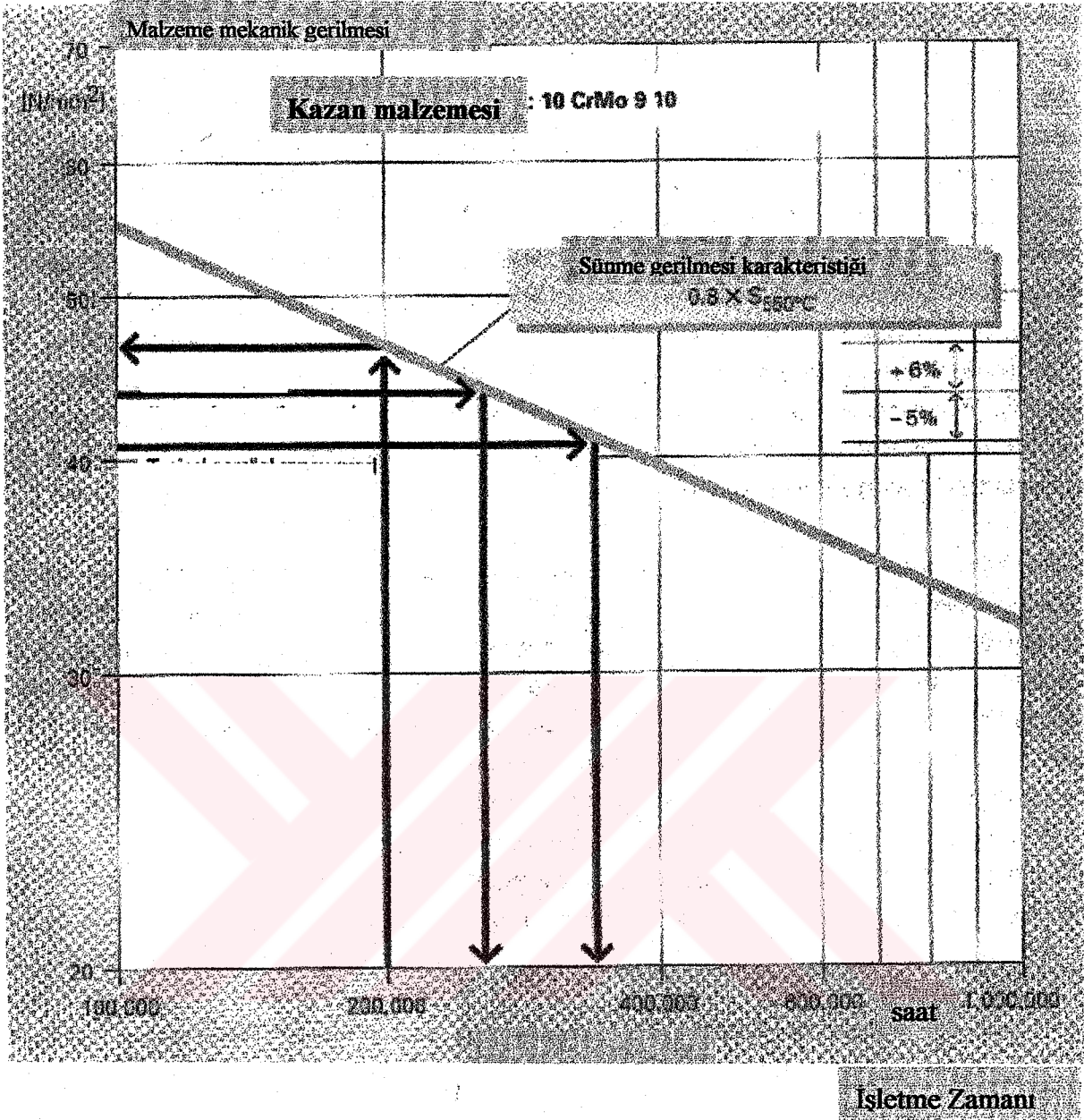


Şekil 4.2 Paralel Yenileme Yöntemi kullanılarak Yenilenmiş Tesisin şeması

Bu yöntem yanmasız kombine çevrim ile buhar çevrimini aynı türbin üzerinden birbirine bağlar Sistemde gaz türbini eksozu yanma için kullanılmadığından ayrı bir bacayla atılır. Şekil 4.1' de paralel yenileme sistemine bir örnek verilmiştir

Paralel yenileme sisteminin diğer sistemlere göre önemli avantajları vardır. En büyük avantajı çok yönlü dizayn, yakıt ve işletilmesidir. Buhar ve gaz türbinleri birbirinden bağımsız olarak çalışabilirler Böylece bir sistemde arıza olduğunda diğer sistem çalışmaya devam eder.

Paralel yenileme sisteminde seçilecek gaz türbini gücünü buhar türbininin gücü belirler. Gaz türbinin buhar türbinine güç oranı $2/3$ değerine kadar seçilebilir. Fakat optimum işletme ekonomisi için doğal gaz ve fuel-oil' den daha ucuz olan kömürün payının yüksek olması istenir. Bu nedenle gaz türbinlerinin güç oranının $2/3$ yük oranından daha az olduğu sistemler daha çok uygulanır. (Bauer G. and Joyce J. 1996)



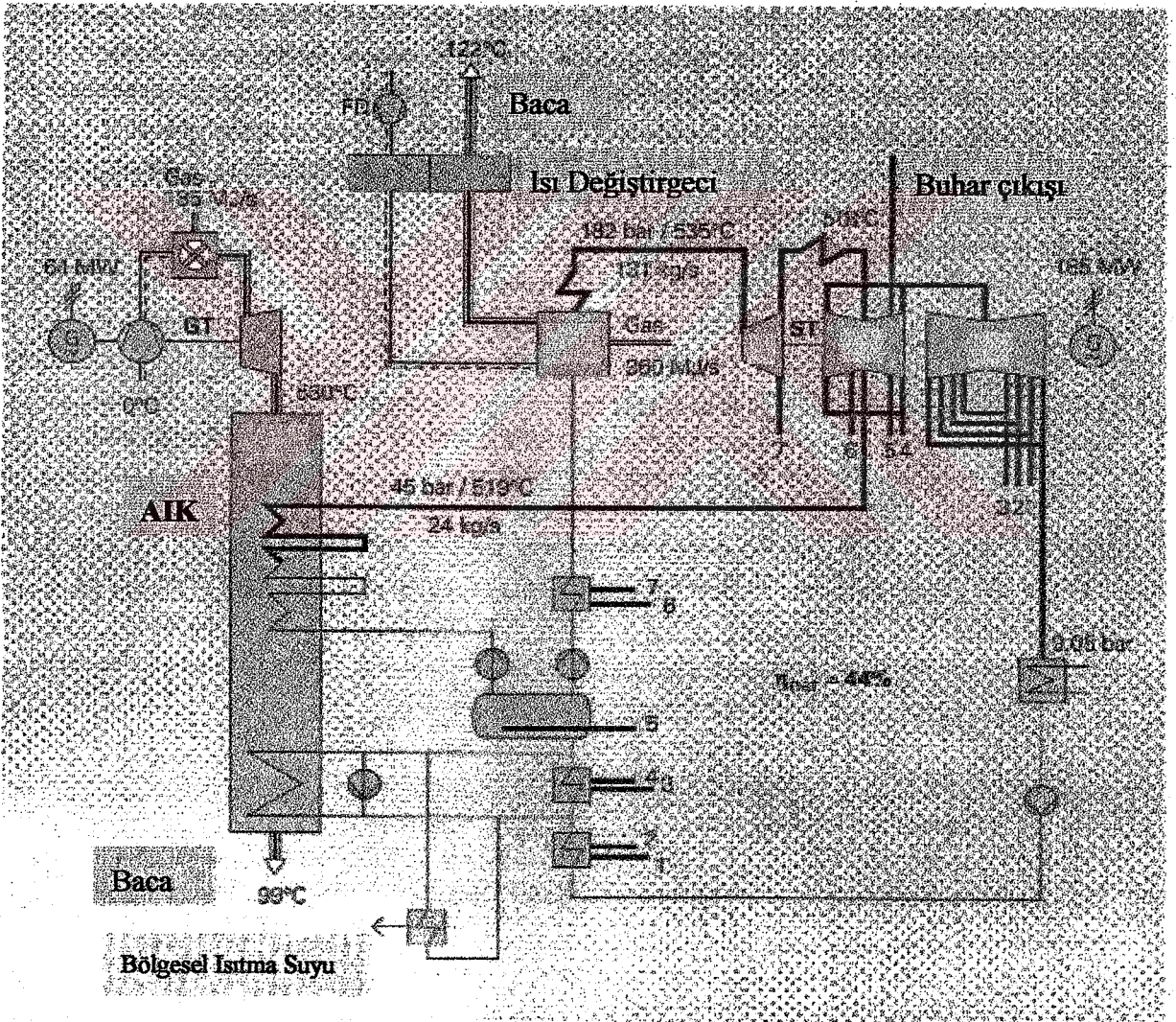
Şekil 4.3 İşletme basıncının düşürülerek kazan ömrünün artışı

Diğer bir fayda ise paralel yenileme yöntemi kullanılarak kazanın ömrünün artırılmasıdır. Genellikle kazanlar, buhar türbinine göre daha kısa ömürlüdürler. Kazan ömrü, kazan lisans değerinden daha düşük değerlerde işletilerek artırılabilir. Kazan ömrünü artırmanın bir başka yolu da kazanın orjinal yakıtından başka bir yakıtı dönüştürülerek kapasitesinin düşürülmesidir. Tüm yöntemlerde kazanda meydana gelen kapasite düşüşü gaz türbini ve atık ısı kazanı tarafından karşılanır

Kazanın termik güç çıktısının azaltılması sonucunda kızgın buhar çıkış basıncı düşürülür.

Bunun neticesinde de kazanın yüksek basınçlı bölümlerinin ömrü artırılır. En çok kullanılan kazan malzemesinde elde edilen ömür artışı Şekil 4.3' de gösterilmiştir

Genellikle dramlı kazanlar 200000 saat lisansbasıncında % 6 daha fazla basınca dayanabilecek şekilde dizayn edilirler. Bu dizaynda temeli sünme gerilmesi oluşturur ve verilen malzeme için çalışma sıcaklığındaki değerinin % 80' ni hesaplamalarda kullanılır. Şekilden de görüldüğü gibi kazanın lisans çalışma basıncında beklenen ömrü 250000 saat civarındadır. Kazan basıncının % 5 daha aşağıya çekilmesi durumunda kazanın çalışma süresi yaklaşık olarak 350000 saat olacaktır. Bu durumda kazanın ömrü % 25' den daha fazla artacaktır. (Bauer G. and Joyce J. 1996)



Şekil 4.4 Paralel Yenilenmiş Mussalo2 kombine ısı güç santrali

Topping sistem ; kazan ile gaz türbini arasında yüksek sıcaklığa dayanıklı boru hatlarına ve kazanda ön ısıtılmış havanın yerine sıcak eksoz gazlarını yakacak sistemlere ihtiyaç duyar. Paralel yenileme sisteminde ise sadece atık ısı kazanı ile türbin arasında buhar kanallarına ve su kanallarına ihtiyaç vardır. Bu nedenle paralel sistemler daha kolayca yenilenecek sisteme yerleştirilebilir.

Mevcut buhar türbin ile gaz türbini atık ısı kazanı arasındaki buhar ve su bağlantılarının kolayca yapılabilmesi ve yoğuşum suyu ile besleme suyunun ön ısıtılabilmesi paralel sistemlerin minimum kayıp ile uygulanmasını sağlar. Bu işlemlerin çok kısasa bir sürede tamamlanması ise büyük bir avantajdır.

Paralel yenileme sistemleri duman gazının temizlenmesi için kullanılan ekipmanlarda değişiklik gerektirmez. Eğer yine de çok sıkı limitler ile karşılaşılır ise atık ısı kazanından çıkan duman gazlarının temizlenmesine ihtiyaç duyulabilir. Bu durumda ya mevcut sistemin kapasitesi artırılır yada yeni sistem ilave edilir.

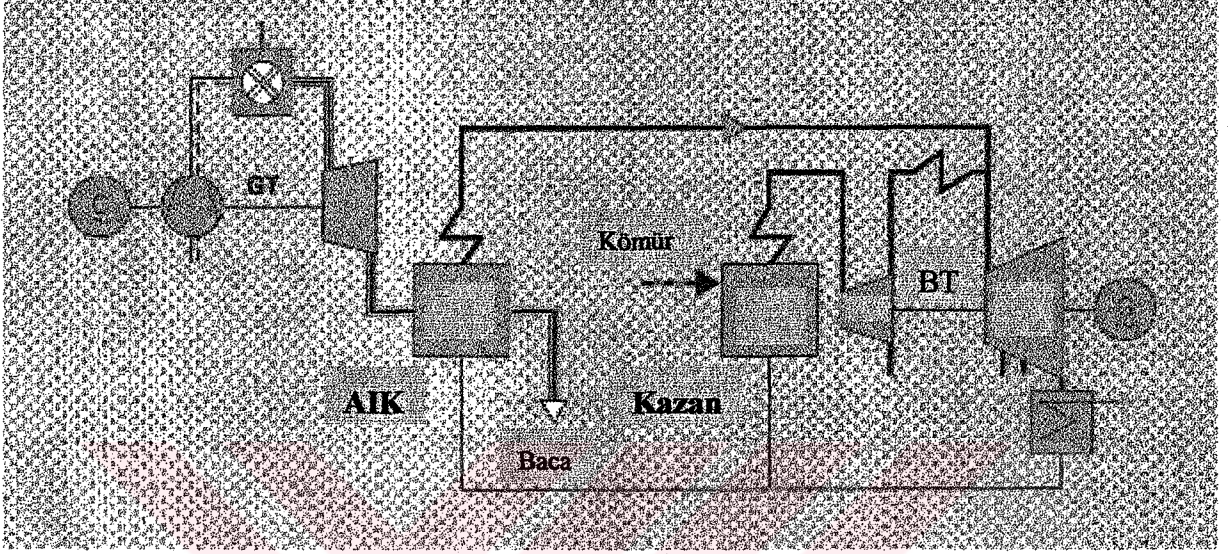
Tam yenileme sisteminde mevcut kazan tamamen kaldırılır ve yerine gaz türbini- atık ısı kazanı yerleştirilir. Halbuki paralel yenileme sisteminde ömrü uzatılmış olan mevcut kazan kullanılmaya devam edilir ve atık ısı kazanıyla elde edilen ilave buhar ile buhar türbininden tam yararlanılır.

Paralel sistemin bir örneği Finlandiya' daki Mussala#2 santralidir. 1973 yılında gaz ve fuel-oil yakan ara kızdırmalı Benson kazanı ve 160 MW gücünde 3 karterli, buhar türbini ile inşa edilmiştir. 1994 yılında 60 MW gaz türbini ve tek basamaklı atık ısı kazanı çevrime birleştirildi. Bu sistem Şekil 4.4' de şematik olarak verilmiştir.

Atık ısı kazanının ürettiği 24 kg/s'lik buhar orta basınç türbinine gönderildi ve debi % 18 oranında artırıldı. Gaz türbini eksozundaki geri kalan ısı ile yoğuşum suyu ön ısıtıldı. Buhar türbini çıkış gücü 25 MW artırılarak 185 MW oldu. Kondenser basıncı 0.026bar'dan 0,05 bar'a yükselmesine rağmen toplam verim % 4 artarak, ek yakıt verilerek buhar üretilen yeni durum için % 44 olmuştur. Bu verim artışı sadece buhar artışından değil aynı zamanda yoğuşum ve besleme suyunun atık ısı kazanında ön ısıtılmasından dolayıdır.

Paralel yenileme yönteminde değişik düzenlemeler yapılabilir. Gaz türbini eksozundaki yararlanılabilir ısının buhar çevrimine aktarılmasının 3 yöntemi aşağıda anlatılmıştır. (Bauer G. and Joyce J. 1996)

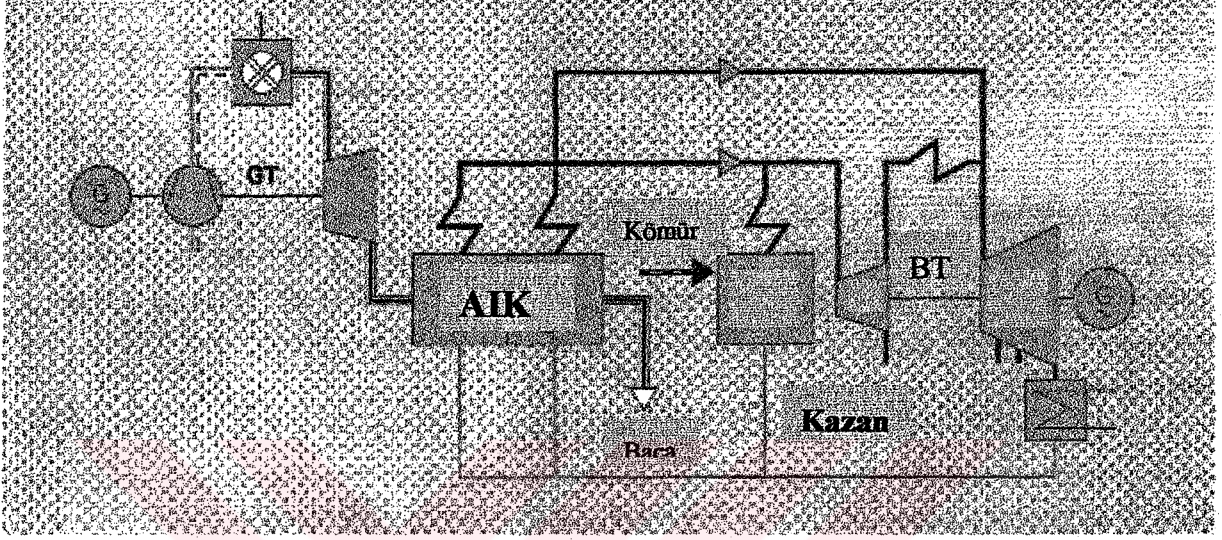
1.DÜZENLEME



Şekil 4.5 1. Düzenleme şematik şekli

Şekil 4.5' de gösterilen bu yöntemde tek basınçlı atık ısı kazanı orta basınç için ara kızdırılmış buhar doymuş buhar şartlarında ek buhar üretir. Ayrıca besleme ve yoğuşum suyu ön ısıtılır. Bu yöntemin avantajı atık ısı kazanınının basit dizaynı ve hiç bir şekilde mevcut kazanda değişiklik gerektirmemesidir.

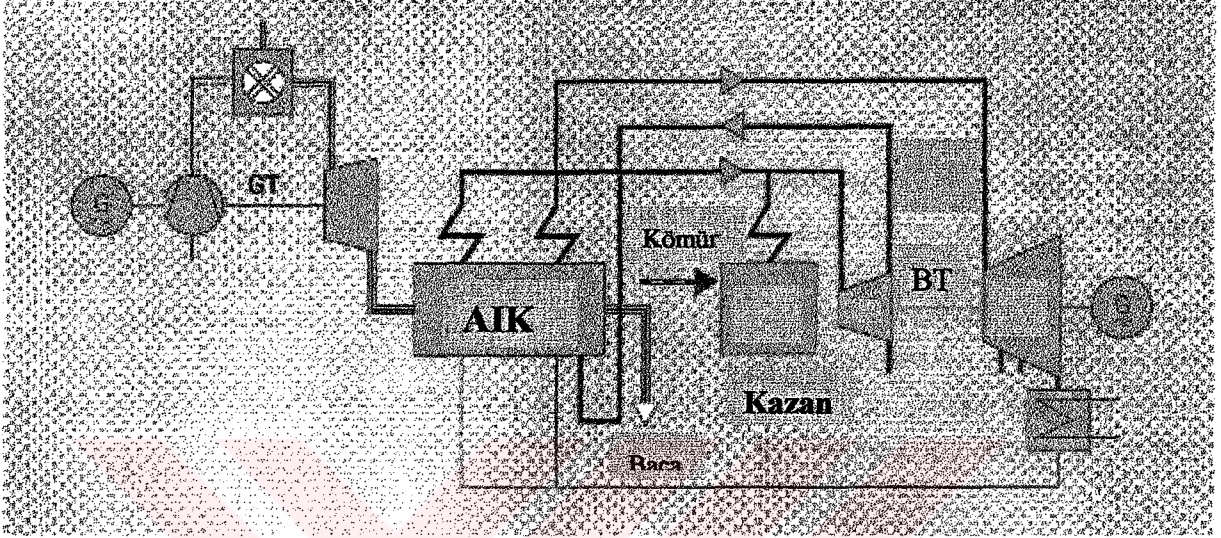
2.DÜZENLEME



Şekil 4.6 2. Düzenleme şematik şekli

Şekil 4.6' da gösterilen bu düzenlemede hem yüksek basınç türbini hemde alçak basınç türbini için ek buhar üreten çift basınçlı bir atık ısı kazanı vardır.

3. DÜZENLEME

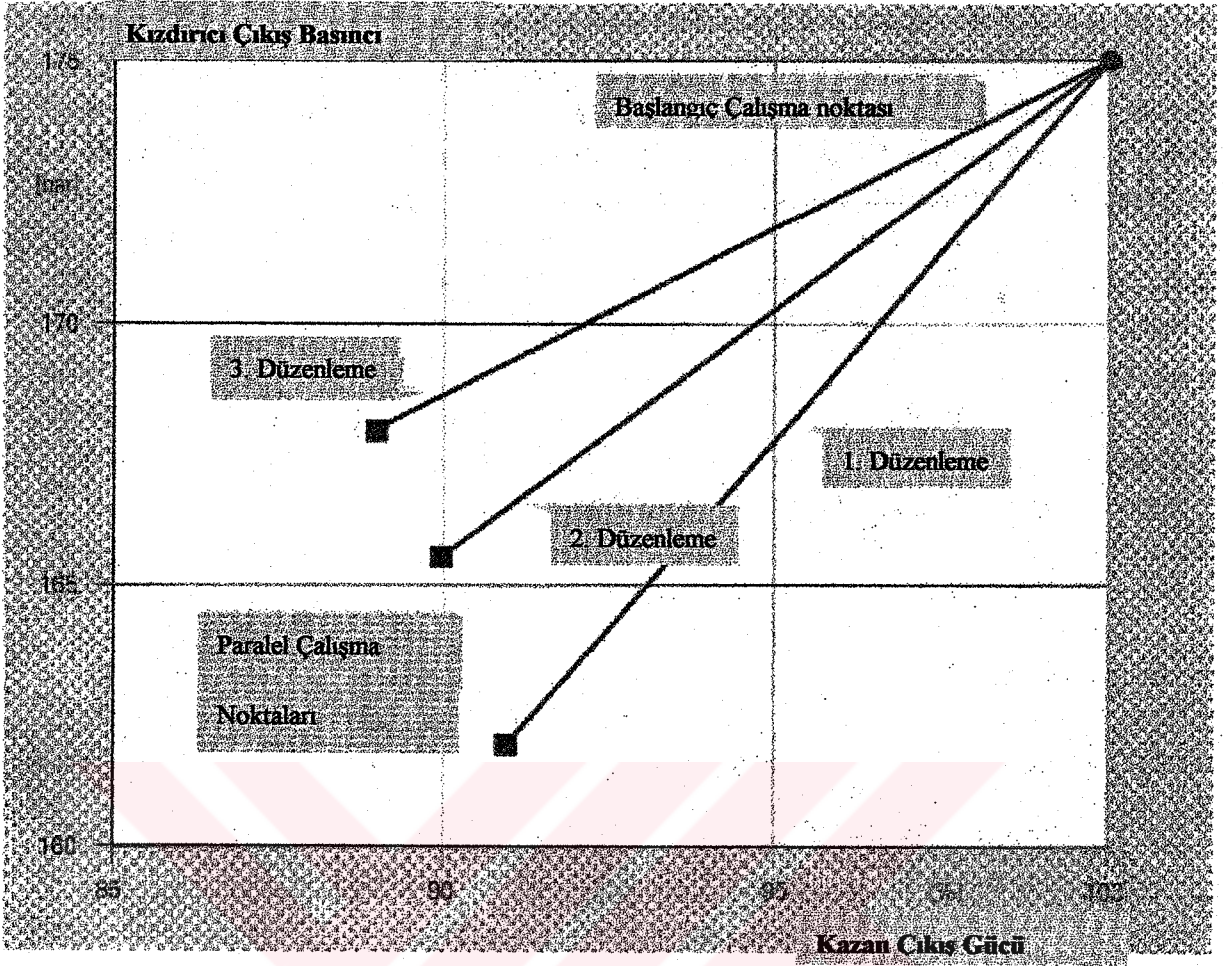


Şekil 4.7 3. Düzenleme şematik şekli

Bu düzenlemenin bir öncekinden tek farkı yüksek basınç türbininden çıkan buharın atık ısı kazanında ara kızdırılmasıdır. Şekil 4.7' de gösterilen bu yöntemin avantajı en yüksek verim ve en esnek işletme olanağıdır

Her üç yöntemde de atık ısı kazanından buhar türbinine ek buhar girişinden dolayı kazanın en yüksek işletme basıncı azaltılarak kazan daha az yüklenir Bunun en büyük faydası kazan ömrünün artmasıdır Fakat aynı zamanda kazanın az yüklenmesinden dolayı aynı miktarda duman gazı azalır. Duman gazının azalması NOx temizleyiciler, elektrostatik fitireler ve desülferizasyon ünitelerinin daha az yüklenmesini sağlar.

Şekil 4.8'den görüleceği gibi kazan çıkış basıncının azaltılmasında en büyük değer 1. Düzenleme ile elde edilir. Sonuçta kazanın yükü % 91 değerine çekilir, ikinci ve üçüncü düzenlemelerde yükleme biraz daha azdır, Fakat her üç yöntemde de gaz türbini bakımdayken kazan orjinal değerinde çalışır.



Şekil 4.8 Uygulanan paralel yenileme düzenlemelerinin kazan basıncına etkisi

4.2 Paralel Yenileme Yöntemi Analiz

$$N_{\text{ILAVE}} = N_{\text{GT}} - N_{\text{KOMP}} \quad (4.1)$$

$$\dot{m}_g = c_p \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (4.2)$$

$$\dot{m}_g = \frac{\dot{m}_{b2} (h_6 - h_{s_x})}{c_p \times (T_4 - T_C) \times \eta_{\text{AIK}}} \quad (4.3)$$

$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{\dot{m}_{b2} (h_6 - h_{s_x})}{(T_4 - T_C) \times \eta_{\text{AIK}}} \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (4.4)$$

$$A = \frac{\dot{m}_{b2} \times (h_6 - h_{s_x})}{\eta_{\text{AIK}}} \quad (4.5)$$

$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{A}{(T_4 - T_C)} \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (4.6)$$

$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{A}{(T_4 - T_C)} \times \left[\left(\eta_{\text{tis}} \times T_3 \times \left(1 - \left(\frac{1}{P_3/P_4} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right) \right) - \left(\frac{T_1}{\eta_{\text{cis}}} \times \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1 \right) \right) \right] \quad (4.7)$$

$$N_{\text{ILAVE}} \approx (A, T_C, T_3, T_1, \eta_{\text{cis}}, \eta_{\text{tis}}, P_{\text{re}}, P_{\text{rt}}) \quad (4.8)$$

$$\eta_{\text{the}} = \frac{m_b (h_6 - h_7)}{m_{b1} (h_6 - h_9) + m_{b2} (h_6 - h_9)} \quad (4.9)$$

$$\eta_{\text{the}} = \frac{N_{\text{BT}}}{m_{b1} (h_6 - h_9) + m_{b2} (h_6 - h_9)} \quad (4.10)$$

$$m_b = m_{b1} + m_{b2} \quad (4.11)$$

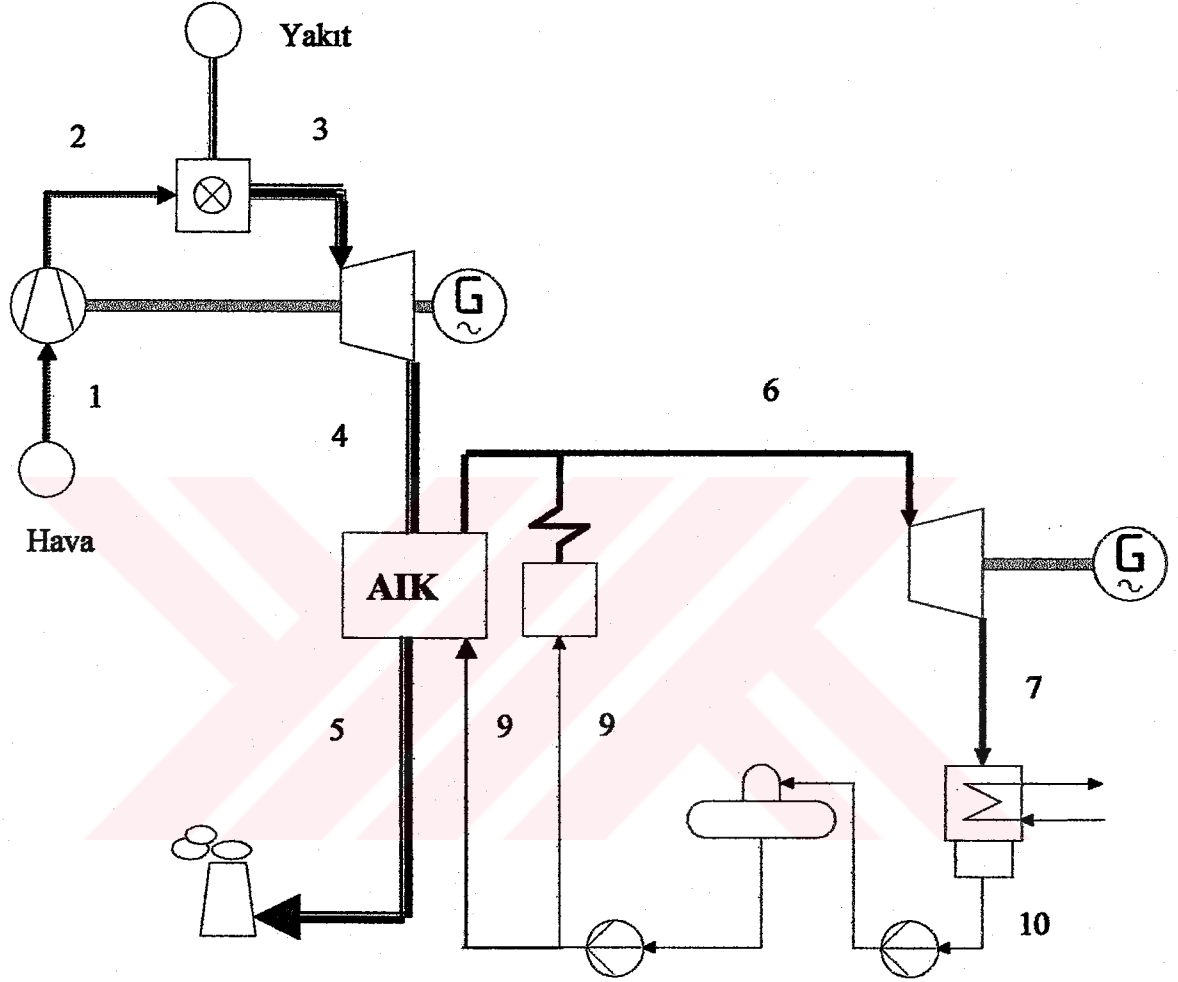
$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{\frac{N_{\text{BT}} - N_K}{\eta_{\text{the}}}}{(T_4 - T_5) \times \eta_{\text{AIK}}} \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (4.12)$$

$$N_{\text{ILAVE}} = \frac{N_{\text{BT}} - N_{\text{K}}}{(T_4 - T_5) \times \eta_{\text{AIK}}} \times \left[\left(\eta_{\text{tis}} \times T_3 \times \left(1 - \left(\frac{1}{P_3/P_4} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right) \right) - \left(\frac{T_1}{\eta_{\text{cis}}} \times \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1 \right) \right) \right] \quad (4.13)$$

$$N_{\text{K}} = m_{\text{bl}} \times (h_6 - h_9) \quad (4.14)$$

$$N_{\text{ILAVE}} \approx (N_{\text{BT}}, N_{\text{K}}, \eta_{\text{the}}, \eta_{\text{AIK}}, T_3, T_5, T_1, \eta_{\text{cis}}, \eta_{\text{tis}}, P_{\text{re}}, P_{\text{rt}}) \quad (4.15)$$

4.3 Sistemin Termodinamik Analizi



Şekil 4.9 Paralel Yenileme Yöntemi Tesis Şeması

Buhar Türbini grubu ile ilgili veriler bilinmektedir. Sisteme atık ısı kazanı ve gaz türbin grubu ilave edilecektir.

4.3.1 Bilinen Veriler;

Buhar Türbin Gücü N_{BT} (kW)

Kızdırıcı çıkış basıncı ve sıcaklığı P_6, T_6 : (1967 IAPS özellikleri referans alınarak fortran programlama kodu visual basic'e dönüştürülmüş ve h_6 hesaplanmasında kullanılmıştır.

Türbin Egzost Basıncı (Kondenser basıncı) P_7 : Referans Programlama kodu ve yaş buhar bölgesi termodinamik denklemleri kullanılmıştır.

Doyma Sıcaklıkları $T_{x_s}, h_{x_s}, T_{f_s}, h_{f_s}$: Referans Programlama kodu kullanılmıştır.

Kazan Giriş Suyu Sıcaklığı T_9 : Bu kazan giriş suyu sıcaklığı olup sistem için önceden verilecektir. Kazan besleme suyu hiterlerde ön ısıtmadan geçmektedir.

4.3.2 Kabul Edilecek Veriler ;

Yanma Verimi η_b (0.95-0.99), η_{b2}

Yanma Odası Sıcaklığı T_3 ($^{\circ}\text{K}$) (1100, 1200, 1300, 1400, 1500)

Gaz Türbin giriş ve çıkış basınçları P_1, P_4 (1 bar)

Politropik Verimler $\eta_{\text{oco}}, \eta_{\text{oc}}$

Özgül Isılar $c_{p_a}, c_{p_g}, c_{p_{\text{eg}}}, c_{p_{\text{sm}}}$: Kabul edilecek (Sıcaklık ve yakıtı bağı olarak)

Basınç kayıpları $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$: Kompresör çıkış basınç kaybı, Yanma Odası basınç kaybı, Türbin çıkışı basınç kaybı

Kazan Verimi η_K

Atık Isı Kazanı Verimi η_{AIK}

Pinch Noktası Sıcaklık Farkı ΔT_p : Sıcak ve Soğuk akımlar arasındaki minimum sıcaklık farkı

Buhar Kazanı buhar debisi m_{b1}

Kullanılan Yakıtların Alt Isıl Değerleri H_U, H_{U2} : Yakıtın cinsine bağlıdır.

4.3.3 Hesaplamalarda Kullanılan Denklemler ;

$$\text{Buhar debisi } m_b : N_{BT} = \dot{m}_b \times (h_6 - h_7) , \quad m_b = \frac{N_{BT}}{h_6 - h_7} \quad (4.16)$$

$$\text{Pinch noktasındaki sıcak akışkan sıcaklığı } T_C : T_C = T_{x_s} + \Delta T_p \quad (4.17)$$

$$\text{Türbin Basınç oranı } P_{rt} : P_{rt} = \frac{P_2 \times (1 - \Delta P_1(\%) - \Delta P_2(\%))}{P_1 + \Delta P_3} \quad (4.18)$$

$$\text{Türbin Çıkış Sıcaklığı } T_4 : T_4 = T_3 \left[1 - \eta_{tis} \times \left(1 - \frac{1}{(P_{rt})^{(k_s-1)/k_s}} \right) \right] \quad (4.19)$$

$$\text{Gaz debisi } \dot{m}_g : \dot{m}_g = \frac{\dot{m}_{b2} (h_6 - h_{x_s})}{c_{p_{eg}} \times (T_4 - T_C) \times \eta_{AIK}} \quad (4.20)$$

$$\text{Kompresör Çıkış Sıcaklığı } T_2 : T_2 = T_1 \left(1 + \frac{1}{\eta_{cis}} \times (P_{rc}^{(k_a-1)/k_a} - 1) \right) \quad (4.21)$$

$$\text{İlave Edilen Güç } N_{İLAVE} : N_{İLAVE} = m_g \times [c_{p_g} \times (T_3 - T_4) - c_{p_a} \times (T_2 - T_1)] \quad (4.22)$$

$$\text{Sistemin Toplam Gücü } N_T : N_T = N_{BT} + N_{İLAVE(GT)} \quad (4.23)$$

$$\text{Ek Yanma Yakıt Tüketimi } m_{y2} : m_{y2} = \frac{m_{b1} \times (h_6 - h_9)}{H_{U2} \times \eta_{b2} \times \eta_K} \quad (4.24)$$

$$\text{Yanma Odasında verilen Isıl Güç } Q_{Y1} : Q_{Y1} = \frac{m_g \times c_{p_g} (T_3 - T_2)}{\eta_b} \quad (4.25)$$

$$\text{Verilen Toplam Isıl Güç } Q_Y : Q_Y = \frac{m_g \times c_{p_g} (T_3 - T_2)}{\eta_b} + m_{y2} \times H_{U2} \times \eta_{b2} \quad (4.26)$$

$$\text{Toplam Verim } \eta_{the(T)} : \eta_{the(T)} = \frac{N_T}{Q_Y} \quad (4.27)$$

$$\text{Gaz Türbin Grubu Verimi } \eta_{the(GT)} : \eta_{the(GT)} = \frac{N_{İLAVE}}{Q_{Y1}} \quad (4.28)$$

$$\text{Yakıt Tüketimi } m_Y : m_Y = \frac{m_g \times c_{p_g} \times (T_3 - T_2)}{H_U \times \eta_b} \quad (4.29)$$

4.4 Örnek Tesis Hesaplamalar;

Yukarıdaki formüller yardımıyla kazandaki ısı değişiminden yararlanılarak visual basic 6.0 yardımıyla aşağıda Paralel Yenileme Yöntemi Hesaplama Menüsü görülen Yenileme Yöntemleri adlı bilgisayar programı tarafımdan yazılmıştır. Üst bölümde tesise ait veriler ve standart kabul edilen veriler girilmiştir. Alt bölümde ise yukarıda esas alınan termodinamik denklemler yardımıyla hesaplanmış tesis verileri görülmektedir. Program ile ilgili detaylı bilgi Yenileme Yöntemleri Programlama örnek kodlama adı altında 5. bölümde detaylı olarak verilecektir.

PARALEL YENILEME YÖNTEMİ İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR															
Buhar Debi Verileri			Kütleli Debi Verileri				Bava Güç Hesabı Verileri								
N_{BT}	400	MW	c_{p_g}	1.148	kJ/kg ^o K	η_{bc}	0.87	c_{p_g}	41868	kJ/kg ^o K	η_{bc}	0.85			
P_1	40	bar	T_1	300	^o K	$T_1/(T_1 - 1)$	35	T_2	523	^o K	c_{p_g}	1.1	kJ/kg ^o K		
T_1	873.17	^o K	c_{p_g}	1.004	kJ/kg ^o K	P_2	12	η_{ADP}	0.88	$T_1/(T_1 - 1)$	4				
P_2	0.05	bar	P_1	1	bar	ΔP_1	2	% ΔP_1		T_2	1200	^o K	ΔP_2	3	% ΔP_2
ΔT_1	10		m_b	150	kg/s	η_{bc}	0.97	η_{bc}	0.88	ΔP_3	0.04	bar			
η_{bc}	0.97		H_U	20000	kJ/kg			H_U	43000	kJ/kg					
η_b	0.98														
Kütleli Debi Hesabı			Buhar Debi Hesabı			Bava Güç Hesabı		Termik Verim Hesabı		Yakıt Tüketimi Hesabı		Tablaya Yazdır			
h_g	1046.7	kJ/kg	h_b	3672.802	kJ/kg	m_g	315.8929391	kg/s	T_2	678.47239 ^o K	η_{bc}	0.421759110			
T_1	721.453	^o K	T_2	306.0472	^o K				N_{NET}	405.2411	MW	η_{bc}	0.277256096		
T_2	533.35	^o K	h_g	138.3622	kJ/kg										
m_g	2392.42	kg/s	T_2	523.4830	^o K	η_{bc}	0.97		P_1	10.96153					
			h_g	1048.722	kJ/kg	N_{NET}	805.2411077	MW							
									m_g	23.073771	kg/s	m_Y	33.99099918	kg/s	

Şekil 4.10 Yenileme Yöntemleri Programı Paralel Yenileme Yöntemi Ana Menü

Örnek Tesisimiz bir yakmalı buhar kazanı ve buhar türbininden oluşan bir termik tesis olsun. Bu tesise uygun yenileme yönteminin Paralel Yenileme Yöntemi olduğunu varsayalım ve standart değerlere ve tesis verilerine göre yenileme yapıldığında gerekli olan ek tesis verilerini elde edelim. Yukarıdaki menüde belli bir ΔT_p , P_{nc} değeri için ilave edilecek gaz türbini gücü, yakıt tüketimi, ek yanma yakıt tüketimi, kütleli gaz debisi, gaz türbin çıkış sıcaklığı gibi veriler elde edilmektedir. Eğer P_{nc} değişken kabul edilir ve ΔT_p 'nin 10-80 arasında değiştiği varsayılırsa yine Yenileme Yöntemleri Programı yardımıyla gaz türbin gücü, yakıt tüketimi, toplam termik verim ve toplam gücün değişimi elde edilir.

EXCEL VERİ SONUÇLARI TABLOSU				
HESAPLAMA SONUÇLARI TABLOSU				
Basma oranı	Buhar Türbin Gücü	Gaz Türbin Gücü	Toplam Güç	Termik Verim
2	400.000	76.282	476.282	3727
3	400.000	139.300	539.300	3910
4	400.000	188.026	588.026	4023
5	400.000	228.213	628.213	4099
6	400.000	262.616	662.616	4150
7	400.000	292.791	692.791	4185
8	400.000	319.707	719.707	4208
9	400.000	344.013	744.013	4221
10	400.000	366.163	766.163	4226
11	400.000	386.490	786.490	4225
12	400.000	405.241	805.241	4218
13	400.000	422.608	822.608	4205
14	400.000	438.738	838.738	4188
15	400.000	453.747	853.747	4166
16	400.000	467.727	867.727	4140
17	400.000	480.749	880.749	4110
18	400.000	492.869	892.869	4076
19	400.000	504.128	904.128	4038
20	400.000	514.558	914.558	3996
21	400.000	524.176	924.176	3950
22	400.000	532.992	932.992	3899
23	400.000	541.005	941.005	3845
24	400.000	548.205	948.205	3786
25	400.000	554.570	954.570	3723
26	400.000	560.067	960.067	3655
27	400.000	564.651	964.651	3581
28	400.000	568.260	968.260	3503
29	400.000	570.816	970.816	3418
30	400.000	572.220	972.220	3328

Şekil 4.11 Yenileme Yöntemleri Programı Paralel Yenileme Yöntemi Veri Sonuçları Menüü

4.4.1.1 Örnek Tesis Verileri :

$$N_{BT} = 400000 \text{ kW}$$

$$P_6, T_6 = 40 \text{ bar}, 600 \text{ C}$$

$$P_7 = 0.05 \text{ bar}$$

$$T_9 = 250 \text{ C}$$

Yukarıdaki veriler yenilenmesi düşünilen tesise özgü verilerdir. Diğer inputlar (veri girdileri) standart olarak kabul edilecektir.

$$\eta_b, \eta_{b2} = (0.95-0.99)$$

$$T_3 (^{\circ}\text{K}) = (1100, 1200, 1300, 1400, 1500)$$

$$P_1, P_4 = (1 \text{ bar})$$

$$\eta_{acc}, \eta_{act} = (0.83-0.86), (0.85-0.87)$$

$$c_{P_1}, c_{P_2}, c_{P_{eg}}, c_{P_{sm}} = (1.005), (1.148), (1.1), (4.1865)$$

$$\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3 = \%2 P_2, \%3 P_2, 0.04 \text{ bar}$$

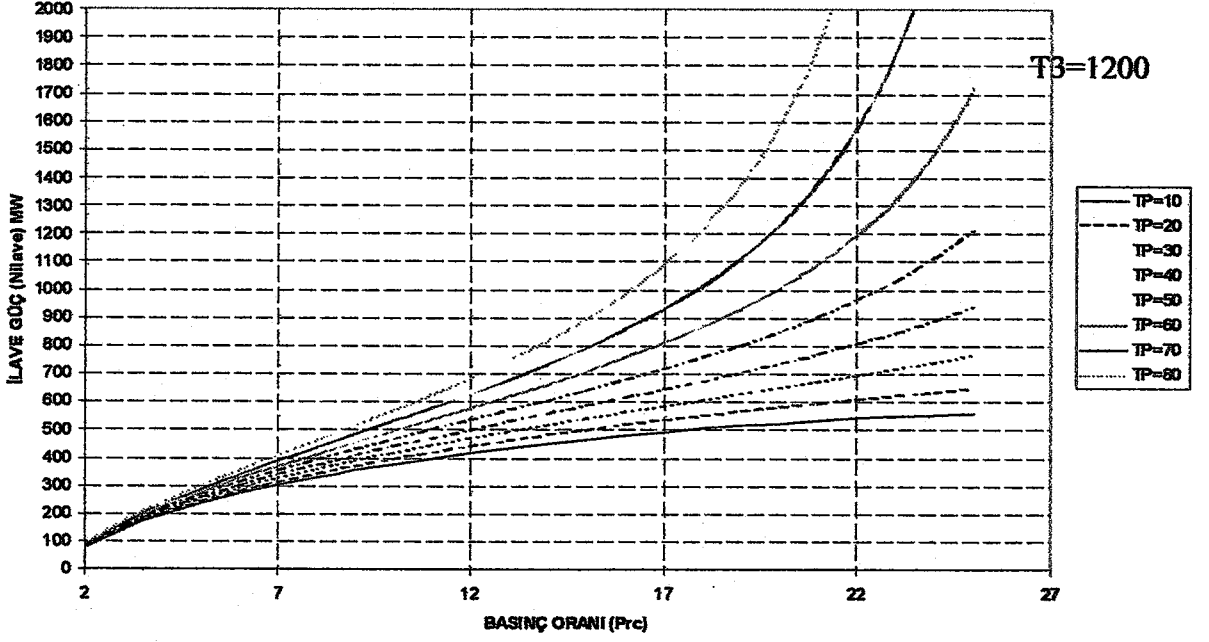
$$\eta_K = (0.80-0.90)$$

$$\Delta T_p = (10-80 \text{ C})$$

$$m_{bl} = 150 \text{ kg/s}$$

Yukarıdaki veriler esas alınarak basınç oranı P_{10} 'ye bağlı toplam güç, ilave güç, toplam termik verim, yakıt tüketimi, yakıt kütleli debisi eğrileri microsoft excel ortamında çizilmiştir.

İLAVE GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



Şekil 4.12 İlave Güç – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek3.1)

Şekil 4.12' de görüldüğü üzere basınç oranı arttıkça ilave edilecek gaz türbin gücü artmaktadır. Burada dikkat edilecek husus ise belli bir basınç oranı (P_{rc}) den itibaren artış miktarı gözle görülür ölçüde artmaktadır. Daha büyük Pinch noktası sıcaklık farkları (ΔT_p) için eğri yukarı doğru ötelenmektedir. Bunun sebebi gaz türbin egzost ısısından faydalanma oranının azalmasıdır.

$$N_{İLAVE} = \frac{\dot{m}_{b2} (h_6 - h_{x_s})}{(T_4 - T_C) \times \eta_{AİK}} \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (4.5)$$

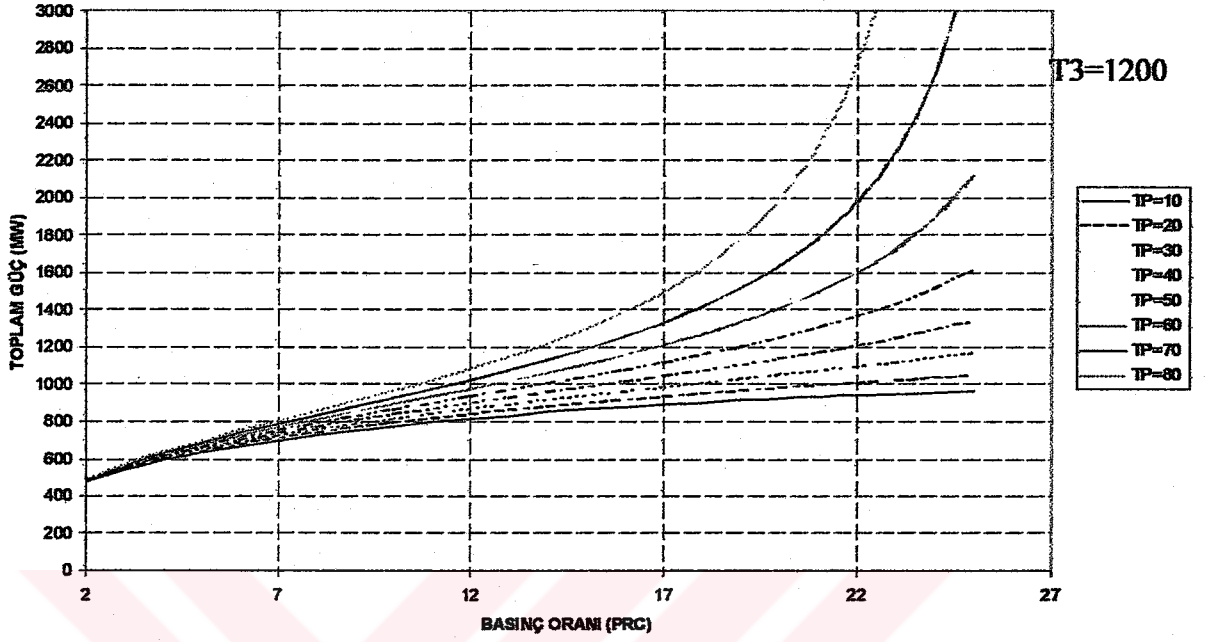
Eğer yukarıdaki denklemi irdelersek ve,

$$T_C = T_{x_s} + \Delta T_p \quad (4.3)$$

denklemi yardımıyla tüm verilerin değişmediği yalnız ΔT_p 'nin değiştiği varsayılırsa ΔT_p arttıkça T_C artacaktır. T_4 sıcaklığı aynı basınç oranı için farklı ΔT_p değerlerinde değişmeyeceğinden $T_4 - T_C$ farkı T_C arttıkça azalacaktır. Diğer veriler aynı basınç oranı için aynı değerleri alacağından denklemin paydası azalacak bu da gaz türbin gücü ($N_{İLAVE}$)'yi

arttıracaktır.

TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



Şekil 4.13 Toplam Güç – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek3.2)

Şekil 4.13' de görüldüğü üzere basınç oranı arttıkça ilave edilecek gaz türbin gücü artmaktadır. Burada dikkat edilecek husus ise belli bir basınç oranı (P_{rv}) den itibaren artış miktarı gözle görülür ölçüde artmaktadır. Daha büyük Pinch noktası sıcaklık farkları (ΔT_p) için eğri yukarı doğru ötelenmektedir. Bunun sebebi gaz türbin egzost ısısından faydalanma oranının azalmasıdır.

$$N_{ILAVE} = \frac{\dot{m}_{b2} (h_6 - h_{x_s})}{(T_4 - T_C) \times \eta_{AIK}} \times [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad (4.5)$$

Eğer yukarıdaki denklemi irdelersek ve ,

$$T_C = T_{x_s} + \Delta T_p \quad (4.3)$$

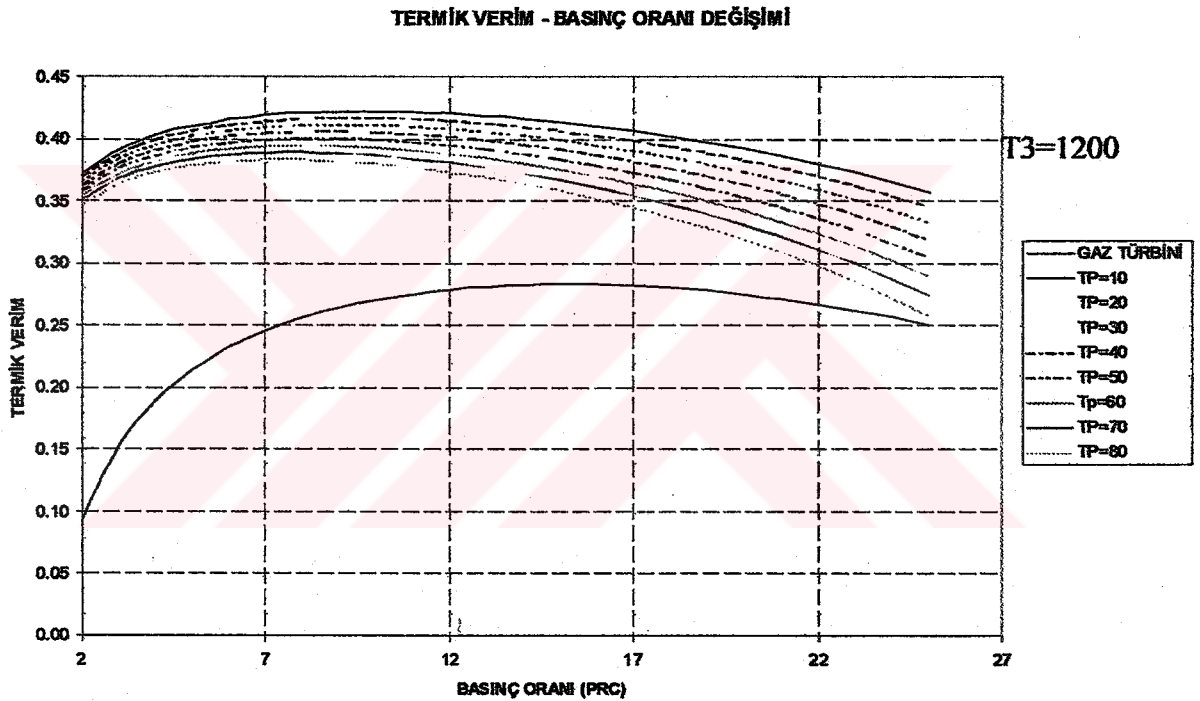
denklemi yardımıyla tüm verileri değişmediği yalnız ΔT_p 'nin değiştiği varsayılırsa ΔT_p arttıkça T_C artacaktır. T_4 sıcaklığı aynı basınç oranı için farklı ΔT_p değerlerinde

değişmeyeceğinden $T_4 - T_C$ farkı T_C arttıkça azalacaktır. Diğer veriler aynı basınç oranı için aynı değerleri alacağından denklemin paydası azalacak bu da N_{ILAVE} 'yi arttıracaktır.

Basınç oranı arttıkça T_4 azalacaktır dolayısıyla $T_4 - T_C$ farkı azalacak ve ilave güç artacaktır.

$$N_T = N_{BT} + N_{ILAVE(GT)} \quad (4.23)$$

denkleminde' de görüleceği üzere buhar türbin gücü (N_{BT}) tesise özgü ve sabit olduğundan N_{ILAVE} arttıkça N_T artacaktır.

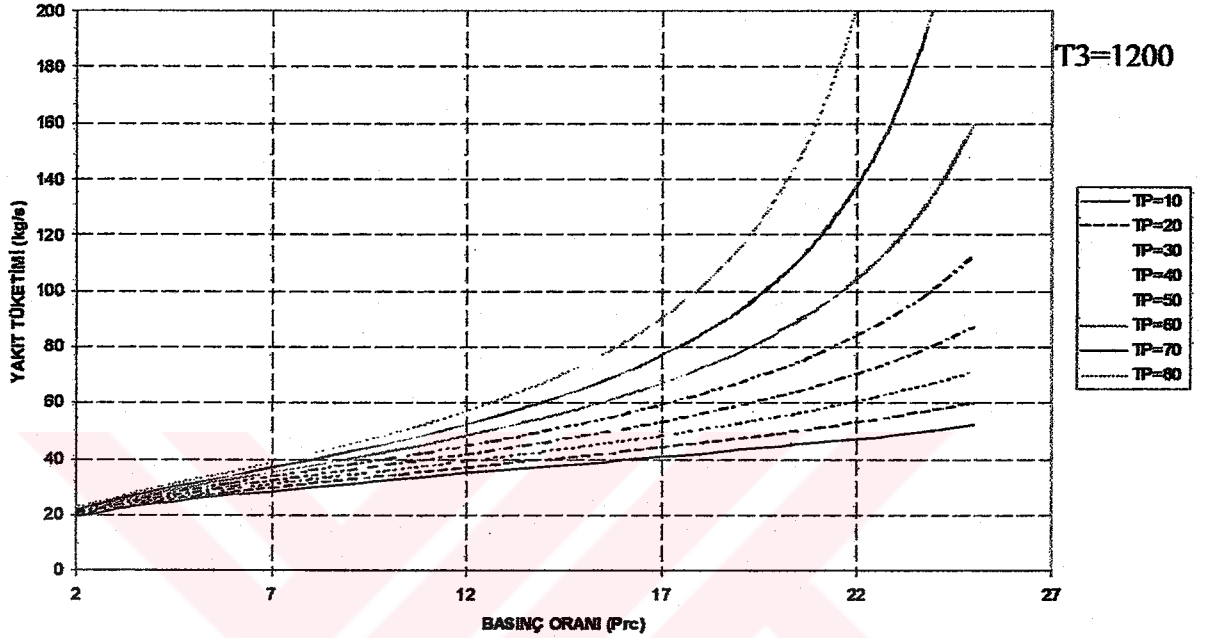


Şekil 4.14 Termik Verim – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek3.3)

Şekil 4.14'da görüldüğü üzere basınç oranı arttıkça toplam termik verim artma eğiliminde olup belli bir basınç oranı değerinden sonra azalma eğilimindedir. Dikkat edilecek olursa gaz türbini termik verimi ile toplam termik verimin farklı basınç oranlarında optimum değerler aldığı görülebilir. Bu örnek için gaz türbini için verimi maximum yapan optimum basınç oranı 15 olurken tüm tesis için verimi maximum yapan optimum basınç oranı 11 olmaktadır. Pinch noktası sıcaklık farkı arttırıldığında toplam termik verim aşağıya doğru ötelenmektedir. Bunun sebebi ise atık ısıdan yararlanma oranının azalmasıdır. Türbine giriş sıcaklığının sabit

değeri için, yüksek basınç oranlarında verimde meydana gelen düşüş, yanma odasına hava giriş sıcaklığının artmasından dolayı yakılan yakıtın azalmasından ileri gelir.

YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



Şekil 4.15 Yakıt Tüketimi – Basınç Oranı Değişimi (Detay Ek 3.4)

$$T_4 = T_3 \left[1 - \eta_{tis} \times \left(1 - \frac{1}{(P_{rt})^{(k_g-1)/k_g}} \right) \right] \quad (4.19)$$

$$\dot{m}_g = \frac{\dot{m}_{b2} (h_6 - h_{x_g})}{c_{p_{og}} \times (T_4 - T_c) \times \eta_{AIK}} \quad (4.20)$$

Şekil 4.15' de görüldüğü üzere basınç oranı Prc arttıkça Prt artacaktır. Prt'nin artışı gaz türbin çıkış sıcaklığı T_4 'ü azaltacaktır. Kütleli debi formülüne dikkat edilecek olursa belirli bir pinch noktası sıcaklık farkı ΔT_p için gaz türbin çıkış sıcaklığı T_4 azaldıkça payda azalacak ve dolayısıyla kütleli debi \dot{m}_g artacaktır. Kütleli debi \dot{m}_g 'nin artışı ise yakıt

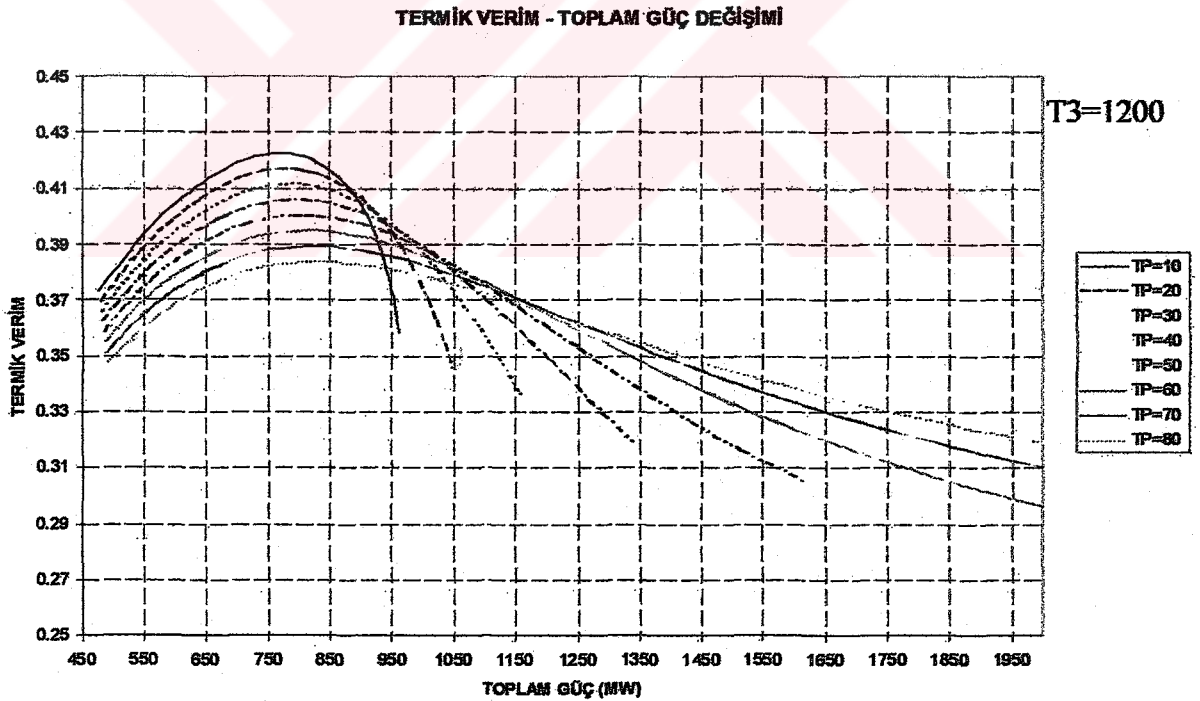
tüketimi m_Y 'yi arttıracaktır.

$$m_Y = \frac{m_g \times c_{p_g} (T_3 - T_2)}{H_U \times \eta_b} \quad (4.27)$$

Aynı basınç oranı Prc değeri için Pinch noktası sıcaklık farkı ΔT_p artırıldığında eğrinin yukarı doğru ötelendiği görülür. Bunun sebebi,

$$T_C = T_{x_s} + \Delta T_p \quad (4.3)$$

denklemleri yardımıyla tüm verileri değişmediği yalnız ΔT_p 'nin değiştiği varsayılırsa ΔT_p arttıkça T_C artacaktır. T_4 sıcaklığı aynı basınç oranı için farklı ΔT_p değerlerinde değişmeyeceğinden $T_4 - T_C$ farkı T_C arttıkça azalır. $T_4 - T_C$ azaldıkça kütleli debi m_g artacak ve bu da m_Y 'yi arttıracaktır.



Şekil 4.16 Termik Verim-Toplam Güç Değişimi (Detay Ek 3.5)

Toplam güç termik verim değişim eğrisi bize tesisin hangi eğri aralığında çalıştırılması gerektiği konusunda bilgi vermektedir. Farklı Pinch noktası sıcaklık farkları ΔT_p 'ler için

eğrinin ötelendiği ve ΔT_p arttıkça termik verim düşerken kullanılabilir güç aralığının arttığı görülebilir. Eğer Pinch noktası sıcaklık farkı ΔT_p değeri sonsuza giderse eğri düz bir çizgi halini alacaktır. Yani termik verimin güç ile değişimi 0'a yaklaşacaktır.



5. YENİLEME YÖNTEMLERİ PROGRAMLAMA ÖRNEK KODLAMA

Bu bölümde Microsoft Visual Basic ile yazmış olduğum programın kodları mevcuttur.

Tam Yenileme Yöntemi Menüsü kodlama örneği ;

Public NBT, P7, cpsu, mt, T9, T3, mptis, P1, Prc, DP1, DP2, DP3, kg, mek, cpeg, deltaTP, T1, mpcis, ka, cpgaz, cpa, müb, Hu As Double

Private Sub cmdHesapla_Click()

NBT = Val(txtNBT.Text) * 1000

H6 = Module1.HSUB(Val(txtT6.Text), Val(txtP6.Text))

lblh6.Caption = CStr(H6)

Tx = Module1.BOILP(Val(txtP6.Text))

'second part

cpsu = Val(cmbcpsu.Text)

Tf = Module1.BOILP(Val(txtP7.Text))

hx = cpsu * (Tx - 273)

hf = cpsu * (Tf - 273)

hd = Module1.HSUB(Tf, Val(txtP7.Text))

Sd = Module1.SSUB(Tf, Val(txtP7.Text))

Ss = Sd - ((hd - hf) / Tf)

s = Module1.SSUB(Val(txtT6.Text), Val(txtP6.Text))

X = (s - Ss) / (Sd - Ss)

h7i = hf + X * (hd - hf)

mt = Val(txtmt.Text)

H7 = H6 - (mt * (H6 - h7i))

mb = NBT / (H6 - H7)

lblmb.Caption = CStr(mb)

lblhf.Caption = CStr(hf)

lblTf.Caption = CStr(Tf)

lblhx.Caption = CStr(hx)

lblTx.Caption = CStr(Tx)

T9 = Val(txtT9.Text)

h9 = T9 * cpsu

T3 = Val(cmbT3.Text)

mptis = Val(txtmütis.Text)

P1 = Val(txtP1.Text)

Prc = Val(txtPrc.Text)

P2 = Prc * P1

DP1 = (Val(txtdeltaP1.Text) / 100) * P2

DP2 = (Val(txtdeltaP2.Text) / 100) * P2

DP3 = Val(txtdeltaP3.Text)

Prt = (P2 - DP1 - DP2) / (P1 + DP3)

kg = Val(cmbkg.Text)

mtis = (1 - ((1 / Prt) ^ (mptis * (1 / kg)))) / (1 - ((1 / Prt) ^ (1 / kg)))

T4 = T3 - (mtis * T3 * (1 - (1 / Prt) ^ (1 / kg)))

mek = Val(txtmüek.Text)

cpeg = Val(cmbcpeg.Text)

Tc = Tx + Val(cmbdeltaTp.Text)

mg = (mb * (H6 - hx)) / (cpeg * (T4 - Tc) * mek)

T5 = Tc - (((hx - h9) * mb) / (mg * cpeg))

lblPrt.Caption = CStr(Prt)

lblh9.Caption = CStr(h9)

lblT4.Caption = CStr(T4)

lblT5.Caption = CStr(T5)

lblmg.Caption = CStr(mg)

'third part

T1 = Val(txtT1.Text)

mpcis = Val(txtmücis.Text)

ka = Val(cmbka.Text)

mcis = ((Prc ^ (1 / ka) - 1)) / ((Prc ^ (1 / (ka * mpcis)) - 1))

T2 = T1 + ((T1 / mcis) * ((Prc ^ (1 / ka)) - 1))

cpgaz = Val(cmbcpgaz.Text)

cpa = Val(cmbcpa.Text)

Nilave = mg * ((cpgaz * (T3 - T4)) - (cpa * (T2 - T1)))

```

lblT2.Caption = CStr(T2)
lblNilave.Caption = CStr(Nilave / 1000)
'fourth part
Nnet = NBT + Nilave
lblNnet.Caption = CStr(Nnet / 1000)
'fifth part
müb = Val(cmbmüb.Text)
Qyanma = mg * cpgaz * (T3 - T2) / müb
müt = Nnet / Qyanma
mütGT = Nilave / Qyanma
lblmüter.Caption = CStr(müt)
lblmüterGT.Caption = CStr(mütGT)
'sixth part
Hu = Val(txtHu.Text)
my = (mg * cpgaz * (T3 - T2)) / (Hu * müb)
lblmy.Caption = CStr(my)
End Sub
Private Sub cmdila_Click()
dlgNilave.Show
End Sub
Private Sub cmdküt_Click()
dlgküt.Show
End Sub
Private Sub cmdnet_Click()
dlgNnet.Show
End Sub
Private Sub cmdTablo_Click()
NBT = Val(txtNBT.Text) * 1000
H6 = Module1.HSUB(Val(txtT6.Text), Val(txtP6.Text))
P6 = Val(txtP7.Text)
Tx = Module1.BOILP(Val(txtP6.Text))

```

```

P7 = Val(txtP7.Text)
'second part
cpsu = Val(cmbcpsu.Text)
Tf = Module1.BOILP(Val(txtP7.Text))
hx = cpsu * (Tx - 273)
hf = cpsu * (Tf - 273)
hd = Module1.HSUB(Tf, Val(txtP7.Text))
Sd = Module1.SSUB(Tf, Val(txtP7.Text))
Ss = Sd - ((hd - hf) / Tf)
s = Module1.SSUB(Val(txtT6.Text), Val(txtP6.Text))
X = (s - Ss) / (Sd - Ss)
h7i = hf + X * (hd - hs)
mt = Val(txtmt.Text)
H7 = H6 - (mt * (H6 - h7i))
mb = NBT / (H6 - H7)
T9 = Val(txtT9.Text)
h9 = T9 * cpsu
T3 = Val(cmbT3.Text)
mptis = Val(txtmütis.Text)
P1 = Val(txtP1.Text)
aa = 0
For Prc = 2 To 30
P2 = Prc * P1
DP1 = (Val(txtdeltaP1.Text) / 100) * P2
DP2 = (Val(txtdeltaP2.Text) / 100) * P2
DP3 = Val(txtdeltaP3.Text)
Prt = (P2 - DP1 - DP2) / (P1 + DP3)
kg = Val(cmbkg.Text)
mtis = (1 - ((1 / Prt) ^ (mptis * (1 / kg)))) / (1 - ((1 / Prt) ^ (1 / kg)))
T4 = T3 - (mtis * T3 * (1 - (1 / Prt) ^ (1 / kg)))
mek = Val(txtmüek.Text)

```


cpeg = Val(cmbcpeg.Text)

Tc = Tx + Val(cmbdeltaTp.Text)

mg = (mb * (H6 - hx)) / (cpeg * (T4 - Tc) * mek)

T5 = Tc - (((hx - h9) * mb) / (mg * cpeg))

'third part

T1 = Val(txtT1.Text)

mpcis = Val(txtmücis.Text)

ka = Val(cmbka.Text)

mcis = ((Prc ^ (1 / ka) - 1)) / ((Prc ^ (1 / (ka * mpcis)) - 1))

T2 = T1 + ((T1 / mcis) * ((Prc ^ (1 / ka)) - 1))

cpgaz = Val(cmbcpgaz.Text)

cpa = Val(cmbcpa.Text)

Nilave = mg * ((cpgaz * (T3 - T4)) - (cpa * (T2 - T1)))

'fourth part

Nnet = NBT + Nilave

'fifth part

müb = Val(cmbmüb.Text)

Qyanma = mg * cpgaz * (T3 - T2) / müb

müt = Nnet / Qyanma

mütGT = Nilave / Qyanma

'sixth part

Hu = Val(txtHu.Text)

my = (mg * cpgaz * (T3 - T2)) / (Hu * müb)

Tam Yenileme Yöntemi Veri Sonuçları Menüü kodlama

aa = aa + 1

With frmTABLO.TABLO

.Col = 0

.Row = aa

.Text = Prc

.Col = 1

```
.Text = Format(NBT / 1000, "###.##0")  
.Col = 2  
.Text = Format(Nilave / 1000, "###.##0")  
.Col = 3  
.Text = Format(Nnet / 1000, "####.##0")  
.Col = 4  
.Text = Format(müt, "###.###0")  
.Col = 5  
.Text = Format(my, "###.##0")  
.Col = 6  
.Text = Format(mütGT, "###.###0")  
.Col = 7  
.Text = Format(my2, "###,###.##0")
```

End With

Next Prc

frmTABLO.Show

End Sub

Private Sub cmdter_Click()

dlg müter.Show

End Sub

Private Sub cmdyak_Click()

dlgmy.Show

End Sub

Private Sub cmdyukle_Click()

txtNBT.Text = 400

txtP6.Text = 40

txtT6.Text = 873.17

txtP7.Text = 0.05

```
cmbcpsu.Text = 4.1868
txtmt.Text = 0.97
txtT9.Text = 250
cmbT3.Text = 1200
txtmütis.Text = 0.87
txtP1.Text = 1
txtPrç.Text = 12
txtdeltaP1.Text = 2
txtdeltaP2.Text = 3
txtdeltaP3.Text = 0.04
cmbkg.Text = 4
txtmüek.Text = 0.88
cmbcpeg.Text = 1.1
cmbdeltaTp.Text = 10
txtT1.Text = 300
txtmücis.Text = 0.85
cmbka.Text = 3.5
cmbcpgaz.Text = 1.148
cmbcpa.Text = 1.004
cmbmüb.Text = 0.98
txtHu.Text = 43000
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
With cmbcpgaz
```

```
    .AddItem "1.15"
```

```
End With
```

```
With cmbka
```

```
    .AddItem "3.5"
```

```
End With
```

```
With cmbcpsu
```

```
.AddItem "4.1868"  
End With  
With cmbT3  
    .AddItem "1200"  
End With  
With cmbcepeg  
    .AddItem "1.1"  
End With  
With cmbcpa  
    .AddItem "1.005"  
End With  
With cmbkg  
    .AddItem "4"  
End With  
With cmbmüb  
    .AddItem "0.95"  
End With  
  
End Sub  
  
Private Sub Form_Load()  
With TABLO  
    .Row = 0  
    .Col = 0  
    .Text = "Basınç oranı"  
    For d = 2 To 29  
        .Row = d - 1  
        .Col = 0  
        .Text = d  
        .ColWidth(0) = 2000  
  
        Next d  
        .Row = 0  
        .Col = 1  
        .ColWidth(1) = 3000  
        .Text = "Buhar Türbini Gücü"  
        .ColWidth(2) = 3000  
        .Col = 2
```

```

.Text = "Gaz Türbini Gücü"
.Col = 3
.ColWidth(3) = 3000
.Text = "Toplam Güç"
.Col = 4
.ColWidth(4) = 3000
.Text = " Termik Verim"
.Col = 5
.ColWidth(5) = 3000
.Text = "Yakıt Tüketimi(GT)"
.Col = 6
.ColWidth(6) = 3000
.Text = "Gaz Türbini Verimi"
.Col = 7
.ColWidth(7) = 3000
.Text = "Yakıt Tüketimi(EK)"
End With
End Sub
Private Sub TABLO_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
If Button = 2 Then
    PopupMenu mdiyenileme.mnuTABLO, 0, TABLO.Left + X, TABLO.Top + Y
End If
End Sub

```

Yenileme Yöntemleri su ve buhar özellikleri modülü örnek kodlama

Function HSUB1(T, P)

```

' *****
' * BERECHNUNG DER spez. Enthalpie Hsub1 in kJ/kg *
' * NACH IFC 67 FUER UNTERBEREICH 1 *
' * TEMPERATURBEREICH: 273.16 K < T < 623.15 K *
' * DRUCKBEREICH: SAETTIGUNGSDRUCK < P < 1000 BAR *
' * !!! ABFRAGE IM HAUPTPROGRAMM !!! *
' * Temperatur T in K *
' * Druck p in bar *
' *****

```

Dim AK(12), AG(12), AGA(11)

Tc = 647.3

Pc = 221.2

Hc = 70.1204

AK(1) = 0.8438375405

AK(2) = 0.0005362162162

AK(3) = 1.72

AK(4) = 0.07342278489

AK(5) = 0.0497585887

AK(6) = 0.65371543

AK(7) = 0.00000115

AK(8) = 0.000015108

AK(9) = 0.14188
 AK(10) = 7.002753165
 AK(11) = 0.0002995284926
 AK(12) = 0.204
 AG(1) = 7.982692717
 AG(2) = -0.02616571843
 AG(3) = 0.00152241179
 AG(4) = 0.02284279054
 AG(5) = 242.1647003
 AG(6) = 1.269716088E-10
 AG(7) = 2.074838328E-07
 AG(8) = 2.17402035E-08
 AG(9) = 1.105710498E-09
 AG(10) = 12.93441934
 AG(11) = 0.00001308119072
 AG(12) = 6.047626338E-14
 AGA(1) = 6824.687741
 AGA(2) = -542.2063673
 AGA(3) = -20966.66205
 AGA(4) = 39412.86787
 AGA(5) = -67332.77739
 AGA(6) = 99023.81028
 AGA(7) = -109391.1774
 AGA(8) = 85908.41667
 AGA(9) = -45111.68742
 AGA(10) = 14181.38926
 AGA(11) = -2017.271113

TR = T / Tc
 PR = P / Pc

$Y = 1 - AK(1) * TR * TR - AK(2) / TR ^ 6$
 $Y1 = 6 * AK(2) / TR ^ 7 - 2 * AK(1) * TR$
 $Z = Y + Sqr(AK(3) * Y * Y - 2 * AK(4) * TR + 2 * AK(5) * PR)$

H1 = AGA(1) * TR
 H2 = 0
 For I = 1 To 10
 I1 = I + 1
 H2 = H2 + (I - 2) * AGA(I1) * TR ^ (I - 1)
 Next I
 $H3 = AG(1) * (Z * (17 * (Z / 29 - Y / 12) + 5 * TR * Y1 / 12) + AK(4) * TR - (AK(3) - 1) * TR * Y * Y1) / Z ^ (5 / 17)$
 $H4 = (AG(2) - AG(4) * TR * TR + AG(5) * (9 * TR + AK(6))) * (AK(6) - TR) ^ 9 + AG(6) * (20 * TR ^ 19 + AK(7)) / (AK(7) + TR ^ 19) ^ 2 * PR$
 $H5 = (12 * TR ^ 11 + AK(8)) / (AK(8) + TR ^ 11) ^ 2 * (AG(7) * PR + AG(8) * PR * PR + AG(9) * PR ^ 3)$
 $H6 = AG(10) * TR ^ 18 * (17# * AK(9) + 19# * TR * TR) * ((AK(10) + PR) ^ (-3) + AK(11) * PR)$
 $H7 = AG(11) * AK(12) * PR ^ 3$
 $H8 = 21 * AG(12) * PR ^ 4 / TR ^ 20$

$$HR = H1 - H2 + H3 + H4 - H5 + H6 + H7 + H8$$

$$H_{SUB1} = HR * H_c$$

End Function



6. SONUÇLAR

Tam Yenileme Yöntemi, gaz türbini ve atık ısı kazanı için gerekli yatırım yenilenmiş tesisin verimi hem de tesis kapasitesindeki makul artış ile karşılaştırıldığında oldukça makul bir yenileme yöntemi olarak görülebilir. Ancak, gaz türbinlerinin gaz ve sıvı yakıt bağımlılığından dolayı katı yakıtların kullanılmasına imkan vermez. Tesis kapasitesi iki katına çıktığından enerji kaynağı da hemen hemen iki katına çıkartılmalıdır. Birçok durumda önceki düşük kömür gereksinimli besleme sisteminin yerine gaz veya sıvı yakıt besleme ünitesinin yerleştirilmesinde güçlüklerle karşılaşılabilir.

Topping Yenileme Yönteminde olduğu gibi Paralel Yenileme Yöntemi de gaz türbini çalıştırmak için az miktarda doğal gaz kaynağı ile beraber kömür veya linyitin sürekli kullanımına imkan verir. Ayrıca Topping Yenileme için gereken süreye göre gerekli olan zaman çok daha kısadır. Bu da tesisin daha az bir sürede yenilenmesine imkan tanır. Her durumda mevcut kömür-yakmalı enerji santralinin verim değerinin oldukça üzerinde bir verim elde edilebilir. Buna ilaveten kısmi-yük performans karakteristiği çok daha iyidir ve yarı yükten tam yüke oldukça geniş bir çalışma aralığında verim hemen hemen sabit değerler alır.

Yenileme Yöntemlerinin üç ana şekli mevcut buhar türbin santrallerinin verim değerlerini yükseltirler. Bu sayede; sınırlı kömür, petrol ve gaz kaynaklarını korumanın yanında kirletici emisyonları azaltarak çevre üzerindeki etkiyi azaltırlar. Kömürün doğalgaz ile tam veya kısmi yer değiştirmesi CO₂ atımını azaltır. Mevcut santrallerde düşük yatırım maliyetleri ile elde edilebilecek yüksek verim ve kapasite değerleri birçok durumda daha büyük işletme ekonomisini mümkün kılar.

KAYNAKLAR

Bauer G. and Joyce J. (1996) "Benefits of Paralel Repowering Existing Steam Turbines with Gas Turbines" Power-Gen Europe'96 Conferences, 30 April 1996 Montreal, 27 April 1996 Budapest.

Harry G. Stoll, Raub W. Smith, Leroy O. Tomlinson, (1994) "Performance and Economic Considerations of Repowering Steam Power Plants" GE Power Systems, Schenectady, NY

Daledda, K. et al., (1994) "Repowering of Steam Power Plants with Gas Turbines in the United States"; Power-Gen Europe, Cologne, May 17-19, 1994 (Vol. 8, pp. 201-212)

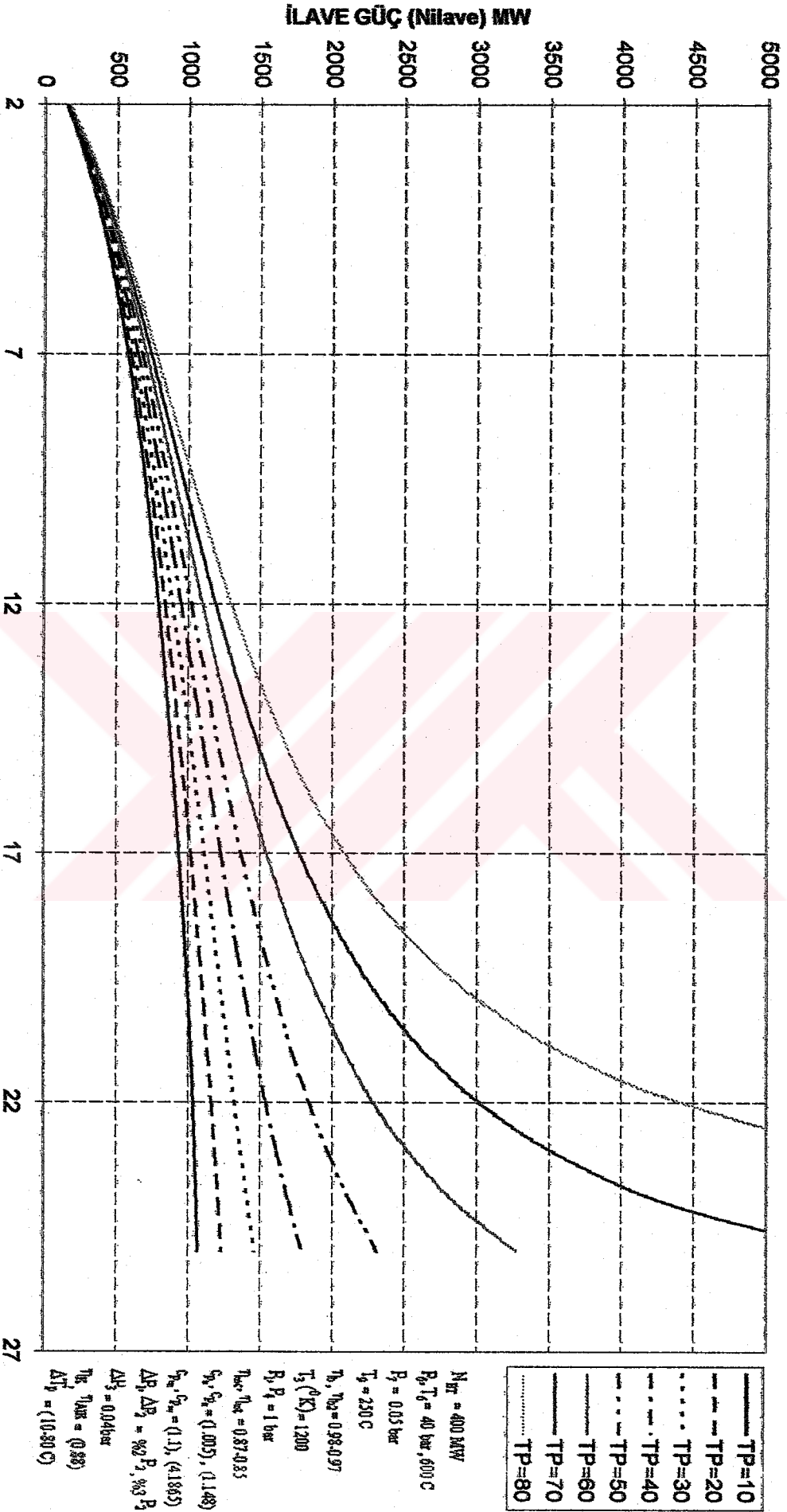
Brueckner, H., Finckh, H. H. and Veenema, J. J.,(1987) "Topping of Groningen Steam Turbine Plant with a Gas Turbine"; ASME Paper 87-GT-38 presented at 32nd International Gas Turbine Conference, Anaheim, CA, May 31 - June 4, 1987

Bauer; G. and Finckh, H. H.,(1992) "Comparative Example of Topping Versus Parallel Repowering of a 600 MW-Class Steam Turbine Plant"; 9th CEPSI, Hong Kong, Nov. 23-27, 1992 (Vol. 2, pp. 222-230)

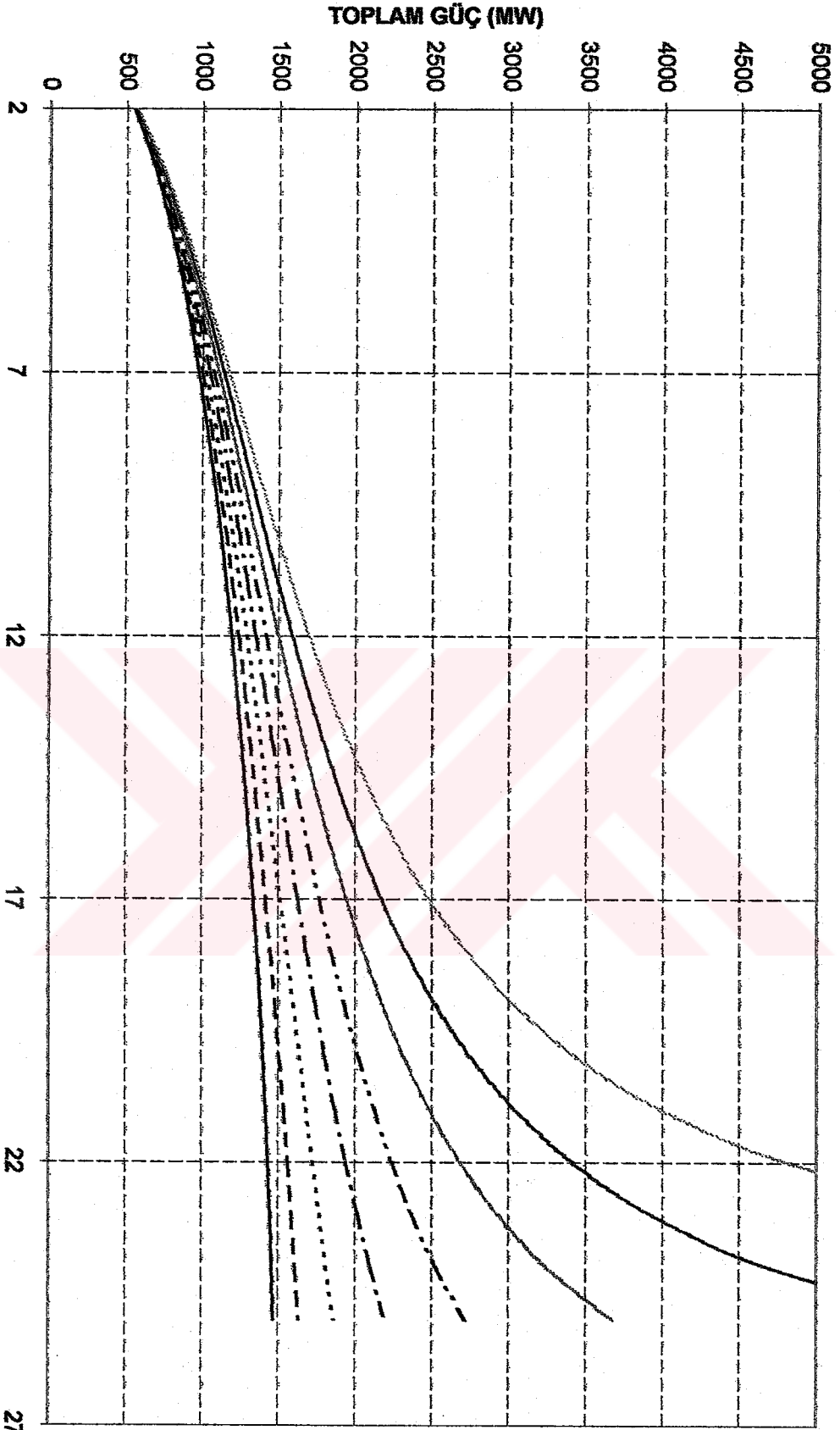
Finckh, H. H. and Joyce, J. S., (1993) "How to Improve the Operating Economy and Environmental Compatibility of Existing Steam Power Plants"; Power-Gen Europe, Paris, May 25-27, 1993 (Vol. 9, pp. 23-38)



İLAVE GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

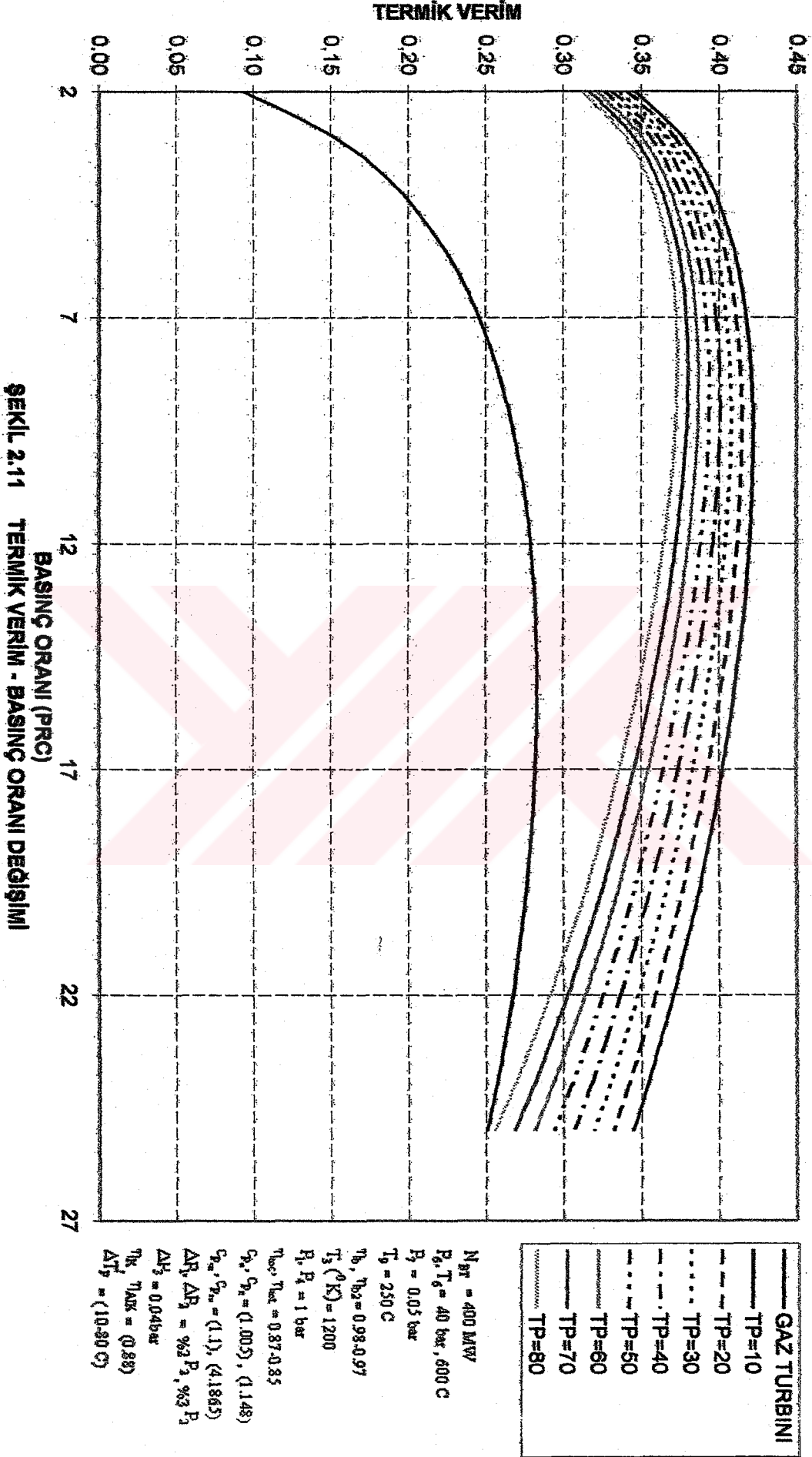


ŞEKİL 2.10 TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

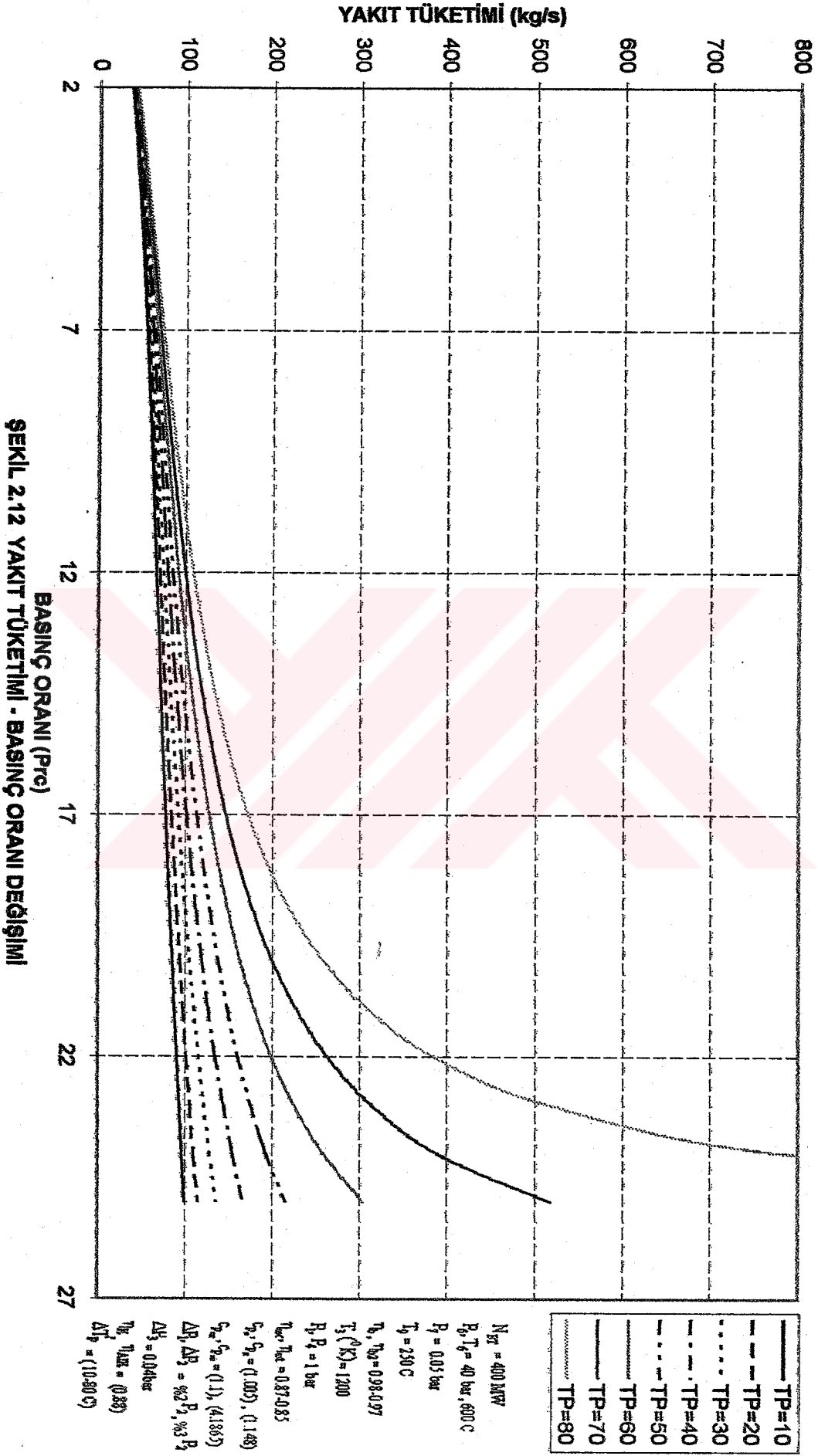
————	TP=10
- - - -	TP=20
.....	TP=30
.....	TP=40
.....	TP=50
.....	TP=60
.....	TP=70
.....	TP=80

$N_{ET} = 400 \text{ MW}$
 $P_0, T_0 = 40 \text{ bar}, 600 \text{ C}$
 $P_2 = 0.05 \text{ bar}$
 $T_2 = 250 \text{ C}$
 $T_3, T_{3a} = 0.98-0.97$
 $T_3 \text{ (K)} = 1200$
 $P_3, P_4 = 1 \text{ bar}$
 $\eta_{acc} = 0.87-0.85$
 $\eta_{a1}, \eta_{a2} = (1.005), (1.148)$
 $\eta_{a3}, \eta_{a4} = (1.1), (1.185)$
 $\Delta P_3, \Delta P_4 = \%2.5, \%3.5$
 $\Delta h_3 = 0.04 \text{ bar}$
 $\eta_{k1}, \eta_{k2} = (0.88)$
 $\Delta T_2 = (10.50 \text{ C})$

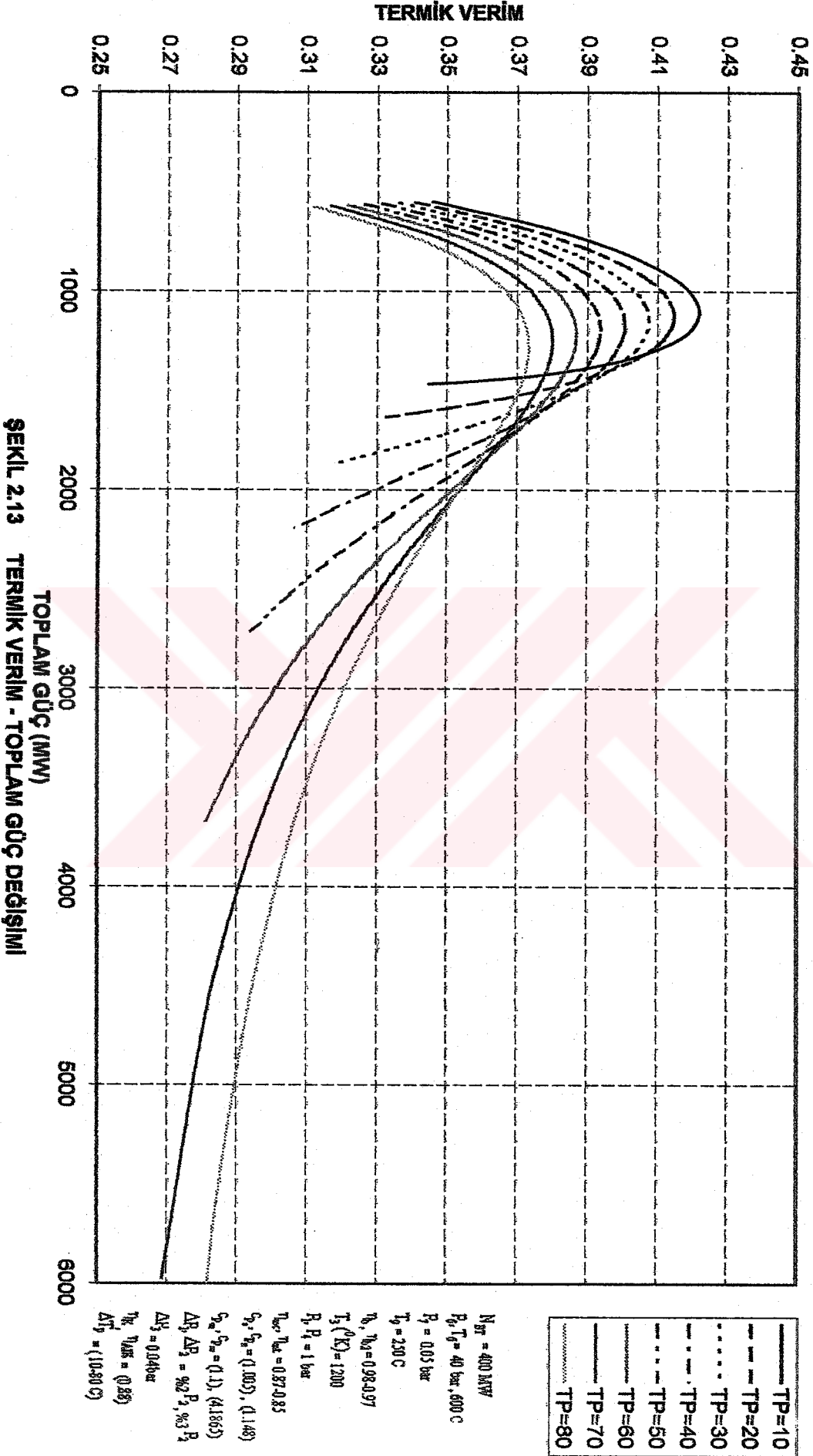
TERMİK VERİM - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



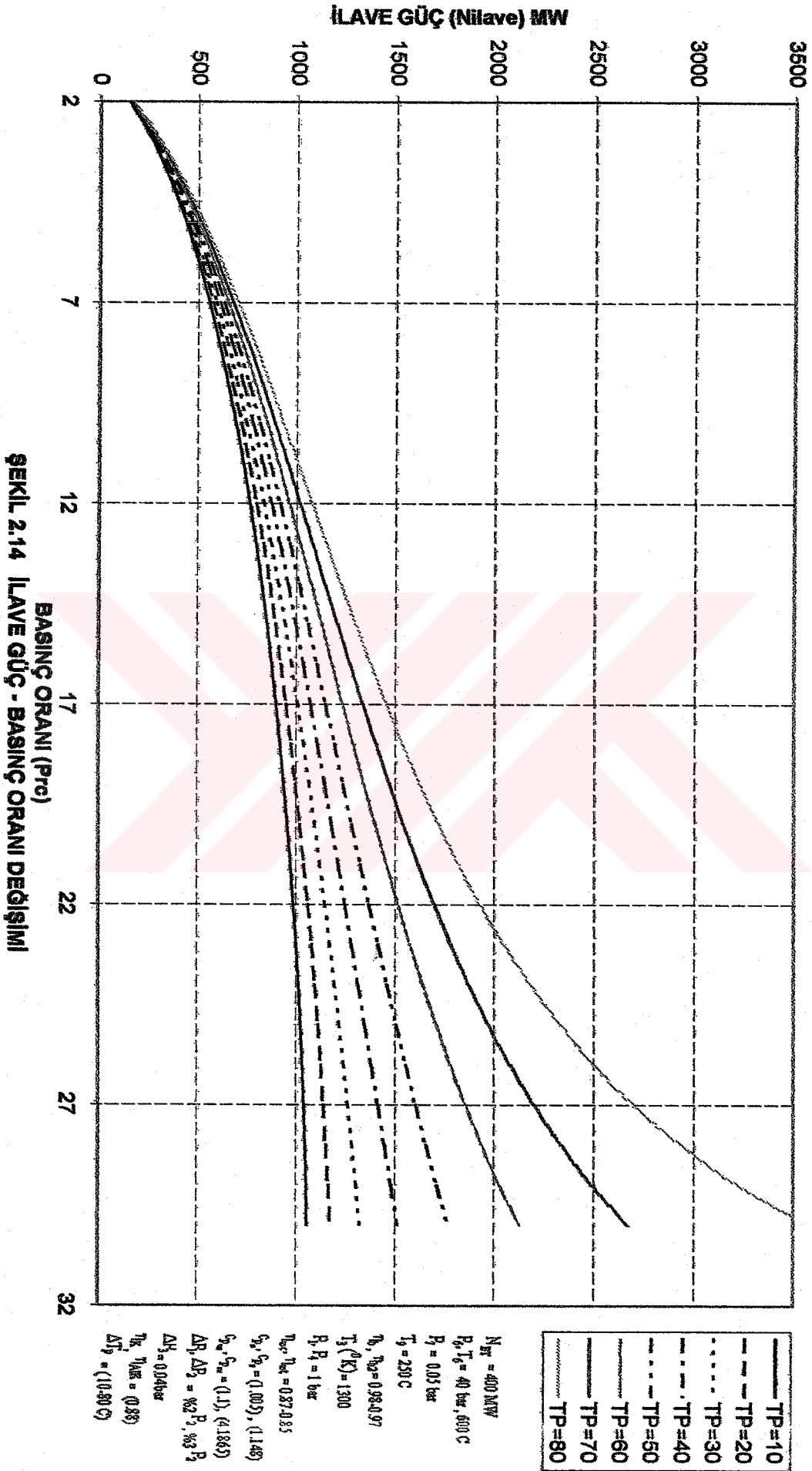
YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



TERMİK VERİM - TOPLAM GÜÇ DEĞİŞİMİ

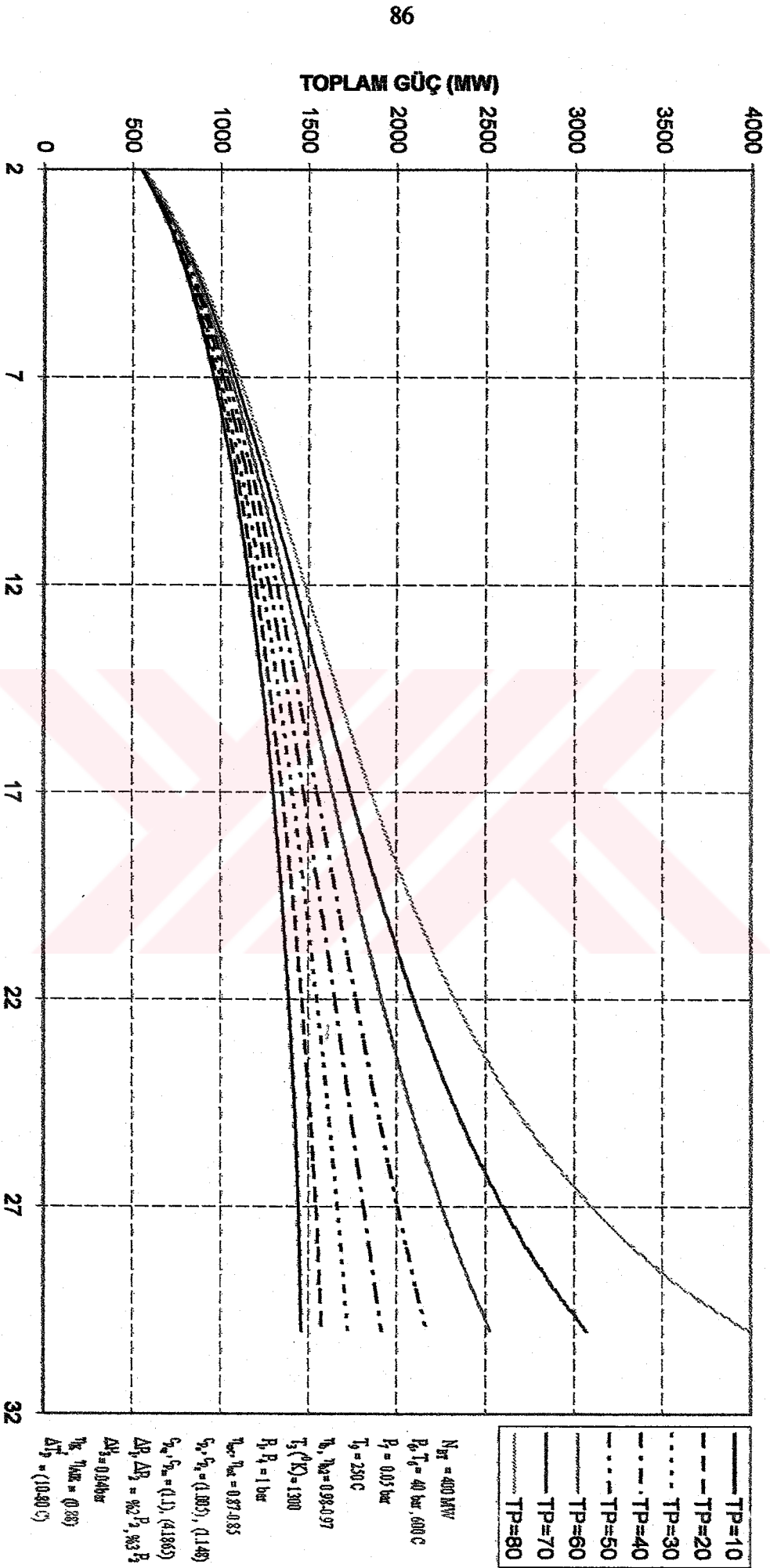


İLAVE GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

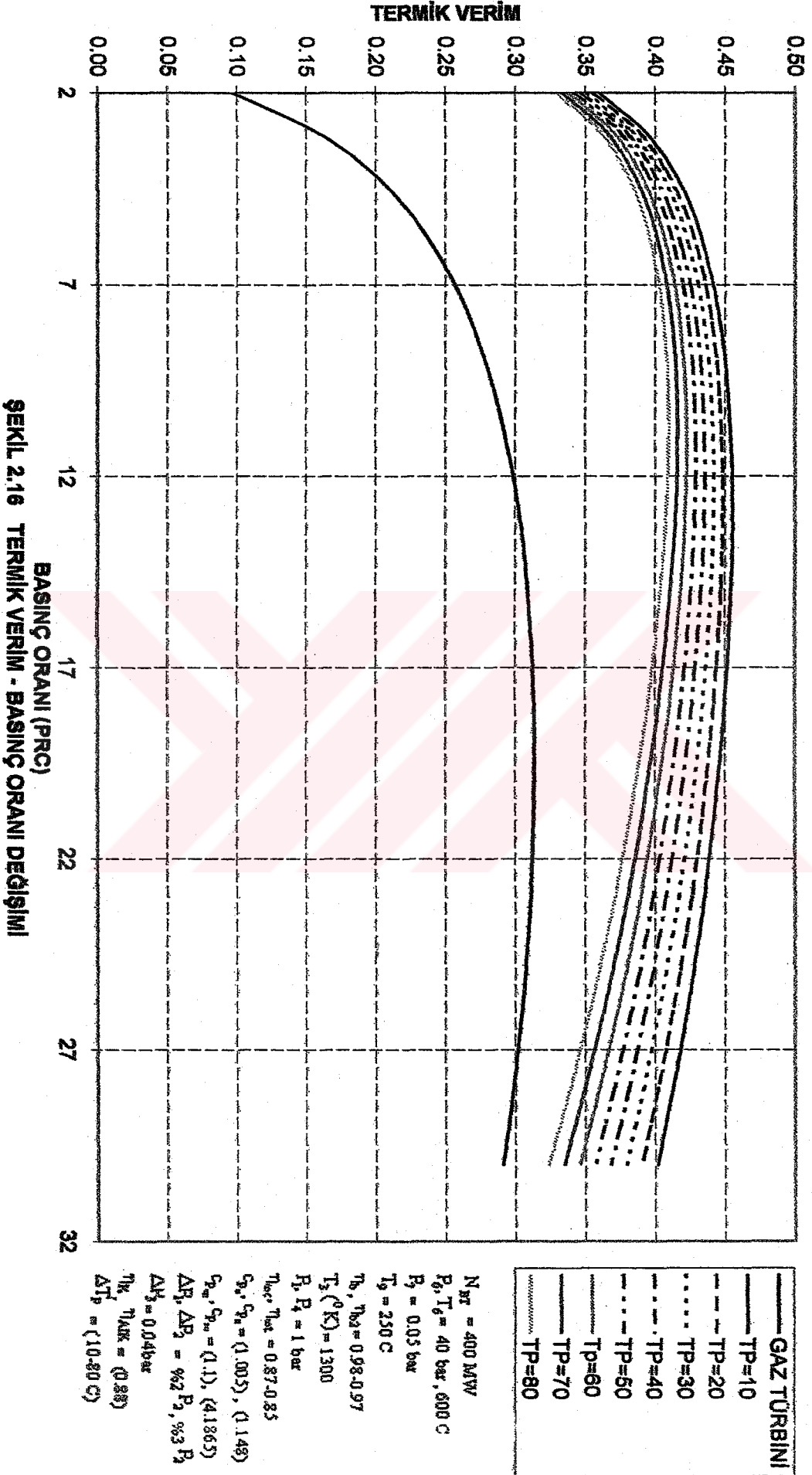


TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

ŞEKİL 2.18 TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

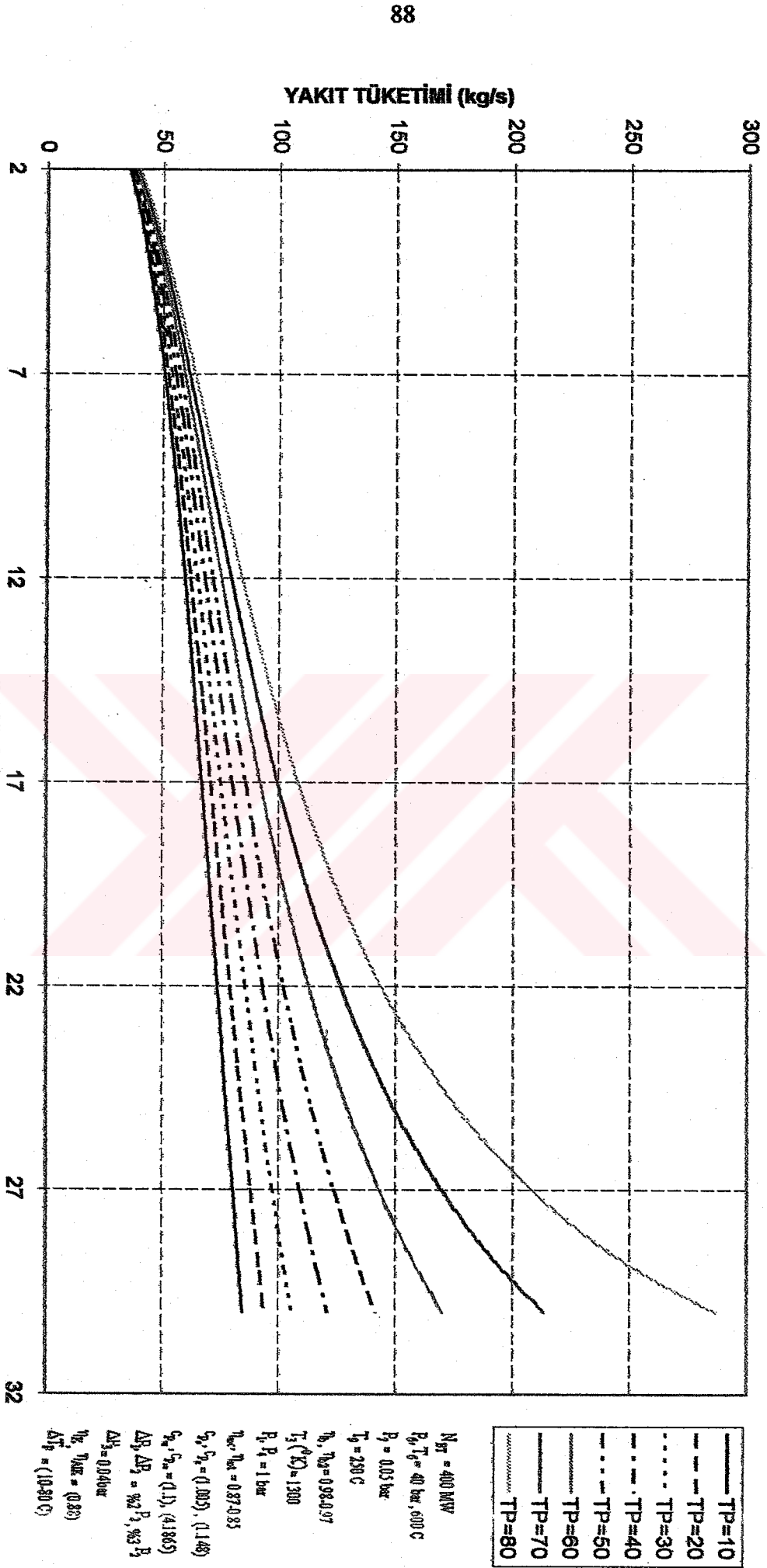


TERMİK VERİM - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

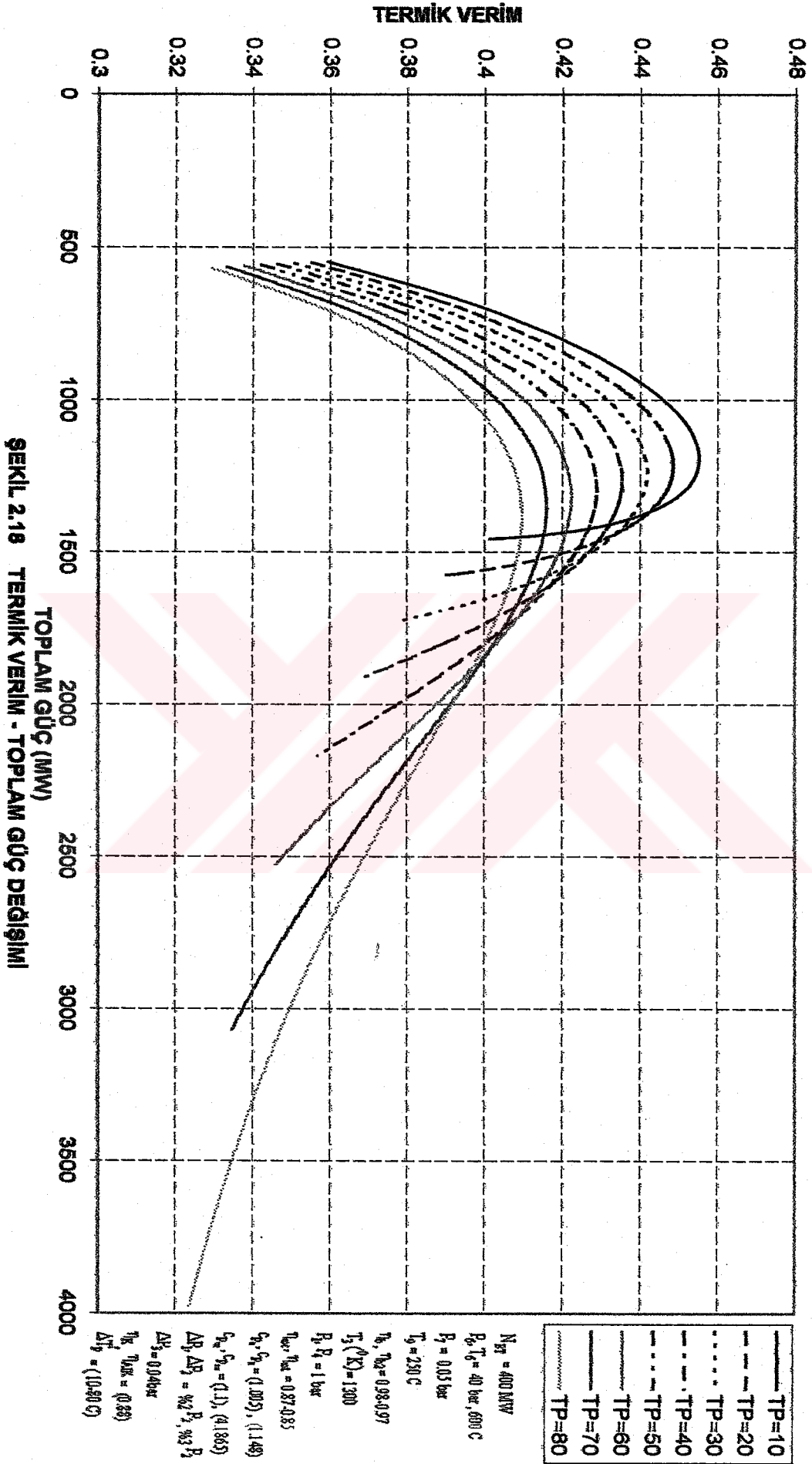


YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

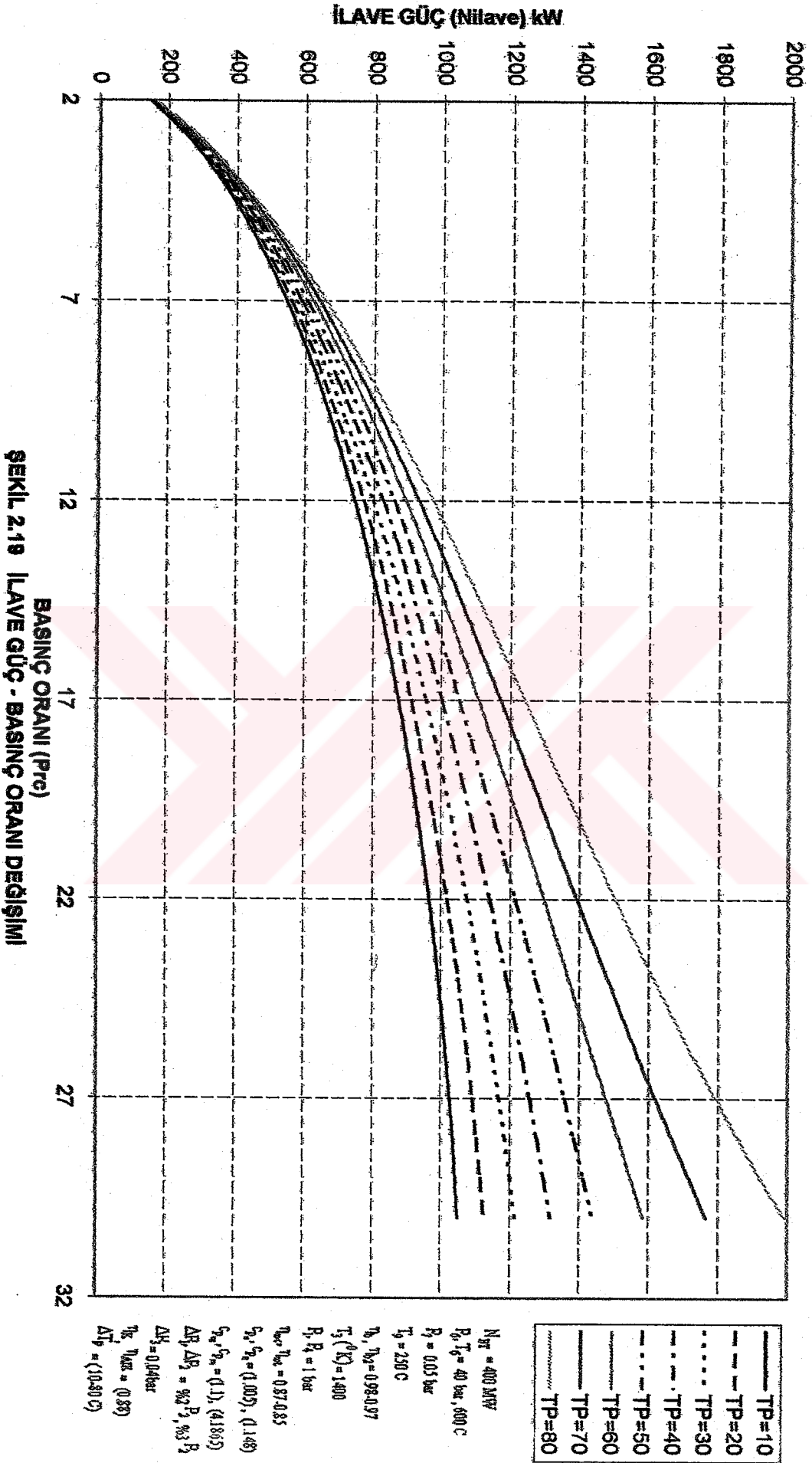
ŞEKİL 2.17 YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



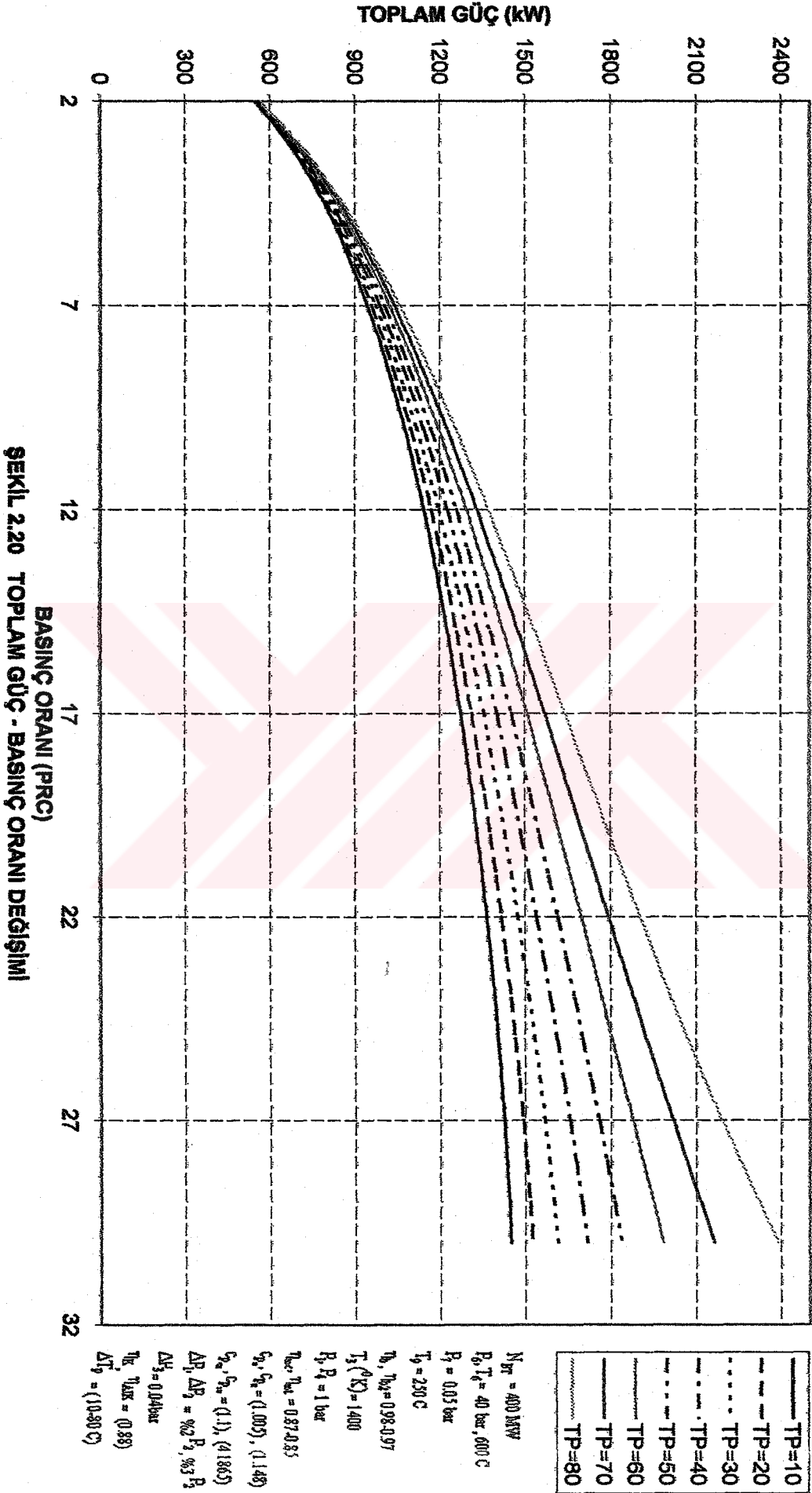
TERMİK VERİM - TOPLAM GÜÇ DEĞİŞİMİ



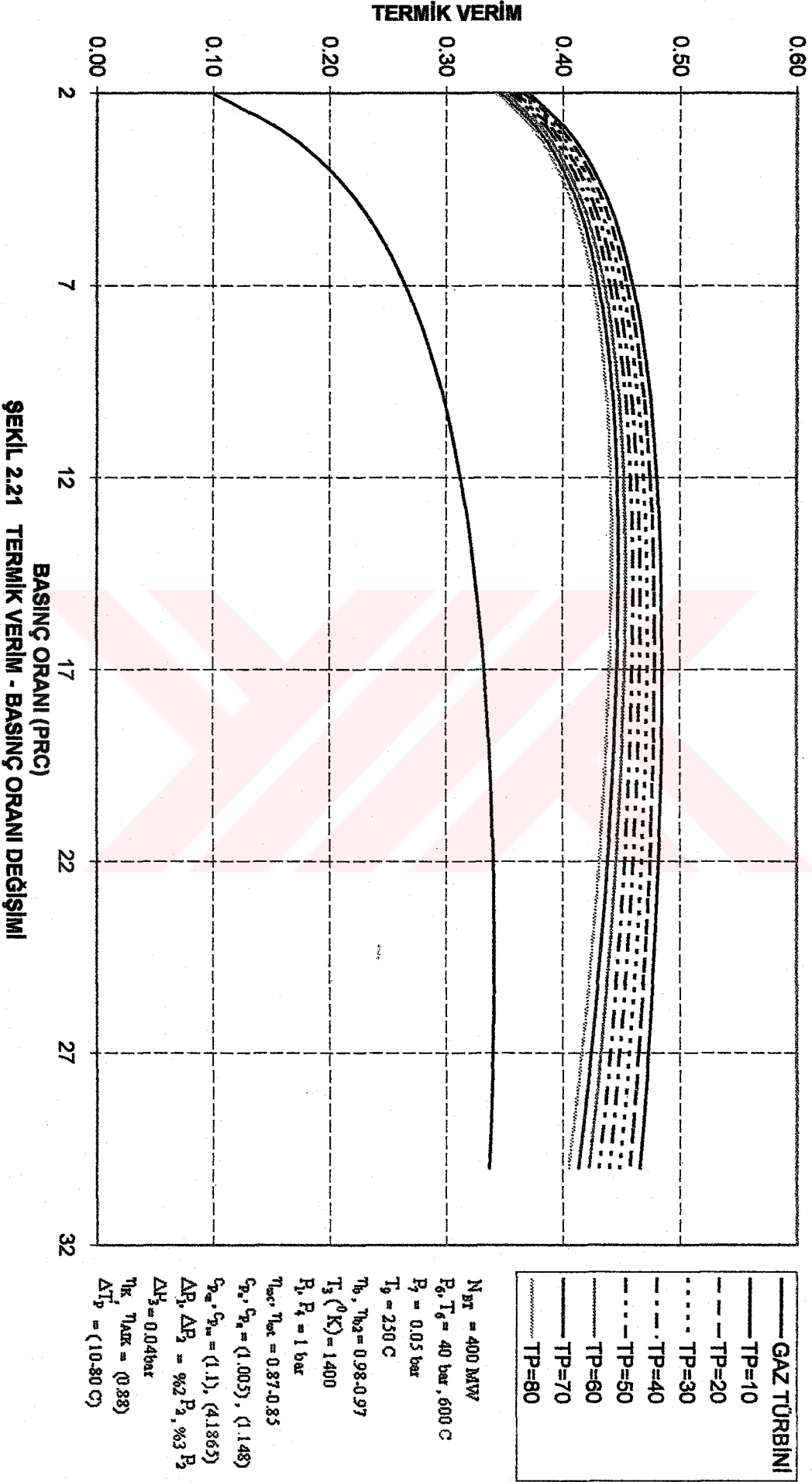
İLAVE GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



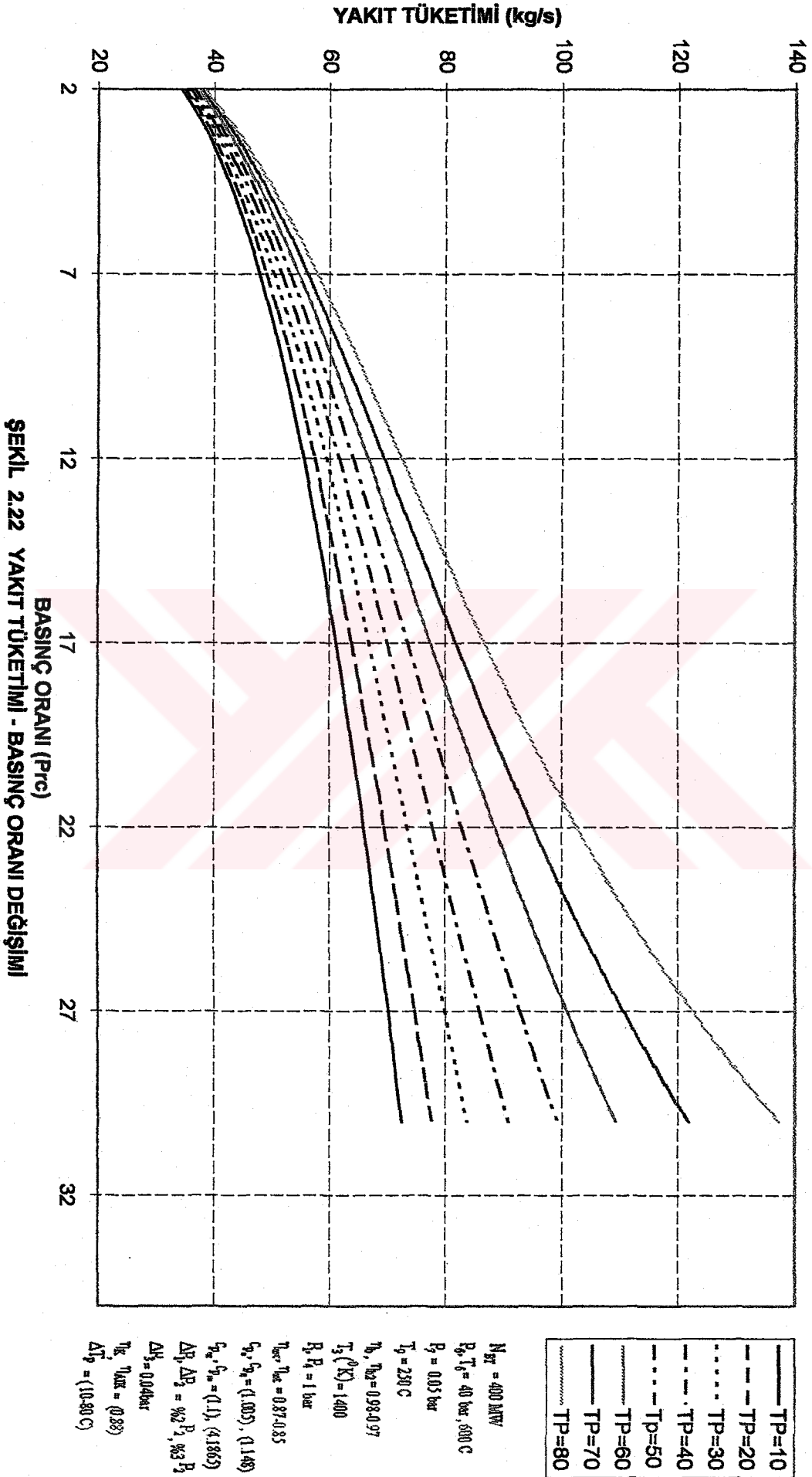
TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



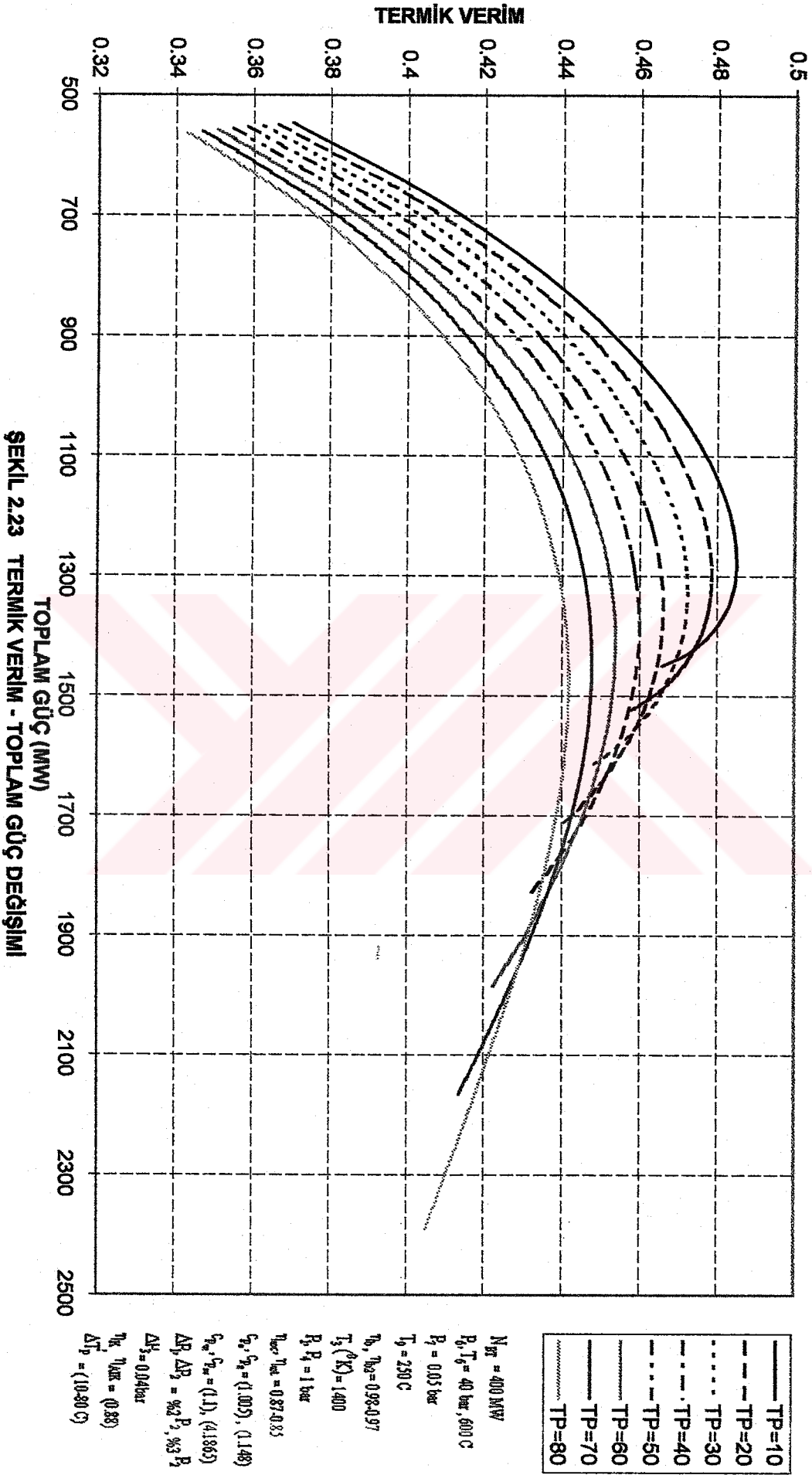
TERMİK VERİM - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



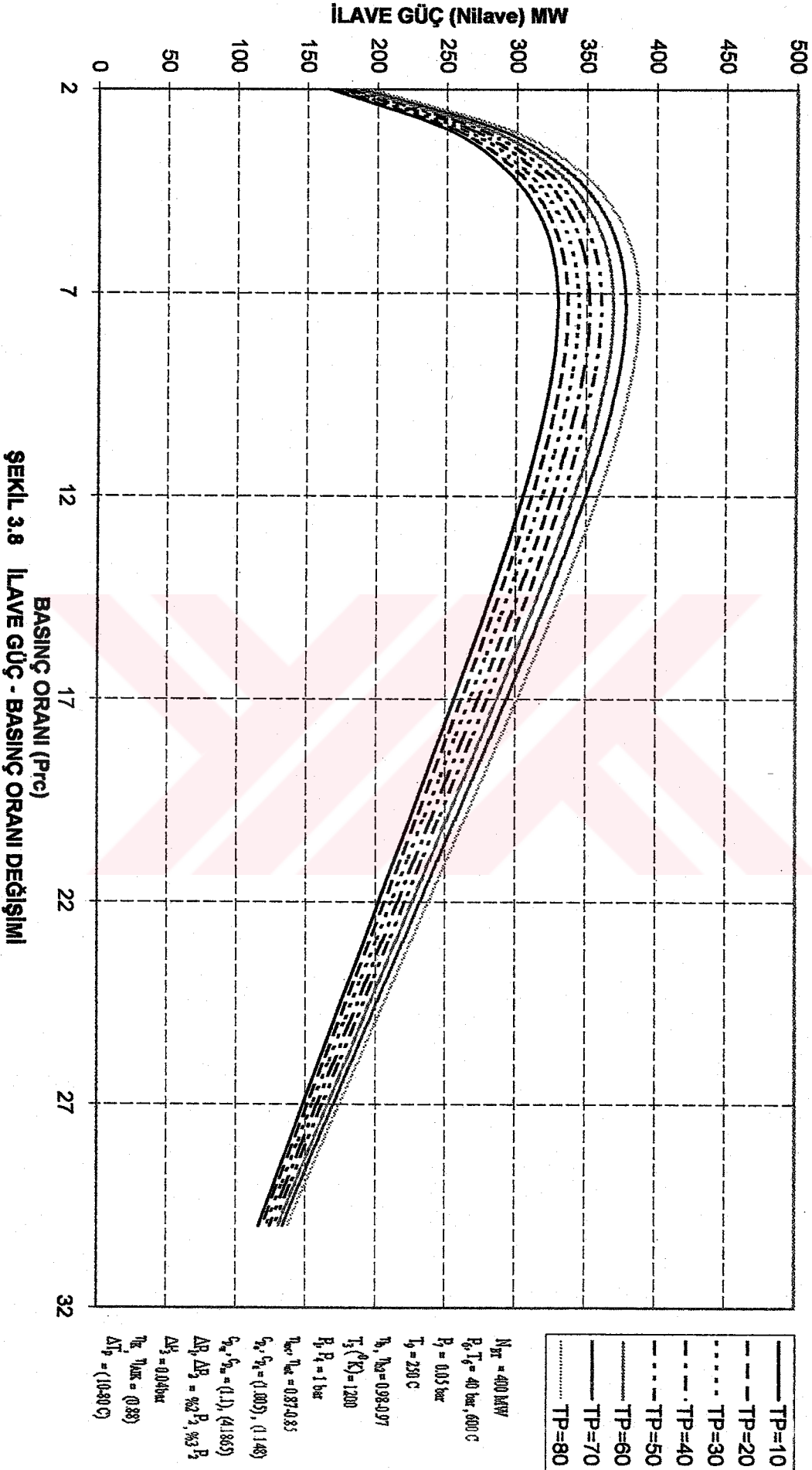
YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



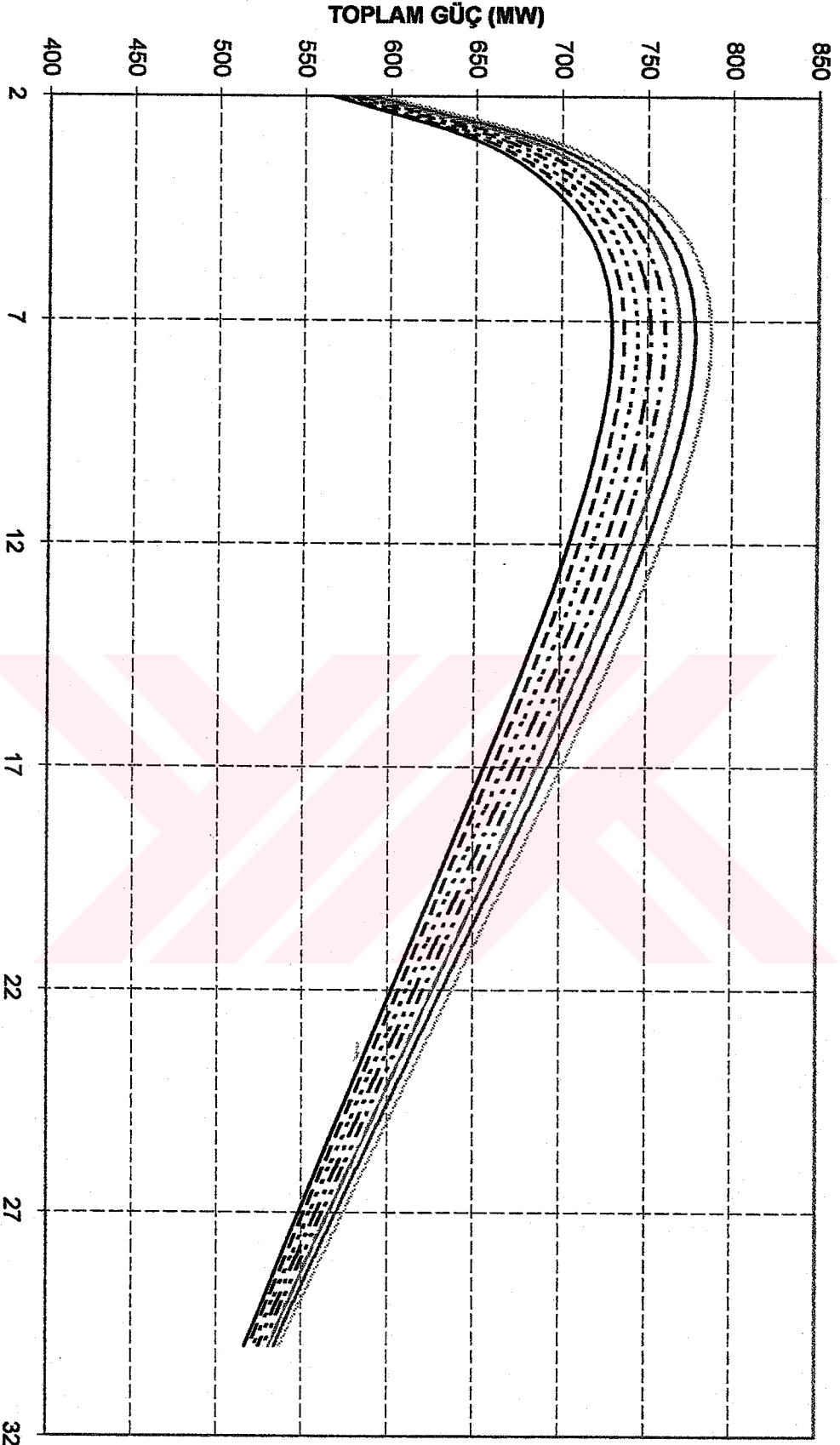
TERMİK VERİM - TOPLAM GÜÇ DEĞİŞİMİ



İLAVE GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

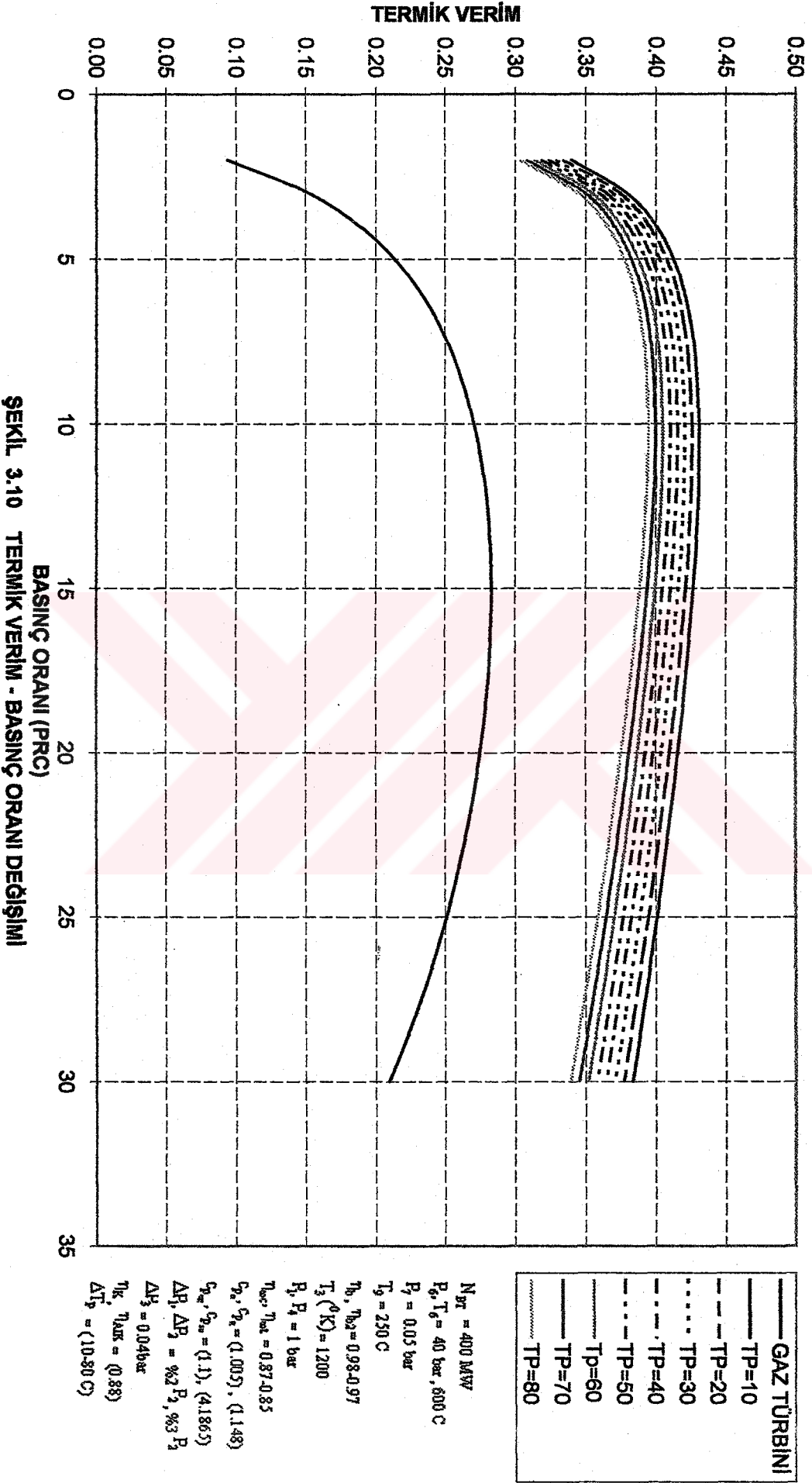


- TP=10
- - TP=20
- · · · TP=30
- · - · TP=40
- - - TP=50
- · · · TP=60
- TP=70
- · · · TP=80

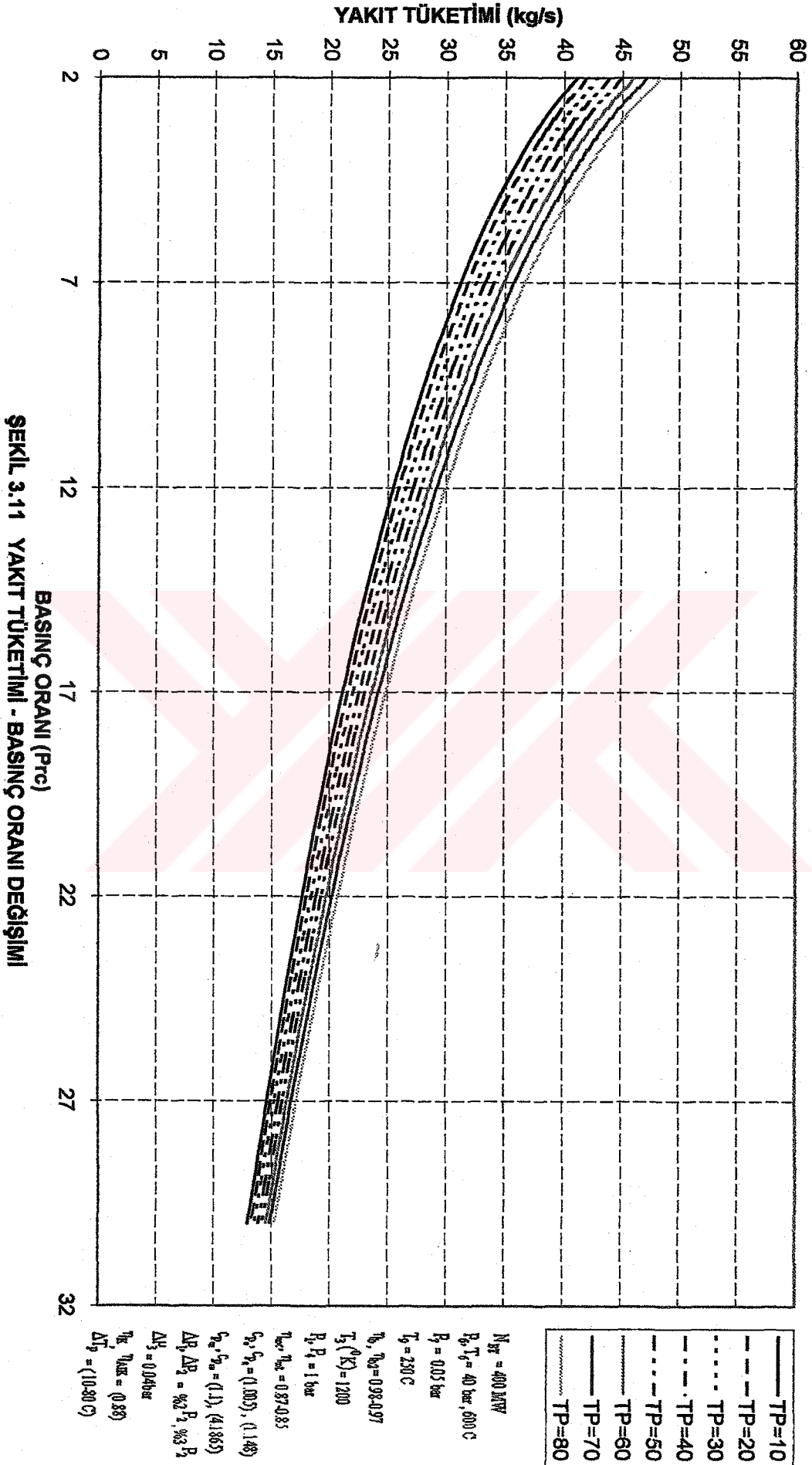
$N_{gr} = 400 \text{ MW}$
 $P_0, T_0 = 40 \text{ bar}, 600 \text{ C}$
 $P_1 = 0.05 \text{ bar}$
 $T_0 = 250 \text{ C}$
 $\eta_b, \eta_m = 0.98-0.97$
 $T_2 (K) = 1200$
 $P_2, P_3 = 1 \text{ bar}$
 $\eta_{bc}, \eta_{cc} = 0.87-0.85$
 $\zeta_a, \zeta_b = (1.005), (1.149)$
 $\zeta_a, \zeta_b = (1.1), (4.1865)$
 $\Delta P_1, \Delta P_2 = \% P_1, \% P_2$
 $\Delta P_3 = 0.04 \text{ bar}$
 $\eta_{bc}, \eta_{cc} = (0.88)$
 $\Delta T_p = (10-80 \text{ C})$

ŞEKİL 3.9 TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

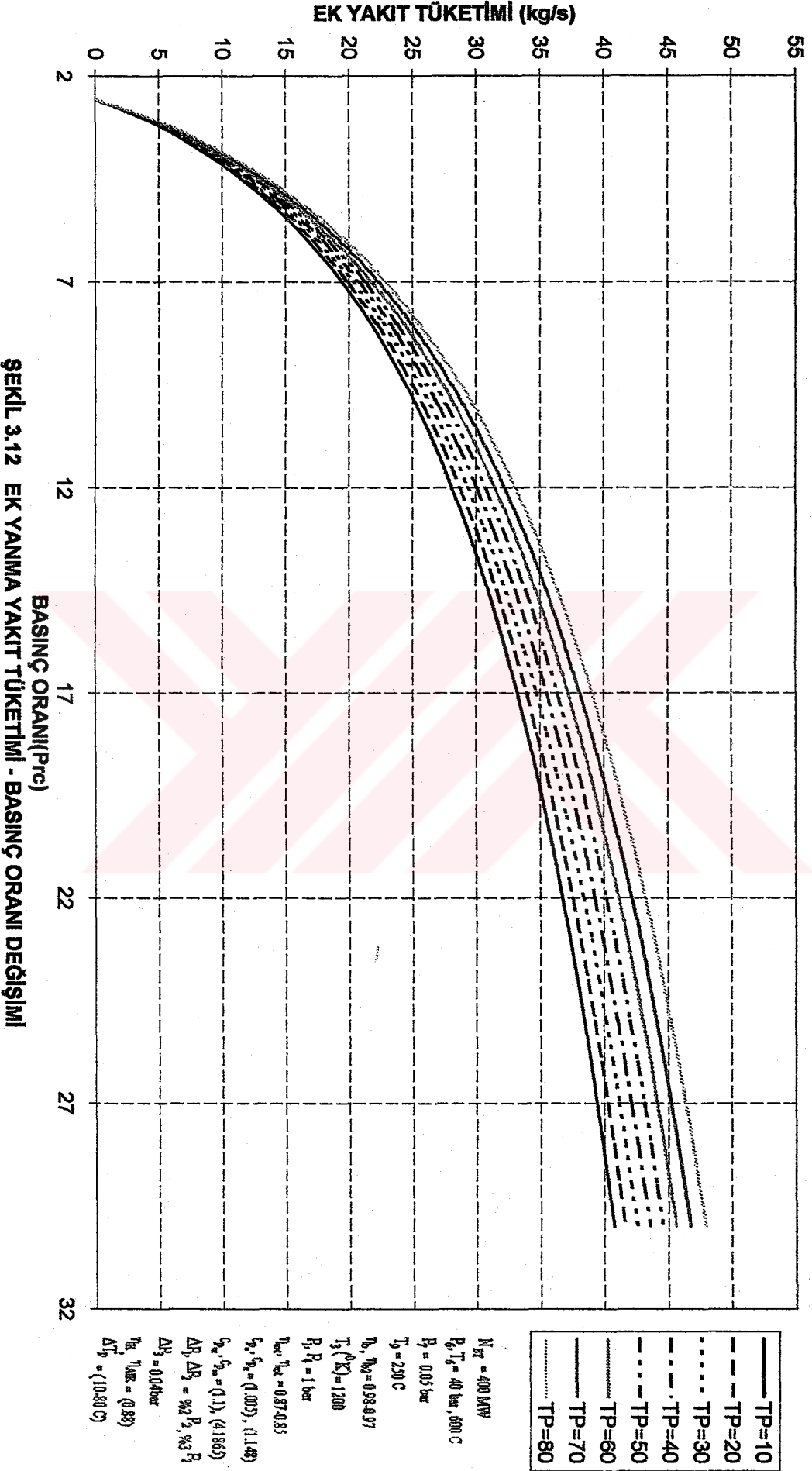
TERMİK VERİM - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



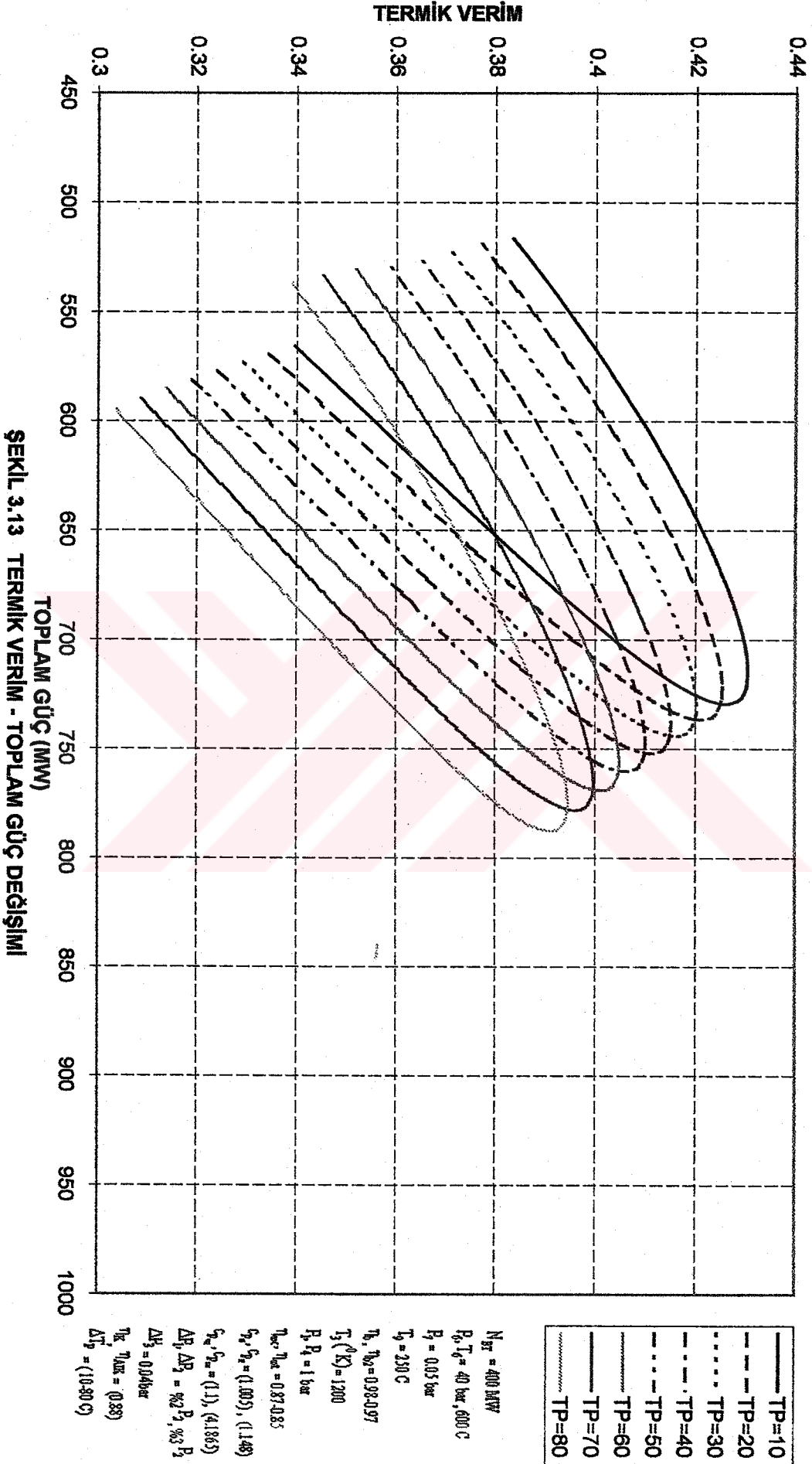
YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



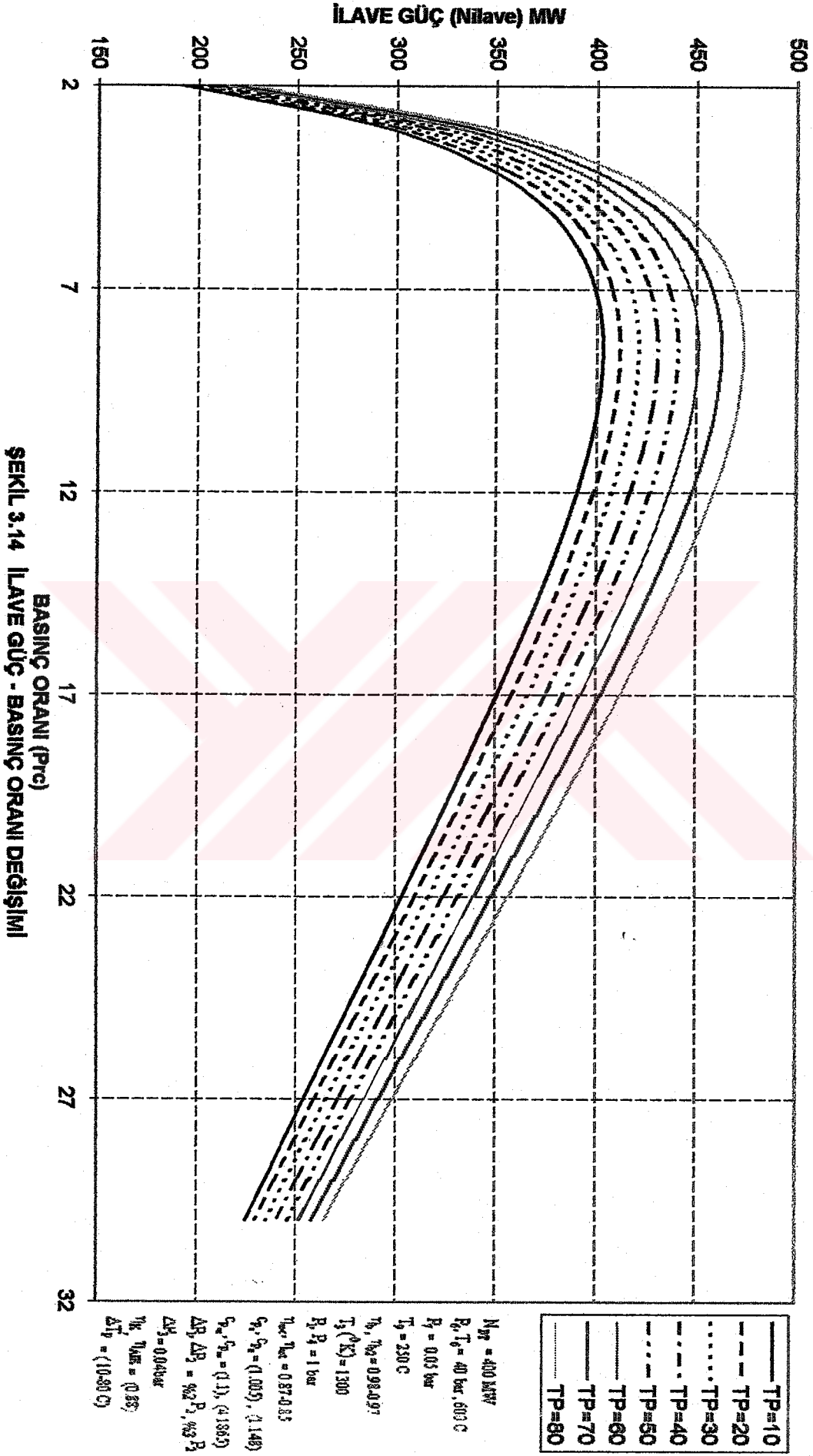
EK YANMA YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



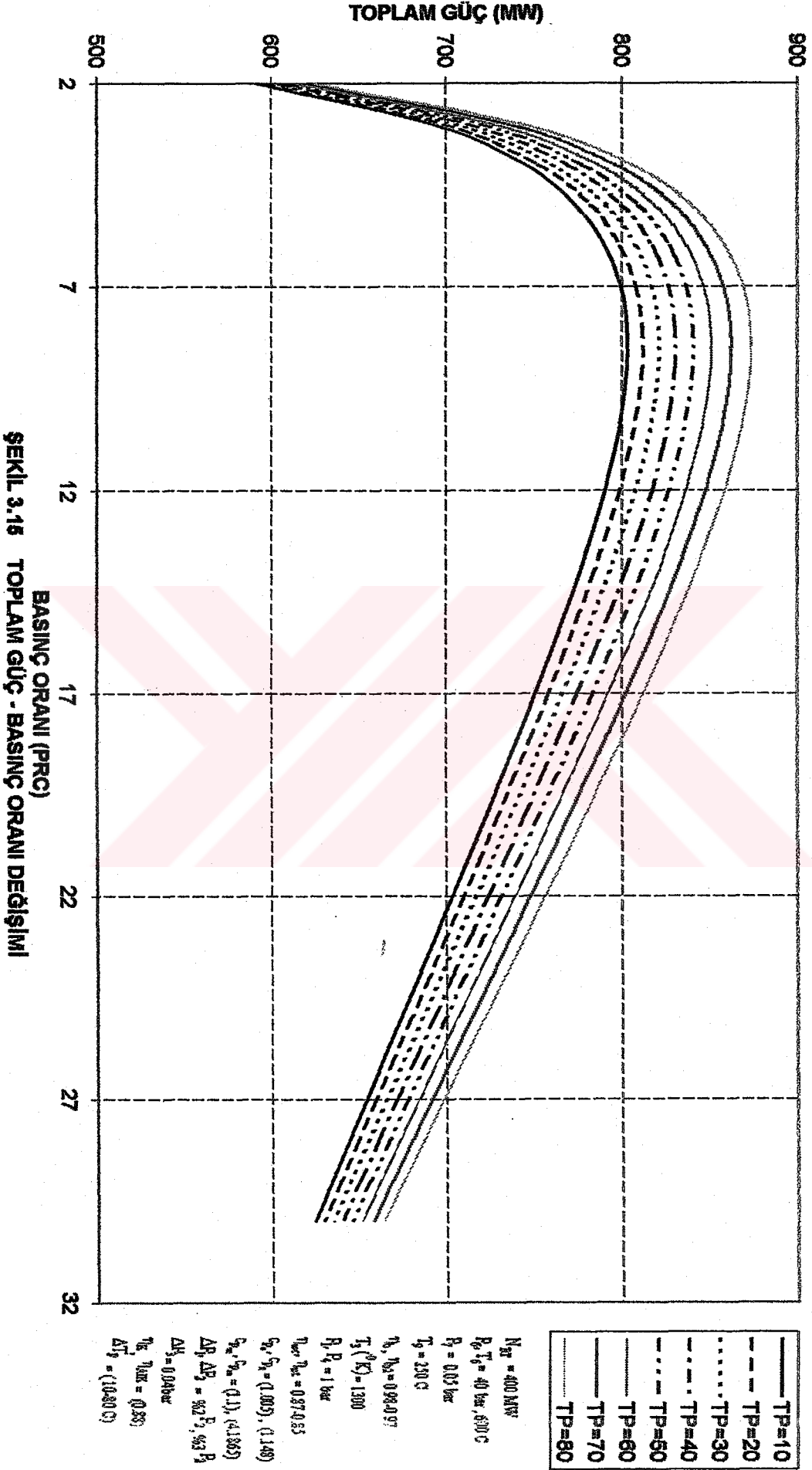
TERMİK VERİM - TOPLAM GÜÇ DEĞİŞİMİ



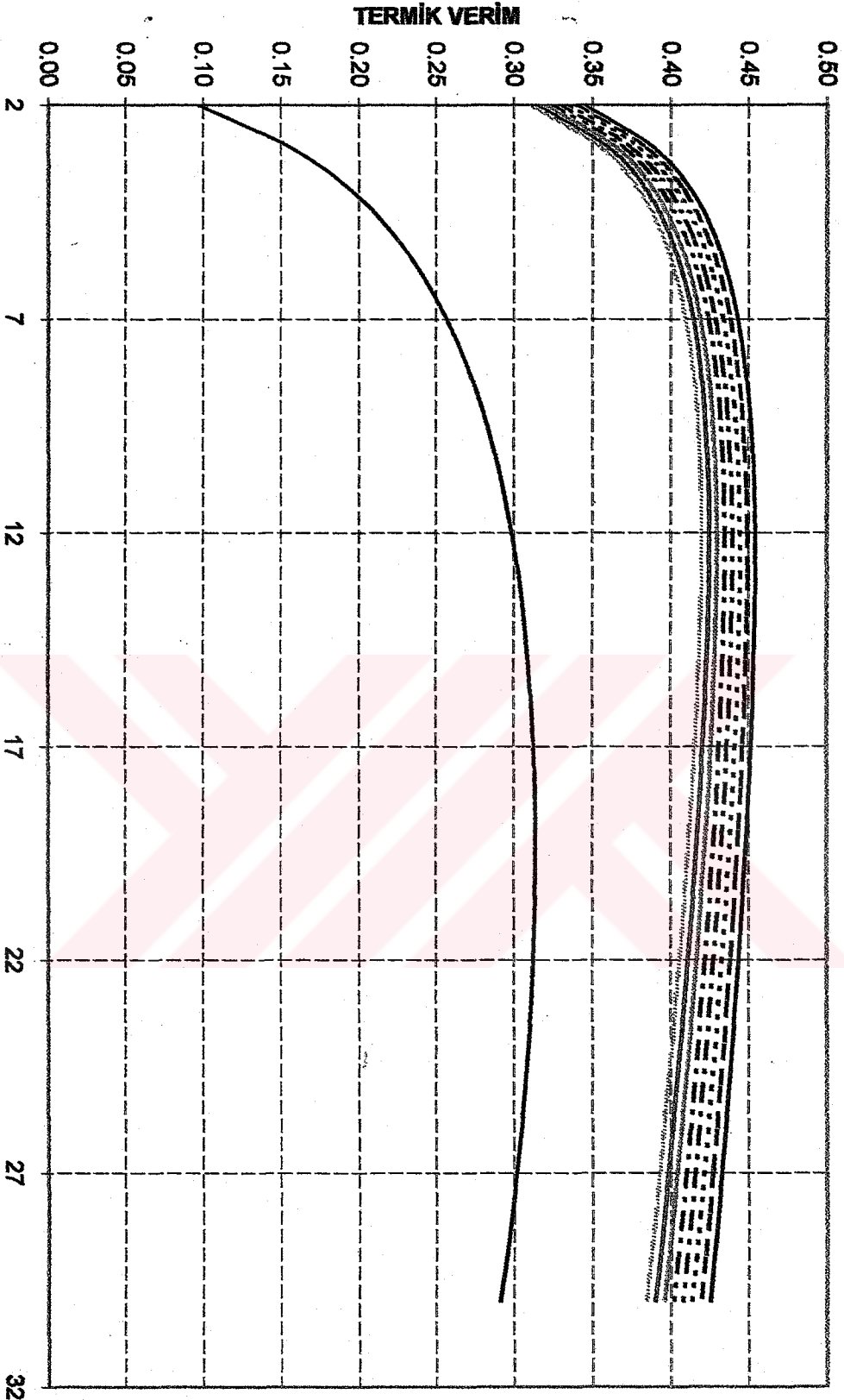
İLAVE GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



TERMİK VERİM - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

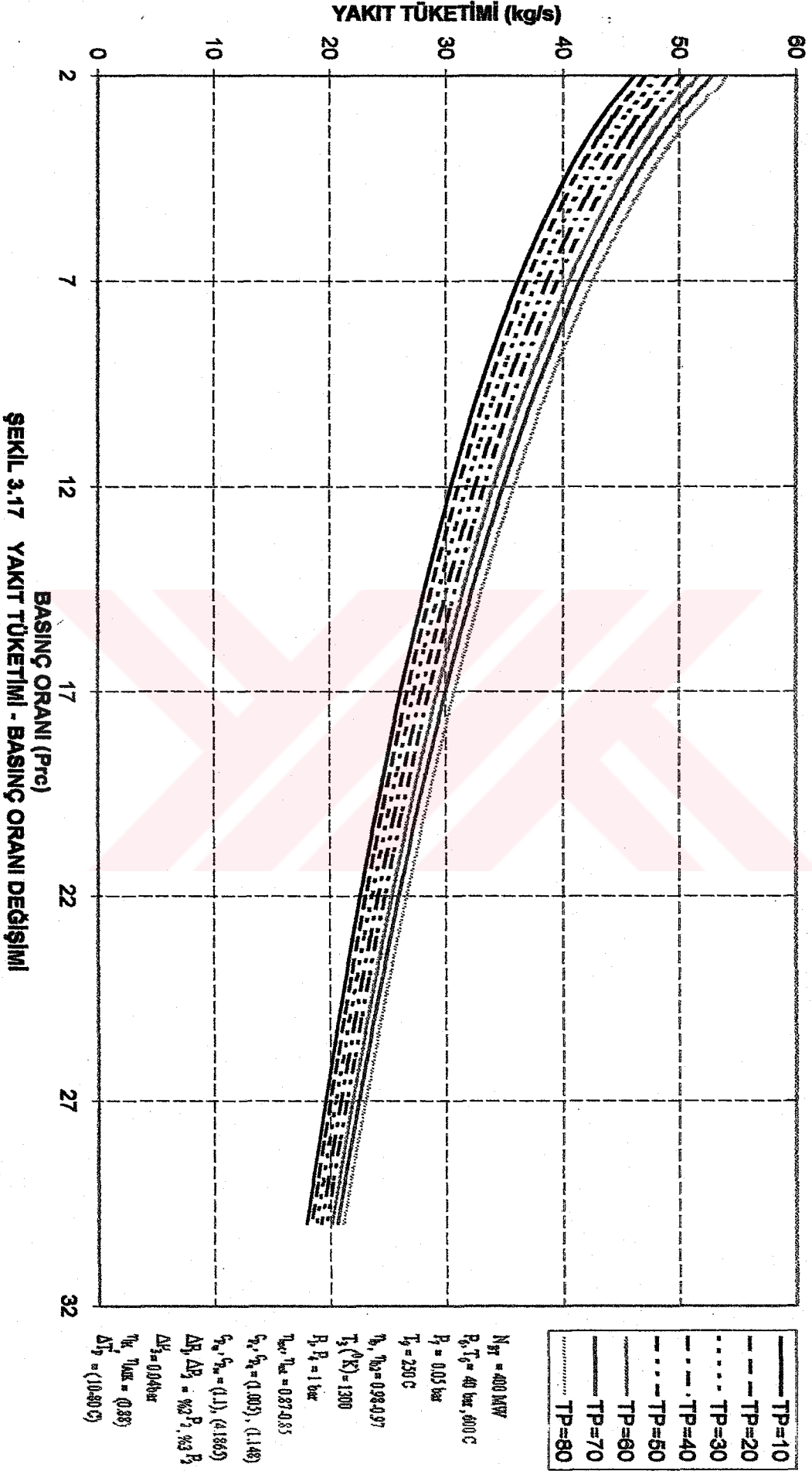


ŞEKİL 3.16 TERMİK VERİM - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

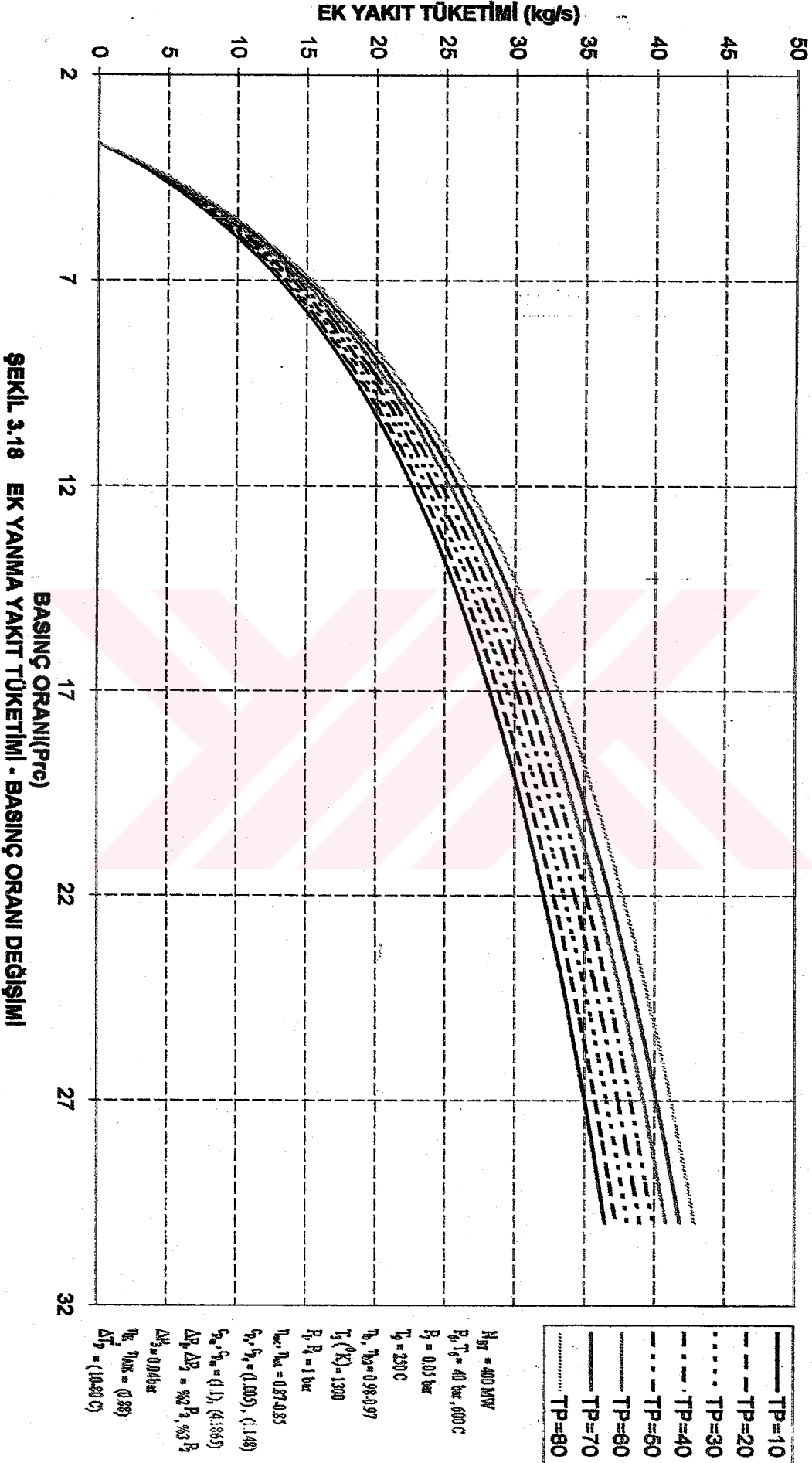
GAZ TÜRBİNİ	
—————	TP=10
-----	TP=20
.....	TP=30
.....	TP=40
.....	TP=50
.....	TP=60
.....	TP=70
.....	TP=80

$N_{gr} = 400 \text{ MW}$
 $P_0, T_0 = 40 \text{ bar}, 600 \text{ C}$
 $P_2 = 0.03 \text{ bar}$
 $T_3 = 250 \text{ C}$
 $\eta_b, \eta_{s2} = 0.98-0.97$
 $T_3 \text{ (}^\circ\text{K)} = 1300$
 $P_1, P_4 = 1 \text{ bar}$
 $\eta_{s1}, \eta_{s4} = 0.87-0.85$
 $\eta_{s1}, \eta_{s4} = (1.005), (1.148)$
 $\eta_{s1}, \eta_{s4} = (1.1), (4.1865)$
 $\Delta P_1, \Delta P_2 = \%2 P_1, \%3 P_2$
 $\Delta h_3 = 0.04 \text{ bar}$
 $\eta_{k1}, \eta_{k4} = (0.88)$
 $\Delta T_1 = (10-80 \text{ C})$

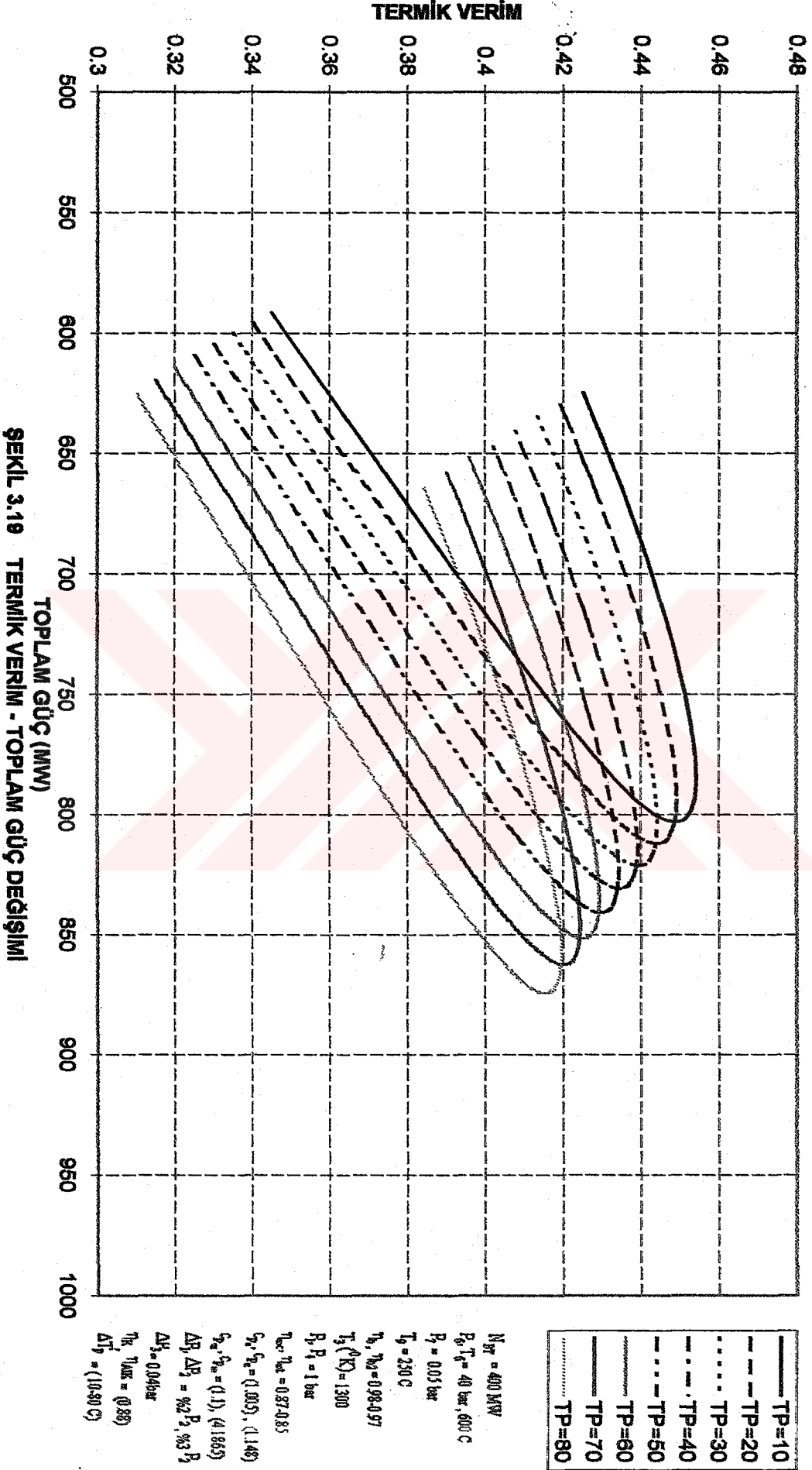
YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



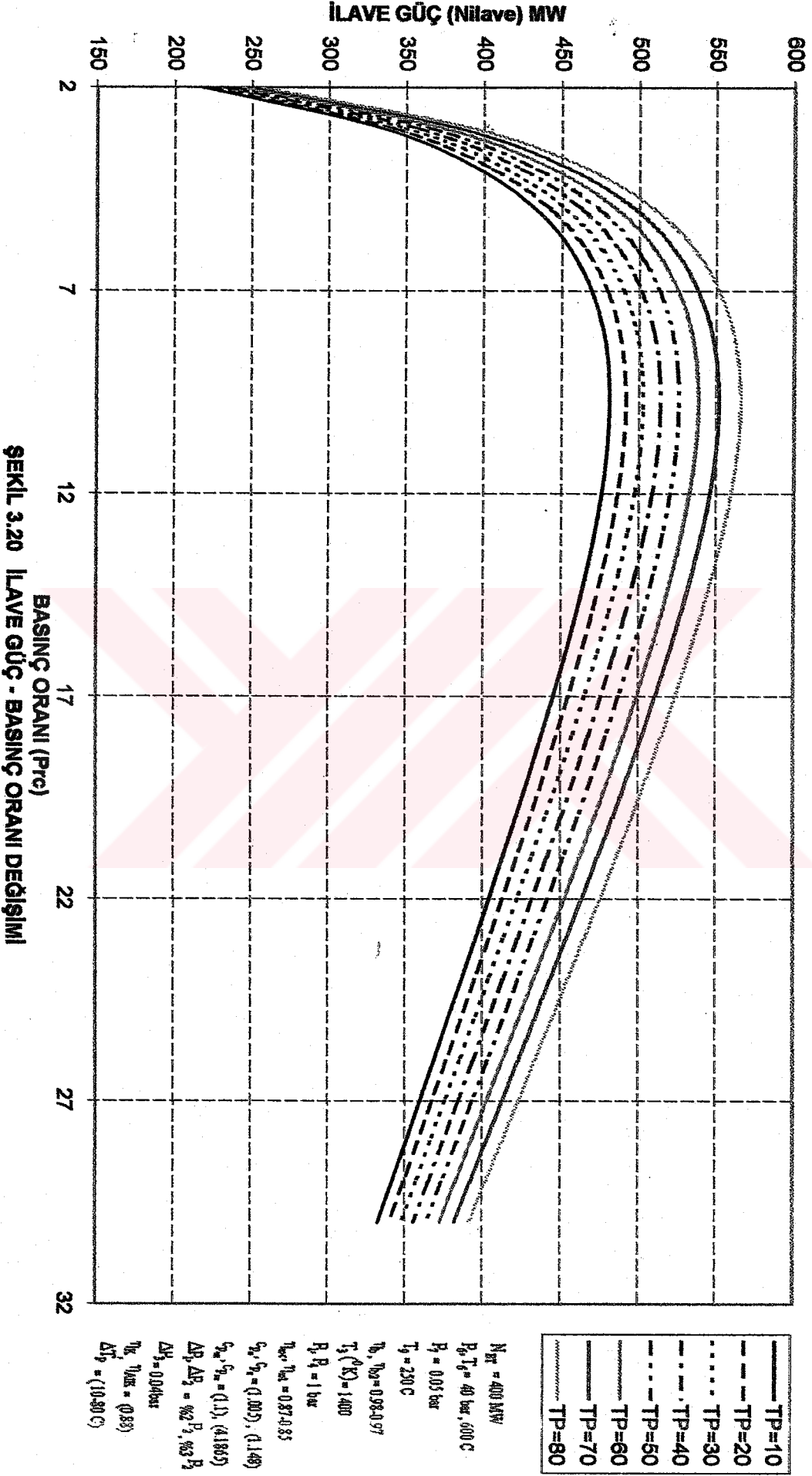
EK YANMA YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



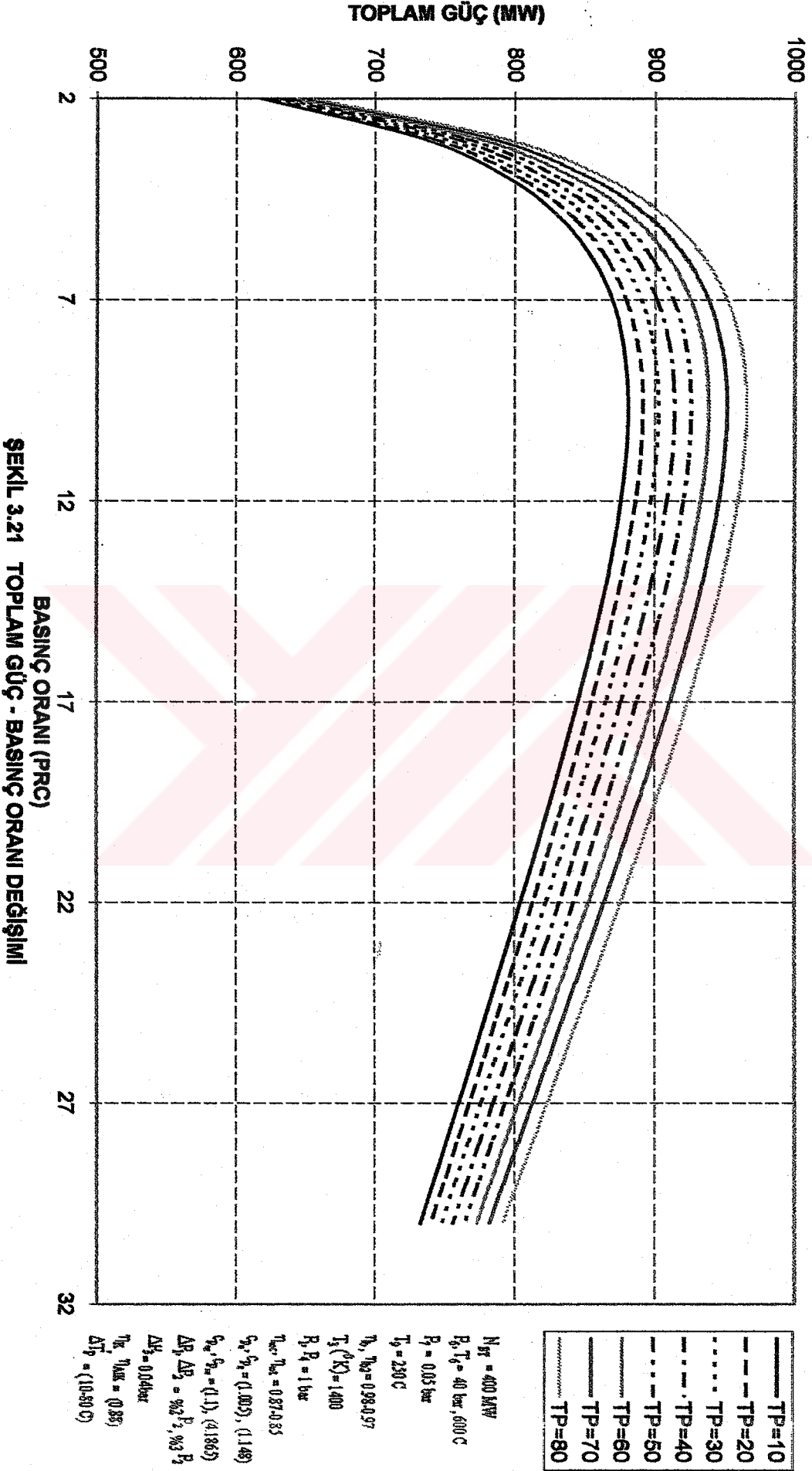
TERMİK VERİM - TOPLAM GÜÇ DEĞİŞİMİ



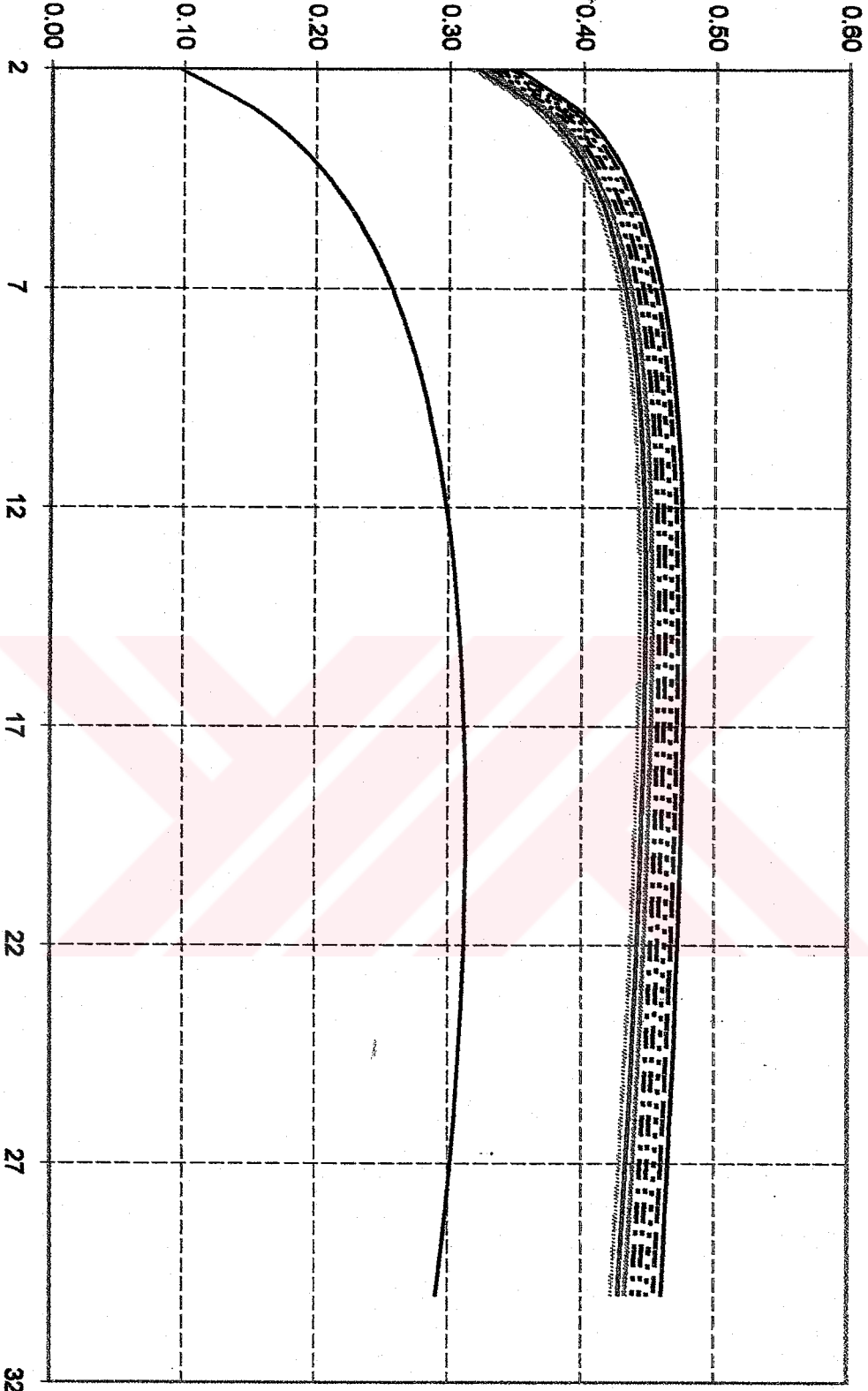
İLAVE GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



TERMİK VERİM



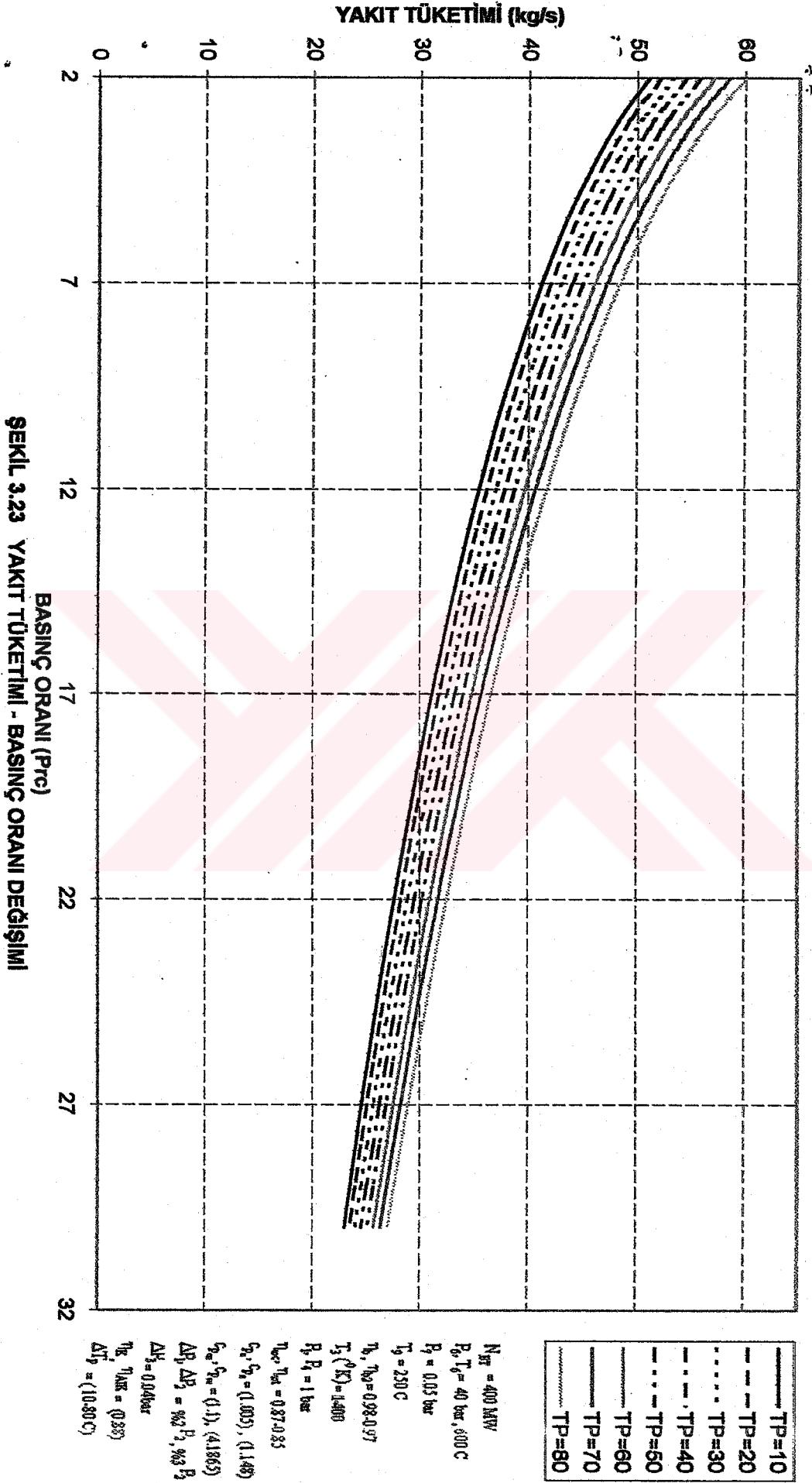
TERMİK VERİM - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

ŞEKLİ 3.22 TERMİK VERİM - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

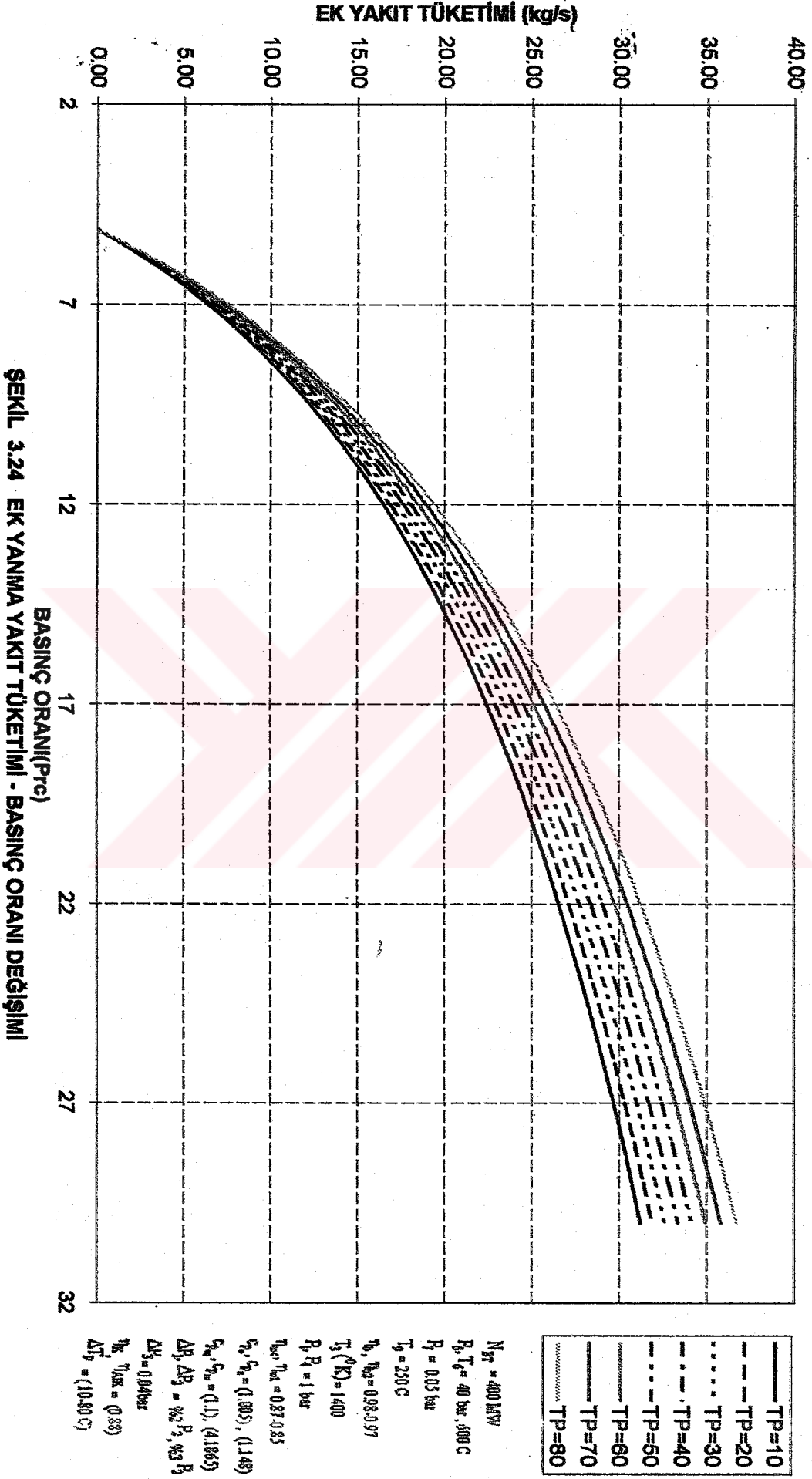
GAZ TÜRBİNİ	
—	TP=10
- - -	TP=20
.....	TP=30
.....	TP=40
.....	TP=60
.....	TP=60
.....	TP=70
.....	TP=80

$N_{GT} = 400 \text{ MW}$
 $P_0, T_0 = 40 \text{ bar, } 600 \text{ C}$
 $P_2 = 0.05 \text{ bar}$
 $T_0 = 250 \text{ C}$
 $T_0, T_{02} = 0.98-0.97$
 $T_3 \text{ (°K)} = 1400$
 $P_1, P_4 = 1 \text{ bar}$
 $T_{02}, T_{03} = 0.87-0.85$
 $\eta_{p1}, \eta_{p2} = (1.005), (1.148)$
 $\eta_{p3}, \eta_{p4} = (1.1), (4.1865)$
 $\Delta P_1, \Delta P_2 = \%2 P_1, \%3 P_2$
 $\Delta h_3 = 0.04 \text{ bar}$
 $T_{K1}, T_{K2} = (0.88)$
 $\Delta T_p = (10-30 \text{ C})$

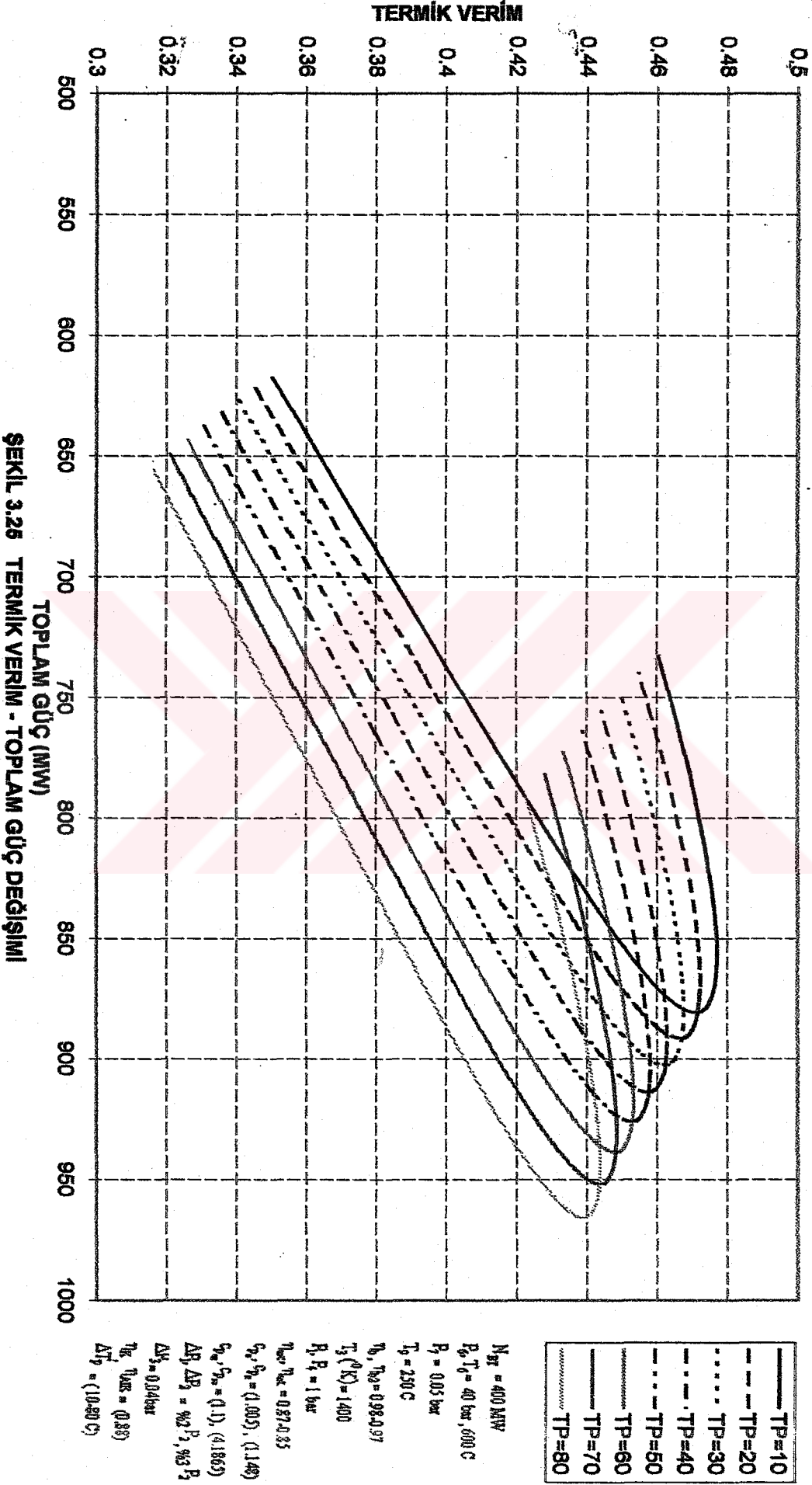
YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



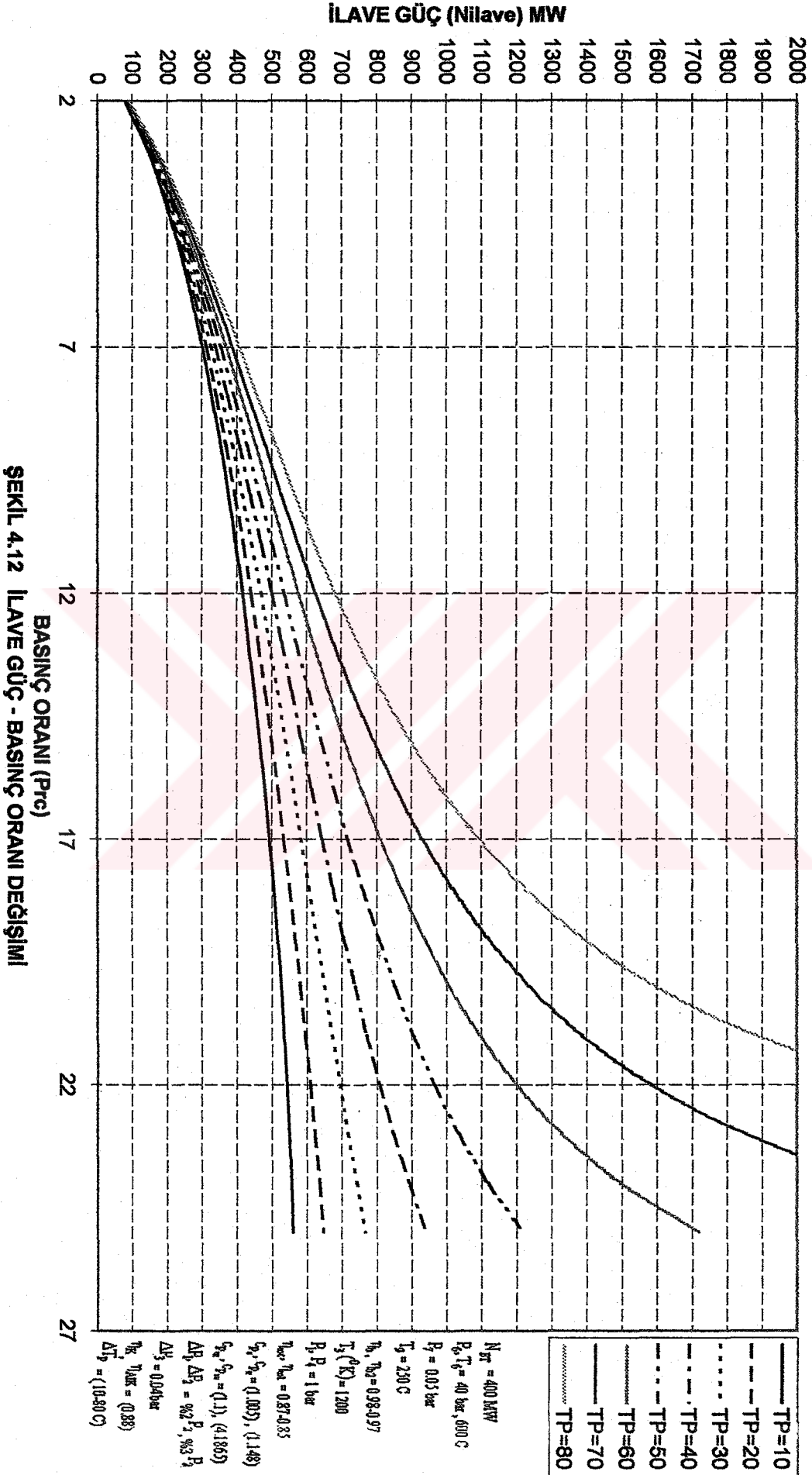
EK YANMA YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



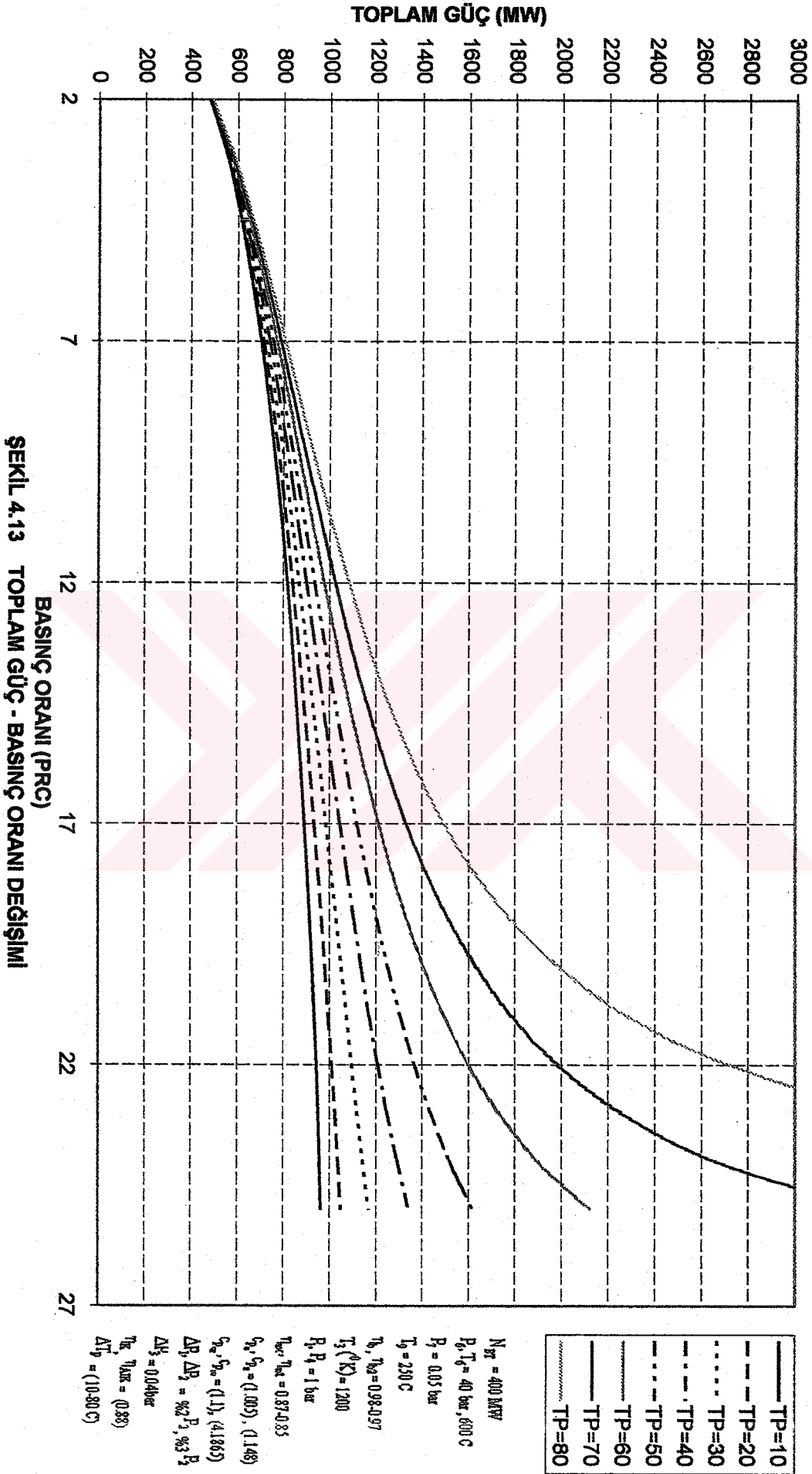
TERMİK VERİM - TOPLAM GÜÇ DEĞİŞİMİ



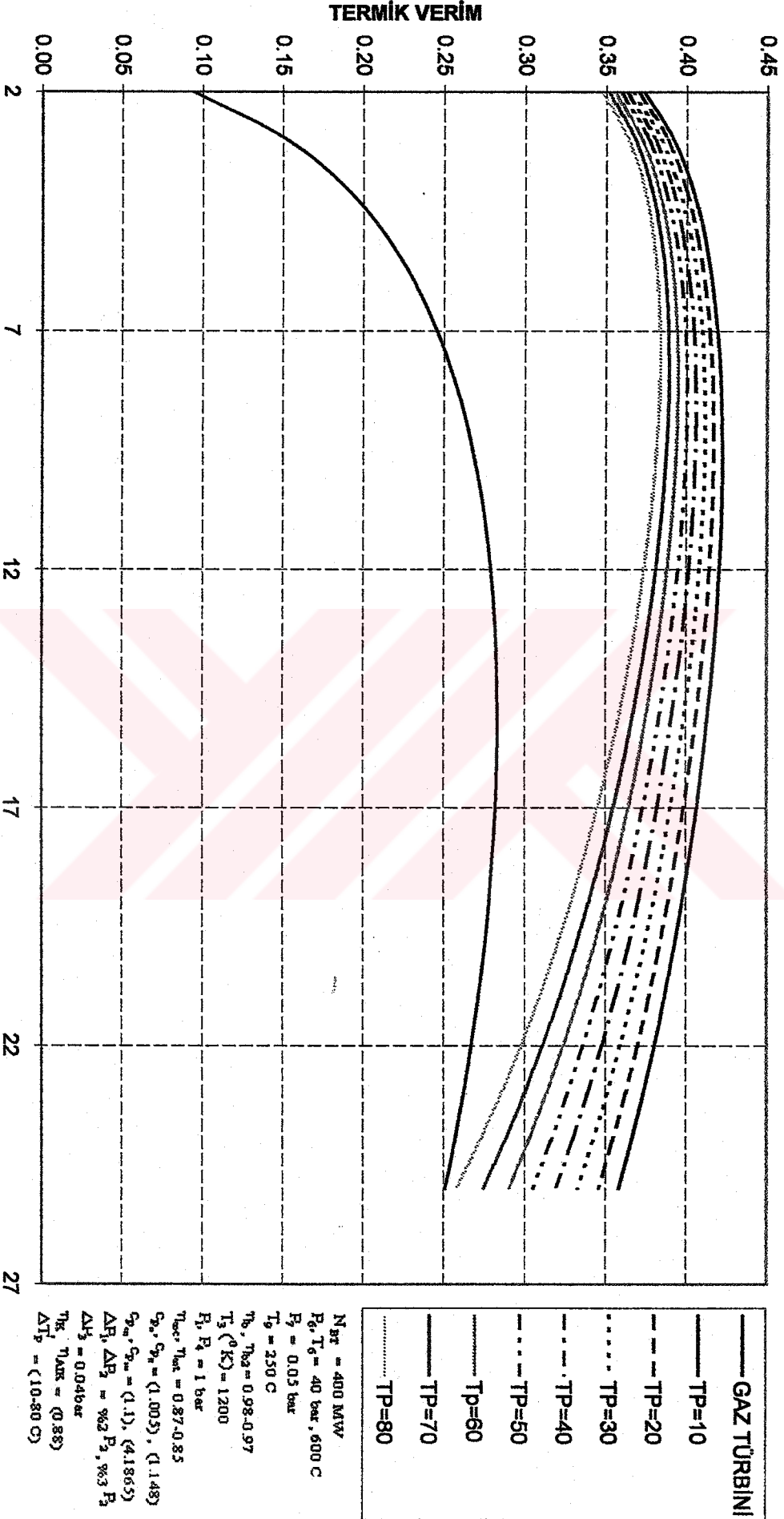
İLAVE GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



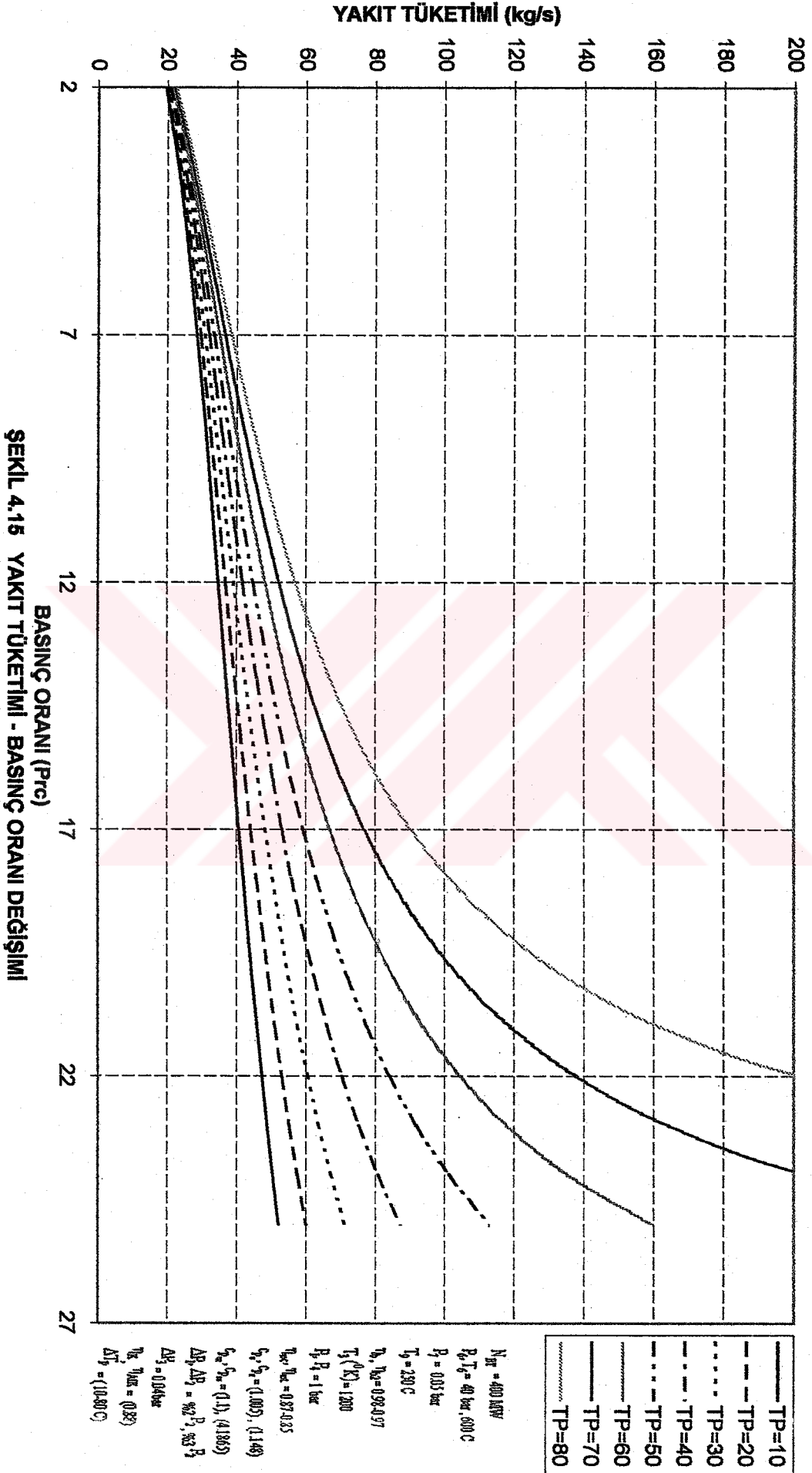
TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



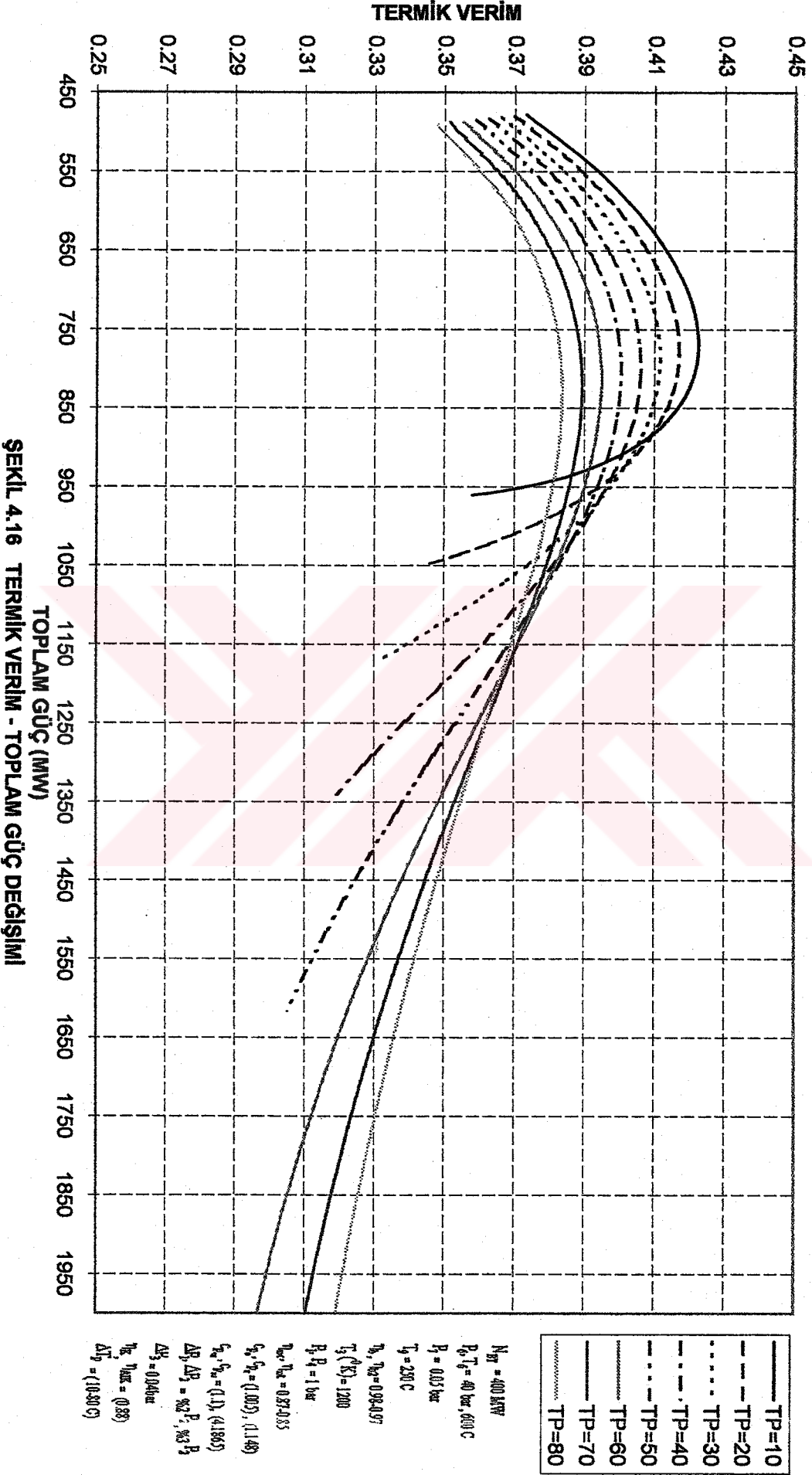
TERMİK VERİM - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



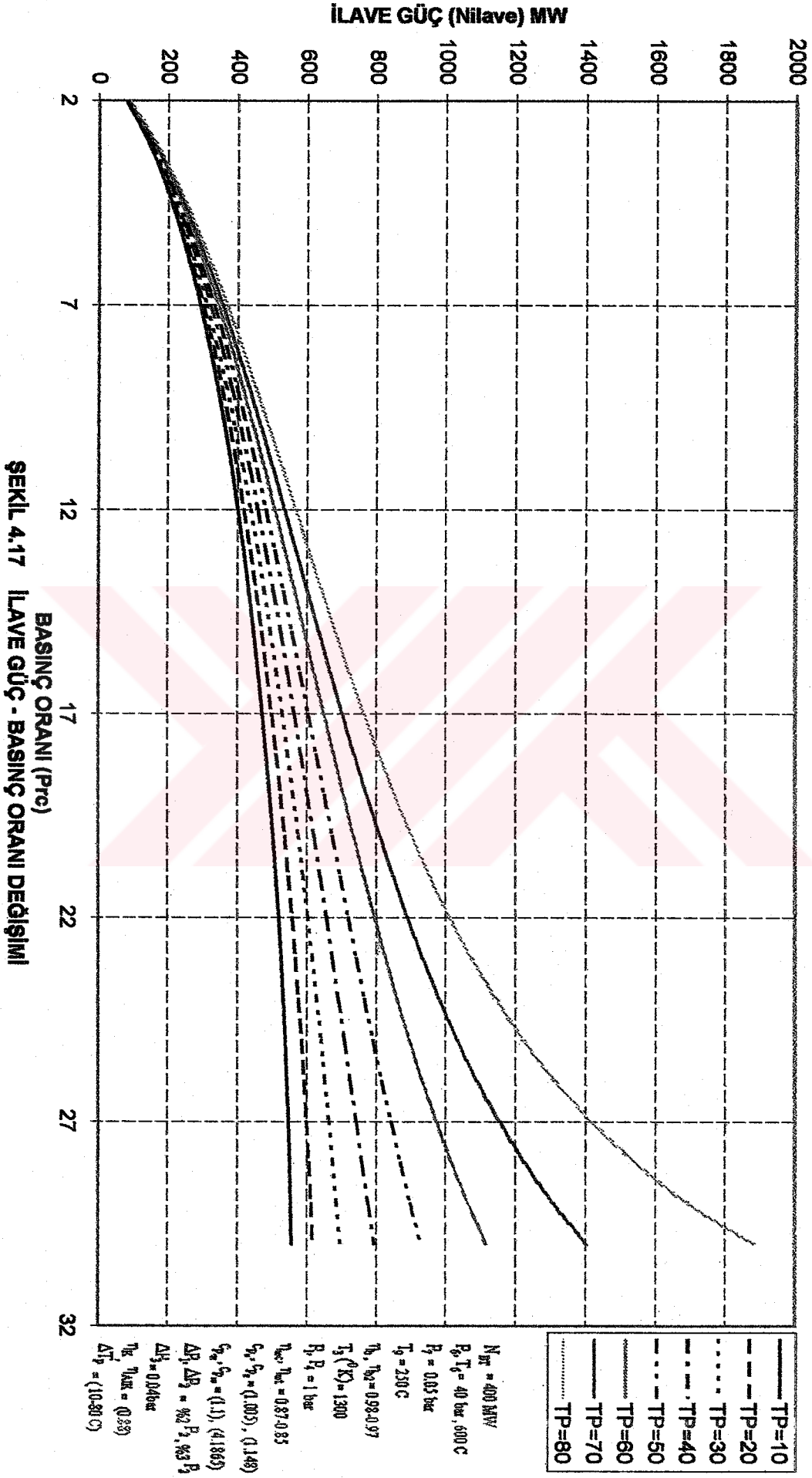
YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



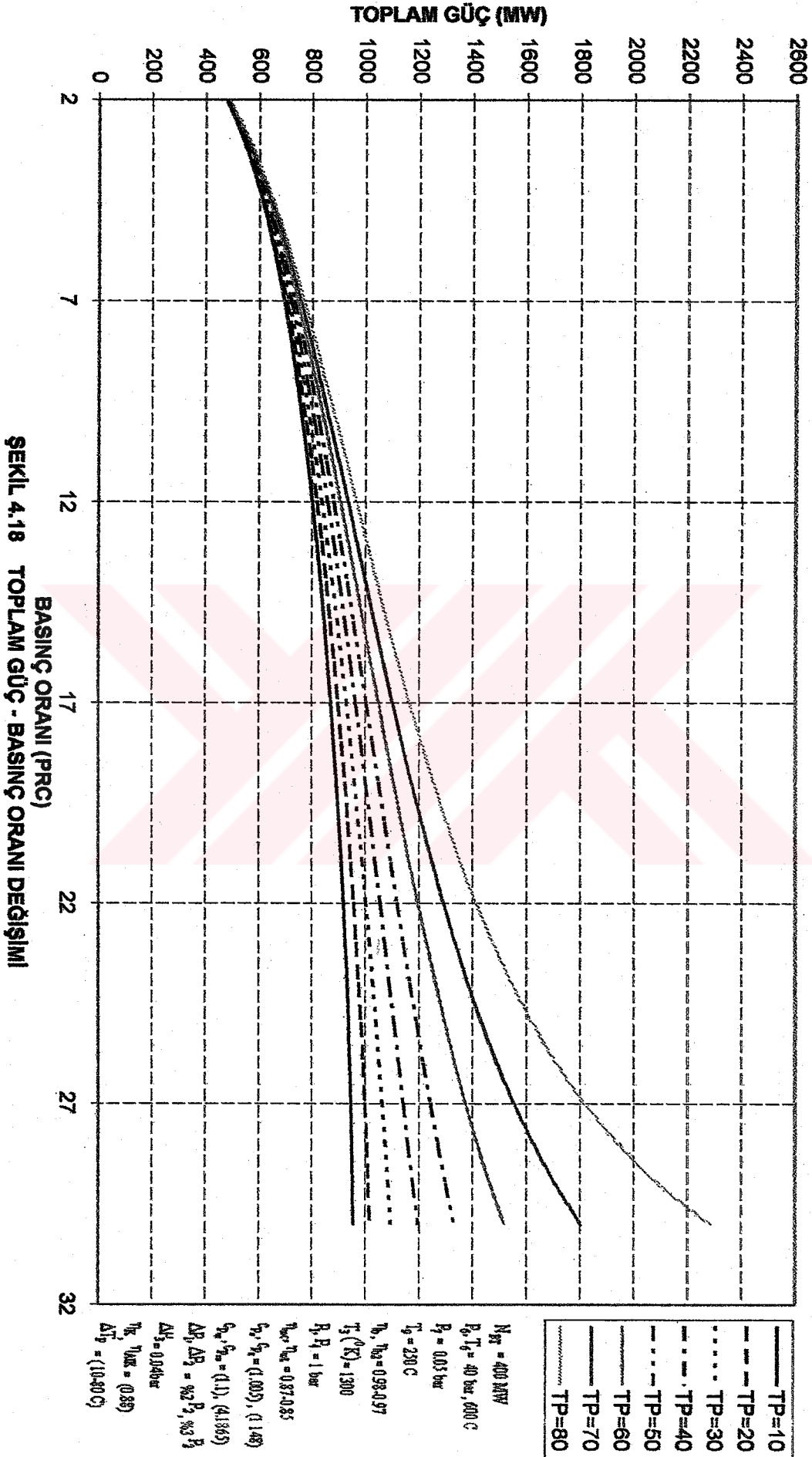
TERMİK VERİM - TOPLAM GÜÇ DEĞİŞİMİ



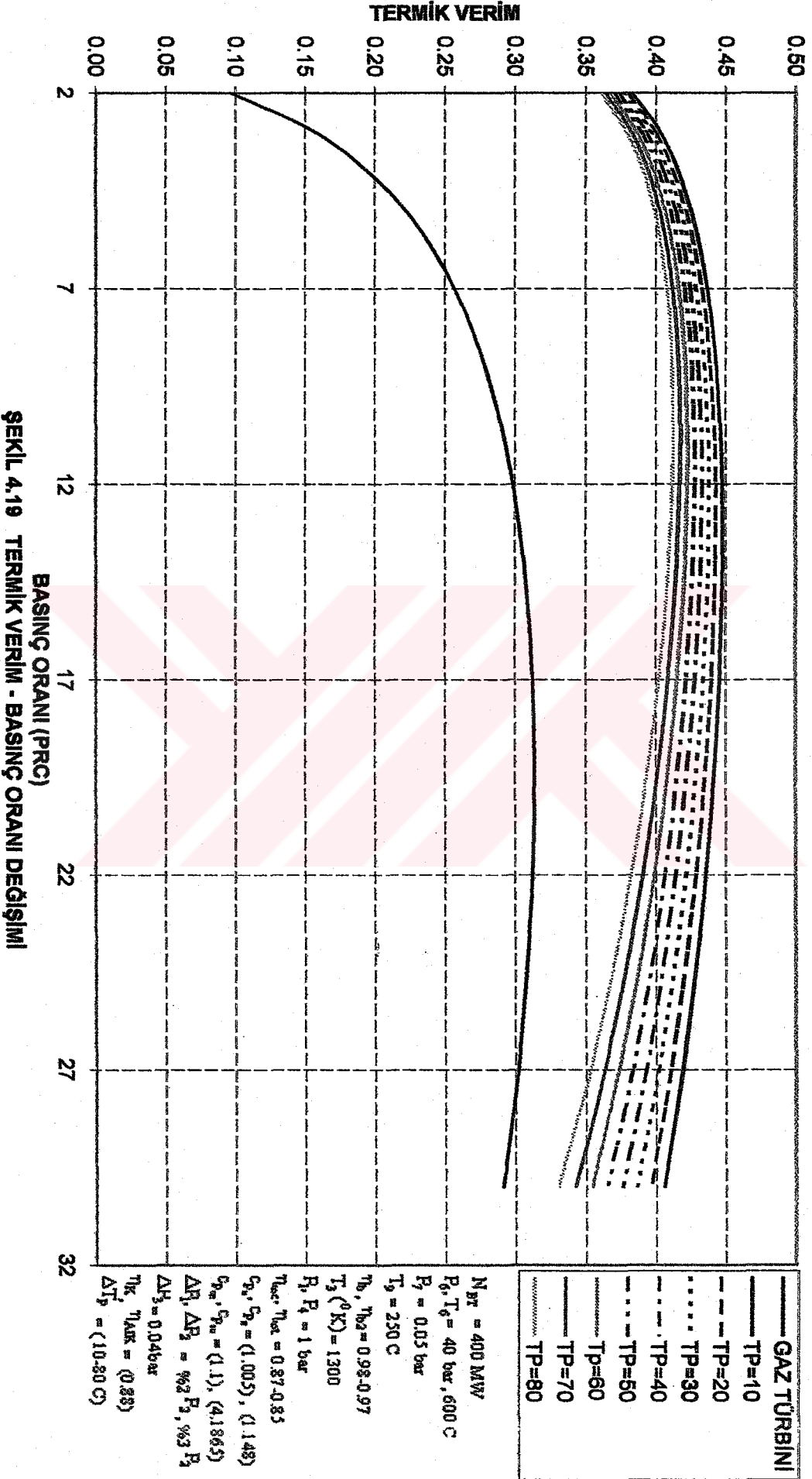
İLAVE GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



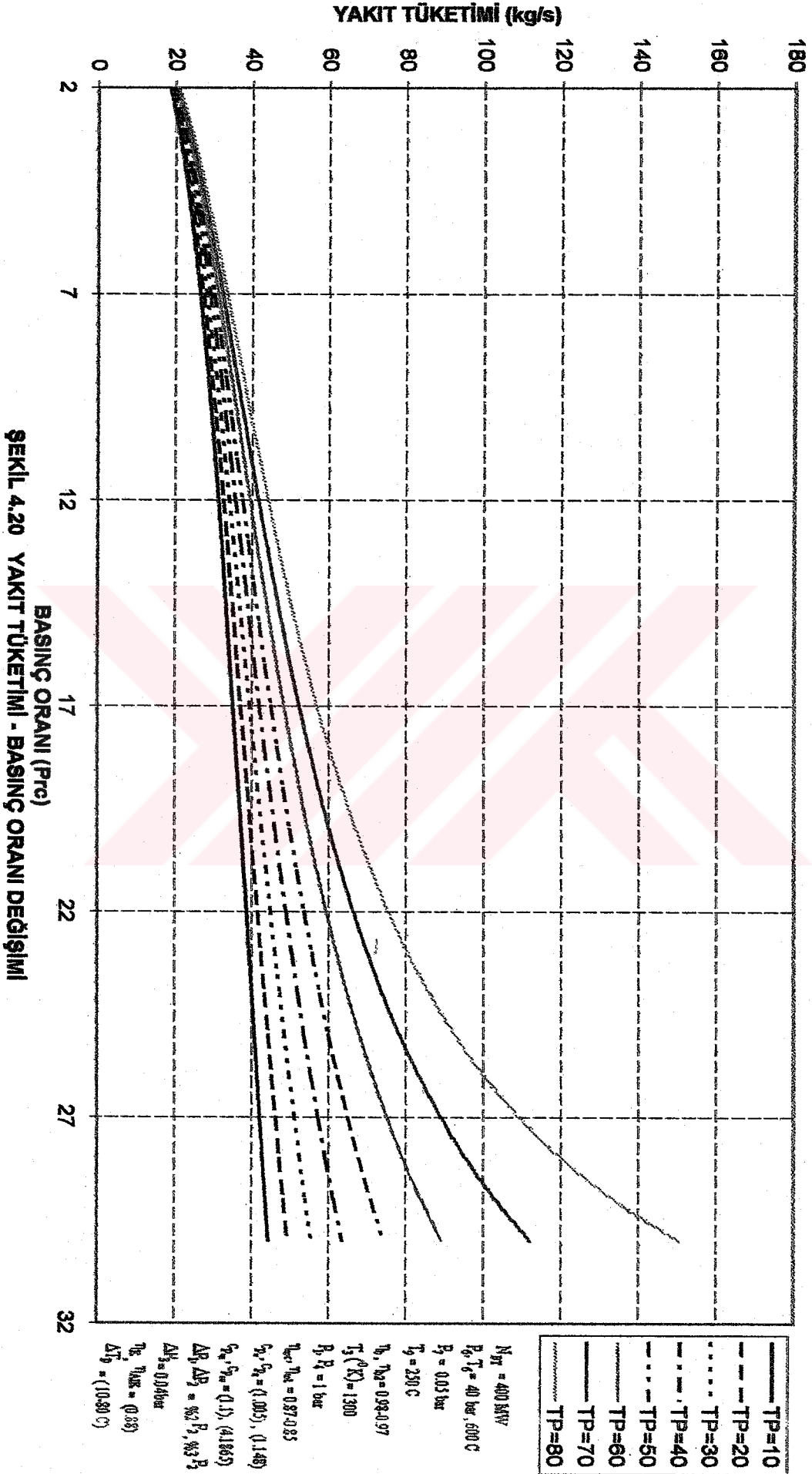
TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



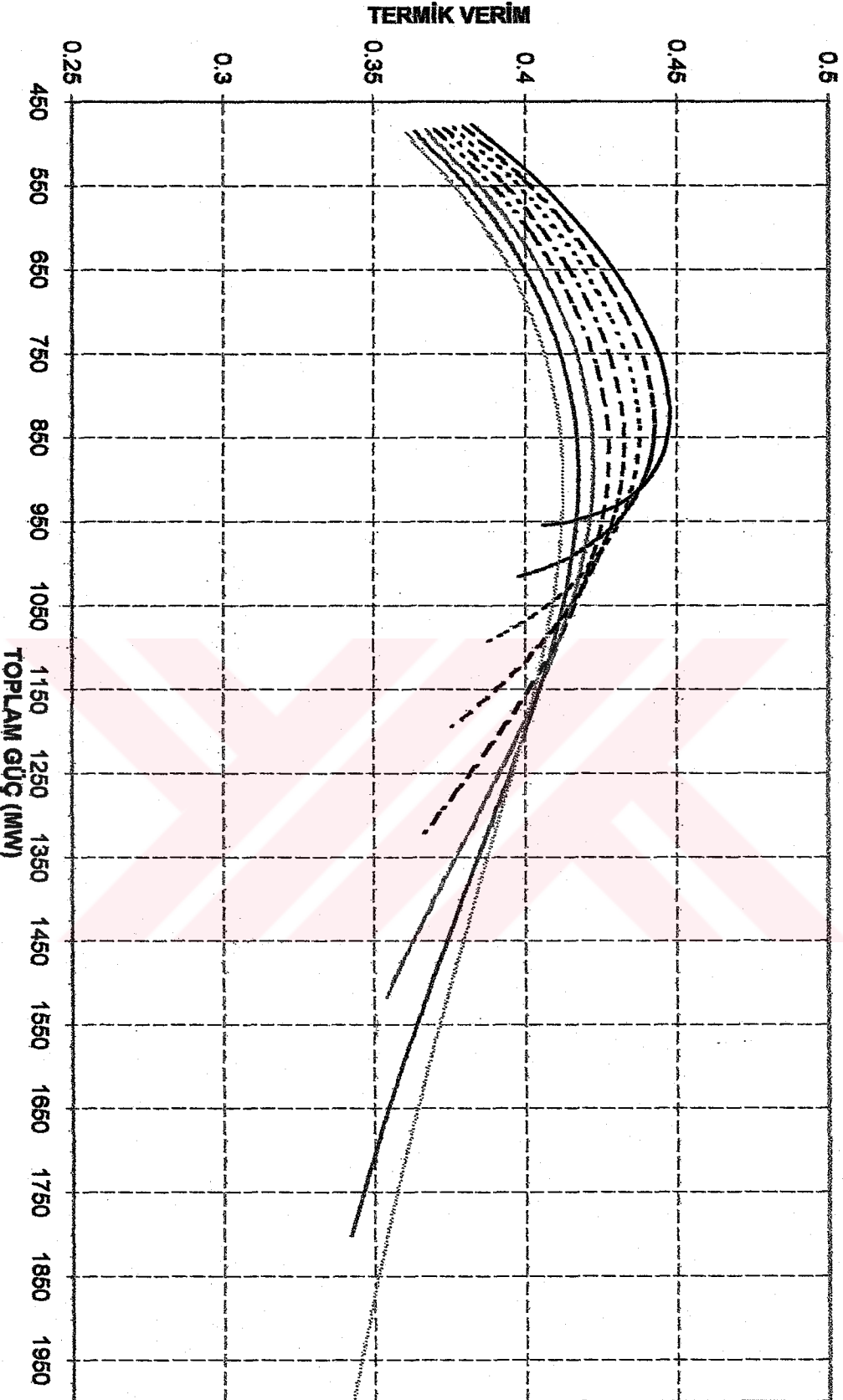
TERMİK VERİM - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



TERMİK VERİM - TOPLAM GÜÇ DEĞİŞİMİ

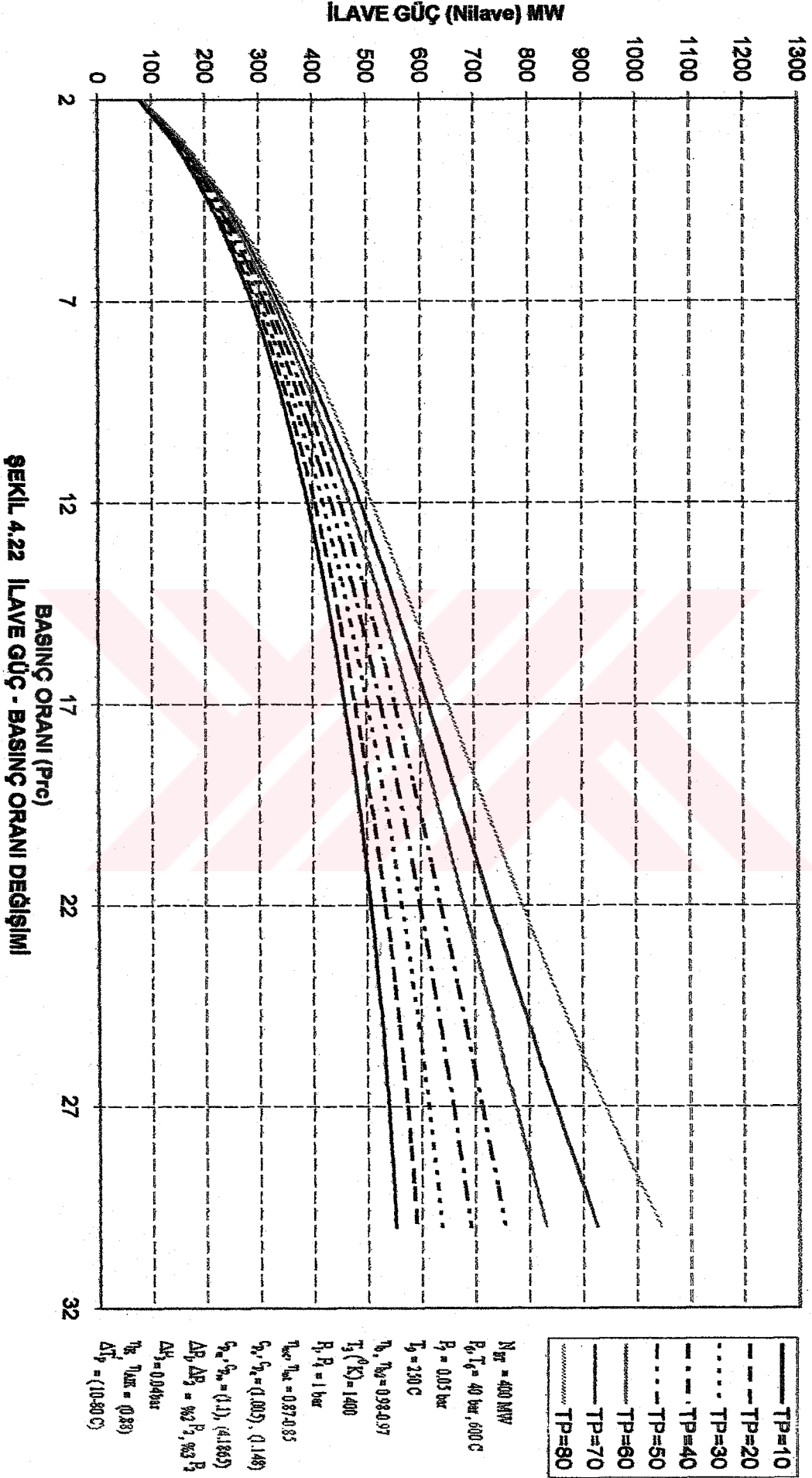


ŞEKİL 4.21 TERMİK VERİM - TOPLAM GÜÇ DEĞİŞİMİ

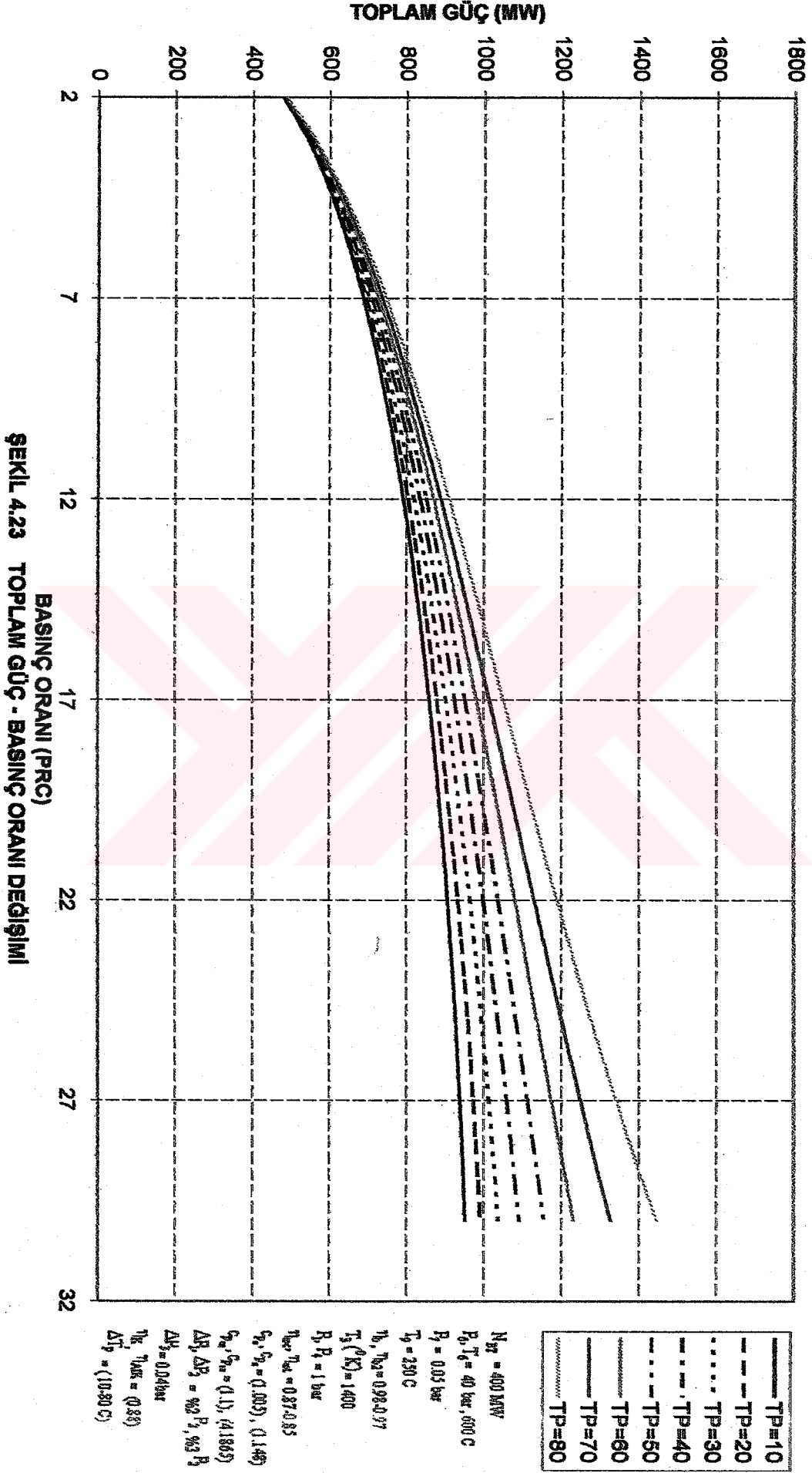
—	TP=10
- - -	TP=20
.....	TP=30
· · · · ·	TP=40
- · - · -	TP=50
— · — · —	TP=60
— · — · — · —	TP=70
· · · · · · · · · · ·	TP=80

$N_{BT} = 400 \text{ MW}$
 $P_1, T_1 = 40 \text{ bar}, 600 \text{ C}$
 $P_2 = 0.05 \text{ bar}$
 $T_2 = 250 \text{ C}$
 $\eta_b, \eta_g = 0.98, 0.97$
 $T_3 (\text{K}) = 1300$
 $P_3, P_4 = 1 \text{ bar}$
 $\eta_{c1}, \eta_{c2} = 0.87, 0.85$
 $\eta_p, \eta_g = (1.005), (1.148)$
 $\eta_g, \eta_p = (1.1), (1.186)$
 $\Delta P_1, \Delta P_2 = \eta_2 P_1, \eta_2 P_2$
 $\Delta H_1 = 0.04 \text{ bar}$
 $\eta_k, \eta_{k2} = (0.82)$
 $\Delta T_1 = (10.80 \text{ C})$

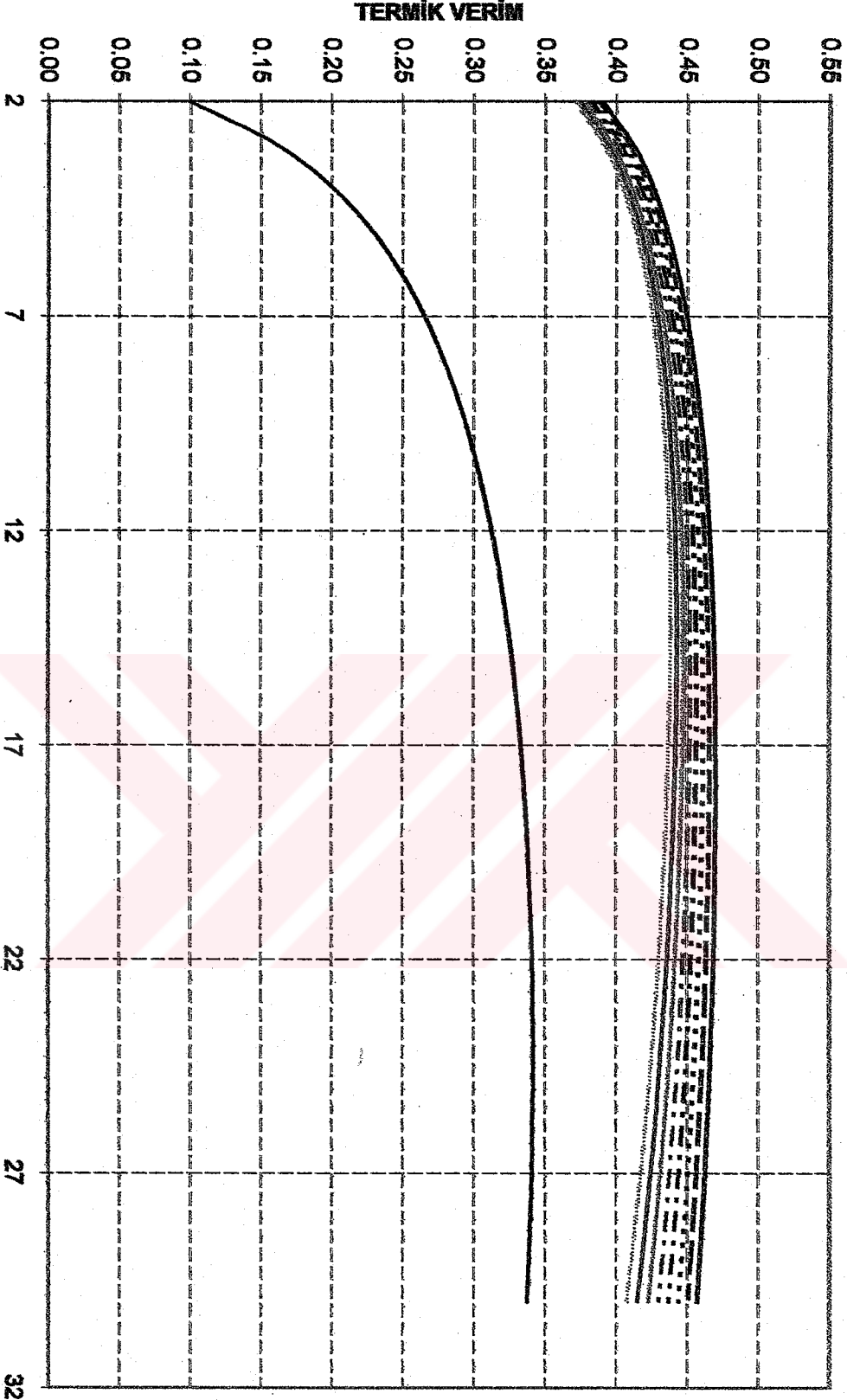
İLAVE GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



TOPLAM GÜÇ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



TERMİK VERİM - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



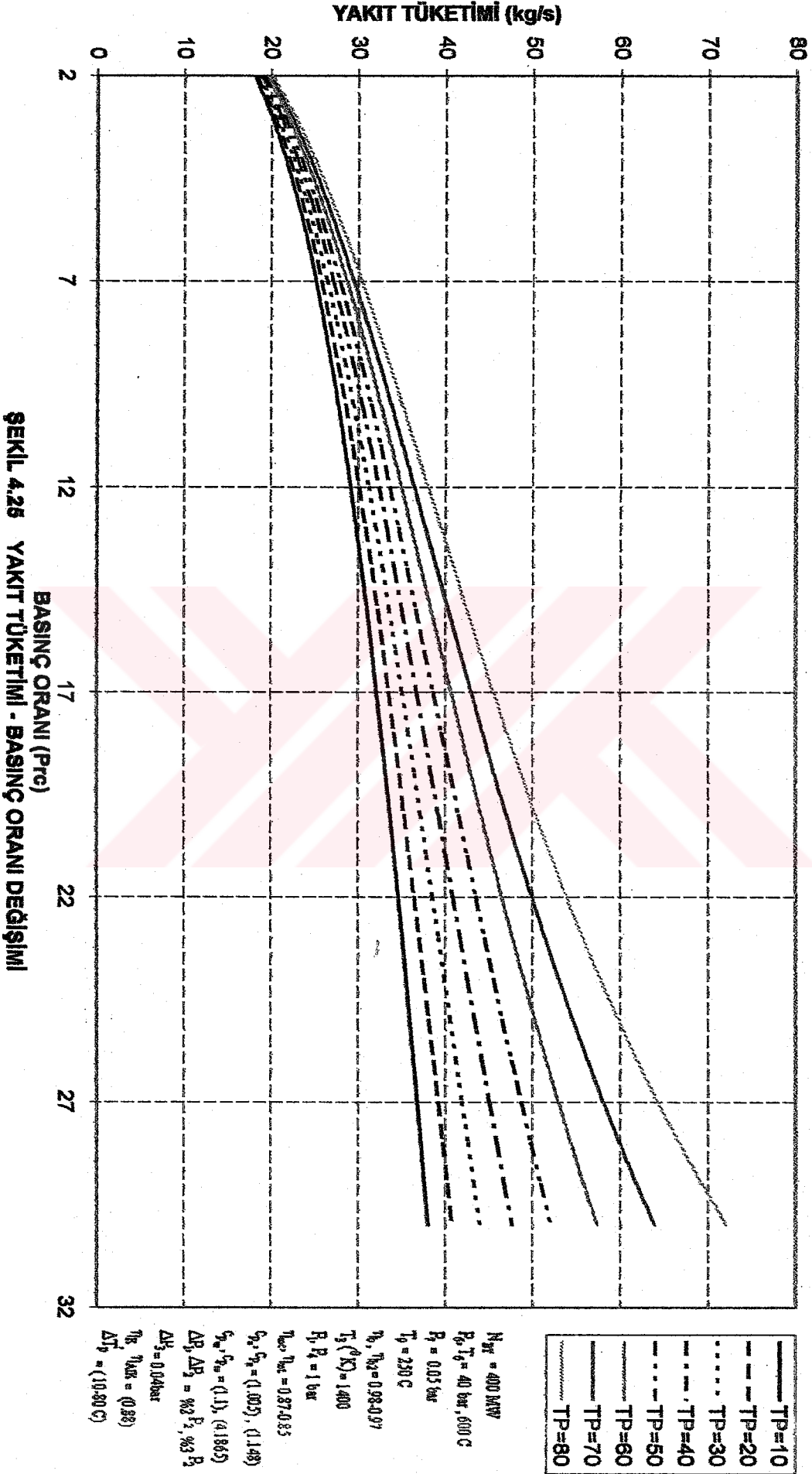
ŞEKİL 4.24 TERMİK VERİM - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ

GAZ TÜRBİNİ

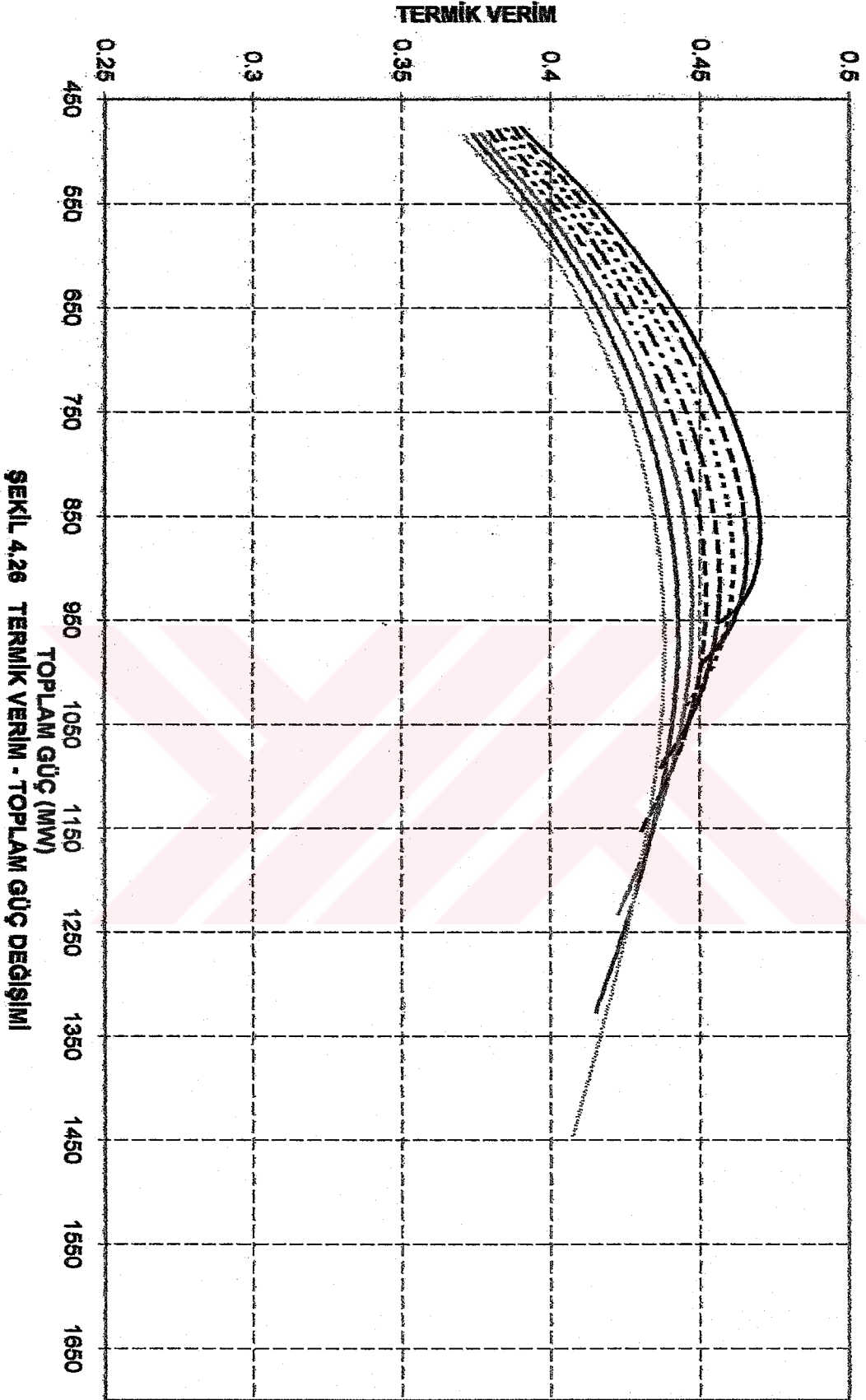
TP=10
 TP=20
 TP=30
 TP=40
 TP=50
 TP=60
 TP=70
 TP=80

$N_{BT} = 400 \text{ M}^2/\text{W}$
 $P_2, T_2 = 40 \text{ bar}, 600 \text{ C}$
 $P_3 = 0,05 \text{ bar}$
 $T_3 = 250 \text{ C}$
 $\eta_{b1}, \eta_{b2} = 0,98-0,97$
 $T_3 \text{ (}^\circ\text{K)} = 1400$
 $P_1, P_2 = 1 \text{ bar}$
 $\eta_{b,c}, \eta_{t,c} = 0,87-0,83$
 $\sigma_{p1}, \sigma_{p2} = (1,005), (1,148)$
 $\sigma_{p3}, \sigma_{p4} = (1,1), (4,1865)$
 $\Delta R_1, \Delta R_2 = \%2, \%3, \%3, \%3$
 $\Delta H_3 = 0,04 \text{ bar}$
 $\eta_{k1}, \eta_{k2} = (0,88)$
 $\Delta T_p = (10-30 \text{ C})$

YAKIT TÜKETİMİ - BASINÇ ORANI DEĞİŞİMİ



TERMİK VERİM - TOPLAM GÜÇ DEĞİŞİMİ



$N_{GT} = 400 \text{ MW}$
 $P_0, T_0 = 40 \text{ bar, } 500^\circ\text{C}$
 $P_1 = 0.05 \text{ bar}$
 $T_2 = 230^\circ\text{C}$
 $T_3, N_{GT} = 0.98497$
 $T_3 (^\circ\text{K}) = 1400$
 $P_2, P_3 = 1 \text{ bar}$
 $\eta_{GT}, \eta_{in} = 0.87485$
 $\eta_1, \eta_2 = (1.005), (1.148)$
 $\eta_3, \eta_4 = (1.1), (1.1865)$
 $\Delta P, \Delta P_2 = \%2, \%3, \%3, \%3$
 $\Delta H = 0.04 \text{ bar}$
 $\eta_{gt}, \eta_{max} = (0.88)$
 $\Delta T_P = (10-80^\circ\text{C})$

——— TP=10
 - - - TP=20
 . . . TP=30
 - - - TP=40
 - - - TP=50
 - - - TP=60
 - - - TP=70
 - - - TP=80

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 02.06.1977

Doğum yeri Düzce/Akçakoca

Lise 1988-1995 Üsküdar Hüseyin Avni Sözen Anadolu Lisesi

Lisans 1995-1999 Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2000-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Makinaları
Programı

