

İNDÜKSİYON ERGİTMEDE VERİMLİLİK

ARTIŞINDA SON GELİŞMELER

Ahmet Levend Otsukarcı, Metalurji Yüksek Mühendisi

Inductotherm Grup Türkiye

ÖZET:

İndüksiyon ergitme teknolojisi, 1914'den beri, önce dökümhanelerde sonra çelikhanelerde kullanılan ve hala güncel olan bir teknolojidir. Güncel olmasının nedeni; temel prensip aynı olmasına rağmen üreticilerin güncel güç elektroniği teknolojileri kullanarak bu süreçte en az %200 verimlilik artışı sağlaması ve işçiden tasarruf sağlayan otomasyon yöntemleri kullanmalarıdır. Bu makalede, verimlilik artışına kullanıcıların da katkı vermesini sağlayacak esaslar ve yöntemler açıklanmaktadır.

ABSTRACT:

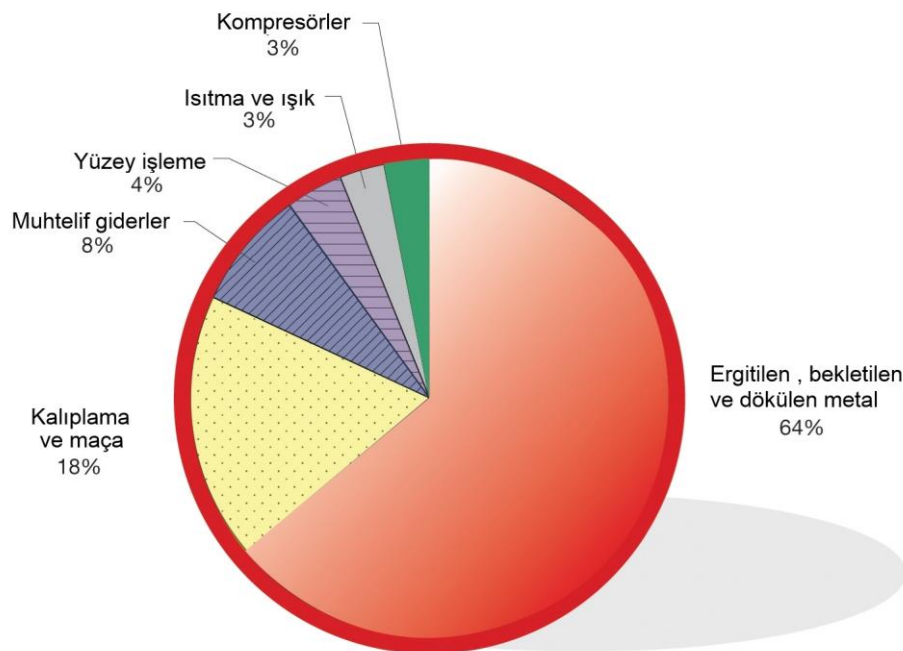
Induction melting is an updated technology widely used first in foundries then in Steel plants since 1914. Although induction basics did not change, it is updated since the manufacturers applied new developments in power electronics to the products resulted almost 200 % efficiency increase, also automation techniques contributing to this resulting workmanship savings. This article describes the savings which can be done by the users to contribute to manufacturers efforts

İndüksiyon ocaklarında kullanıcıların tasarruf sağlamak için 5 ana fırsatı vardır. Bunlar:

- İndüksiyon ocağı yatırımlarında,
- Montaj sırasında
- İşletme sürecinde
- Bakım sırasında
- Isı geri kazanımı konusunda.

A) İNDÜKSİYON OCAĞI YATIRIMLARINDA TASARRUF

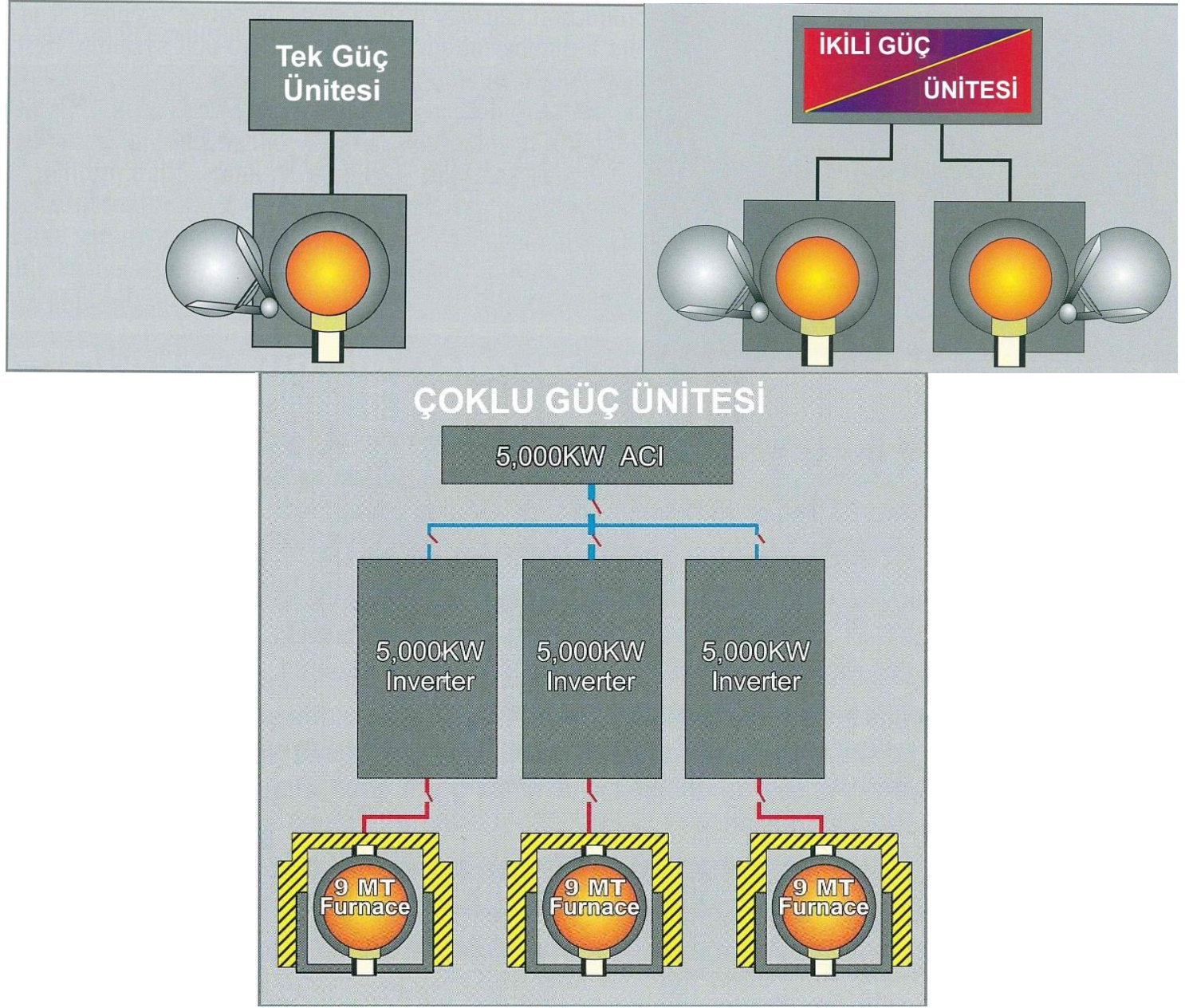
- 1- Gerekenden büyük ergitme ocakları seçilirse, özellikle daha yüksek güçlü trafo ve ünite seçilecek, ilk yatırım maliyeti artacaktır. Ayrıca sıvı metal ihtiyacından fazla büyük ocak seçilirse, ergimiş sıvı metali boşaltma süresi uzun olacak ve boş yere bekletme enerjisi harcanacaktır. Örneğin, ortalama 2 T/saat metal ihtiyacı olan kalıplama ve model büyüklüğüne göre en çok 2,5 T/saat kapasiteli bir ergitme sistemi seçilmelidir. 4 T/saat kapasiteli bir ergitme sistemi (ileride büyüyeceğimiz daha çok metal lazım mantığı ile) seçilirse 4 tonu iki saatte boşaltabileceğimizden 2 saat süre ile fazla bekletme enerjisi harcanır ve ileride büyümeye gidecek fonlar, elektrik faturanıza gider.



Şekil-1 Dökümhanelerde Tipik Enerji Kullanım Alanları (Ref 3)

- 2- Bunun tersi de geçerlidir. Şimdilik küçük başlayalım önce 1 T ocak alalım sonra 2. bir ocak daha alır ve 2,5 T/saat kapasiteli bir ocak daha alalım diye eksik yatırım yapılır ise işler iyi gittiğinde 2. ocağı satın alıp devreye alana kadar işler kaçır. 2. ocak kurulduğunda ise hem yatırım maliyeti daha yüksek hem de işletme maliyeti daha yüksek (elektrik tüketimi, refrakter tüketimi, işçilik) olan bir durumla karşı karşıya kalınır. Bu konular basit gibi görünmekle birlikte bu hataları yapan yatırımcılarımız da vardır.

- 3- Otomatik/ yarı otomatik kalıplama hatları olan pik ve sfero dökümhanelerine sürekli ve kesintisiz sıvı metal gereklidir. Bu tür işletmelerin ocak alırken mutlaka güç paylaşımli sistem satın almaları gerekir. Bir ocakta metal ergitilirken diğer ocakta kalıplama hattına sıvı metal sağlar.



Şekil-2 Tekli, İkili ve Çoklu Güç Üniteli Sistemler (Ref 2)

- 4- Çelik veya büyük parça pik/sfero döken dökümhanelerde güç paylaşımli sistem şart değildir. Bu sistemlerde kalıplama sürekli olmayıp kalıplar hazırlandıkça metal dökülmektedir. Bu işletmeler dökebilecekleri (vinç-bina vs. sınırlamaları göz önüne alınarak) maksimum bürüt parça ağırlığının ikiye bölerek (diyelim 10 T) 2x5 T çift potalı ve güç paylaşımli sistem almalıdırlar. Günlük olarak tek pota 5 ton ocak çalıştırılır, bir saat metal ergitilir 2 saatte yapılan kalıplar 1 saat içinde dökülür. Büyük parça döküleceği zaman 2 pota çalıştırılır.

Özetle;

a-Dökümhane için uygun kapasiteli ocak seçilmelidir.

b-Dökülecek metal türüne göre (pik, sfero 200-300 Hz; çelik ve alaşımlı çelik 400-600 Hz; alüminyum 60 - 150 Hz; bakır ve alaşımları için 200-400 Hz) frekans seçilmelidir.

c-Uygun büyüklükte (min. 1-2 gün şarj kapasiteli) şarj stok sahası ayrılmalıdır.

d-Şarj besleme için, vibrasyonlu şarj arabası temin edilmeli, 4-5 tondan büyük ocaklar için cüruf alma kepçesi veya ocak geri devirme opsiyonu satın alınmalıdır.

e-Günümüz çevre uygunluğu standartlarına göre toz/duman tutma çemberi veya tam kapalı kapak satın alınmalıdır.

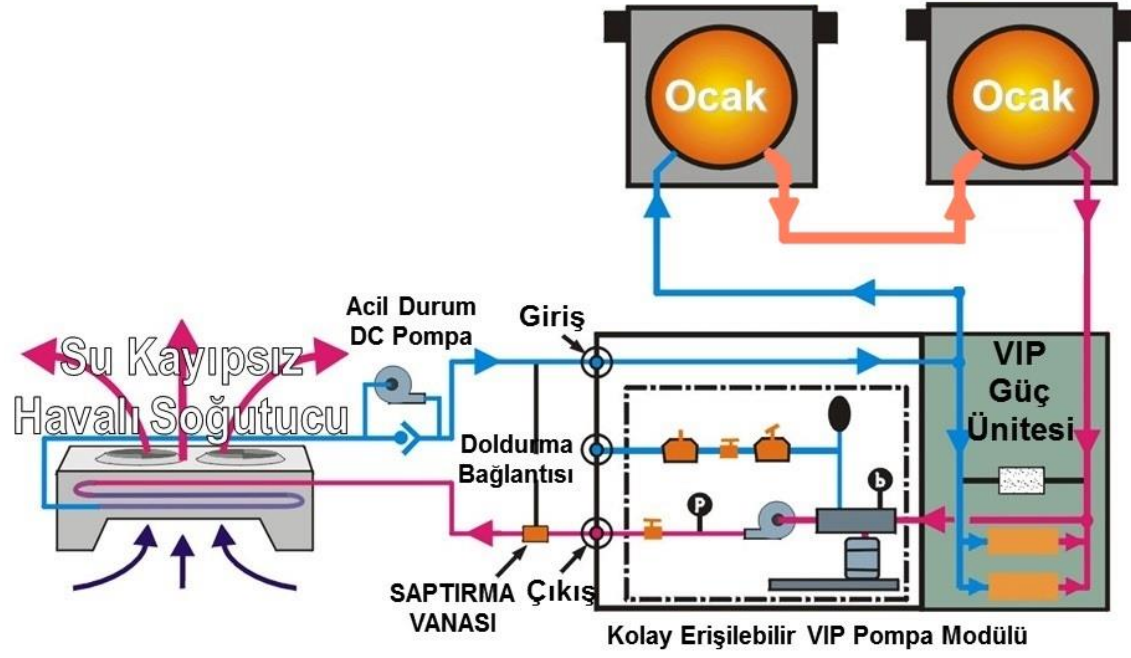
f-Günümüz elektrik tariflerine göre kapasite seçilirken günde maksimum 19 saat çalışacak şekilde kapasite seçilmelidir. Bilindiği gibi 17:00-20:00 saatleri arasında KWS ücreti maksimumdardır.

g-Uygun astar dövme aparatı yoksa işgücü ve zaman tasarrufu etmek üzere mutlaka uygun astar dövme aparatı satın alınmalıdır.

h- Ocakta tartı son derece gereksiz olup yüksek daralar nedeni ile hassas çalışmamaktadır. Metal transfer potalarını tartmak daha sağlıklıdır. Baştan ocak tartı opsiyonunu satın almayarak tasarruf sağlarsınız.

- 5- Uygun kapasiteli ergitme sistemi seçildikten sonra yapılacak iş yardımcı ünitelerini tasarruflu seçmektir. Hidrolik sistemlerde pek tasarruf edecek alan yoktur. Ancak soğutma sistemi seçilirken iki potanın soğutmasının birbirine seri bağlı olduğu tesisat seçilirse, pompa motorların KW'larından %30'a yakın tasarruf sağlanır.
- 6-

SERİ SU SİSTEMİ (Dahili)



	EŞANJÖR		DEİYONİZER		
	BASINÇ DÜŞÜRME VANASI		POMPA		KAPATMA VANASI
	TAHLİYE VANASI		BASINÇ GÖSTERGESİ		HAVA TAHLİYE VANASI (HY-VENT)
					HAVA AYIRICI
					GENLEŞME TANKI

Şekil-3 Ocakları Seri bağlı Soğutma Sistemi

- 7- Ayrıca iklime bağlı olarak sıfır su kayıplı fanlı soğutma sistemleri seçmek gerekir. Bu tür fanlı soğutucular soğutma sistemlerini, içinde elektrik tüketimleri biraz fazla da olsa toplamda su ve bakım tasarrufu nedeniyle ekonomiktirler. Güç ünitelerini besleyen trafoları da düşük kayıplı seçmek gereklidir. Günümüzde gittikçe yaygınlaşan alüminyum iletken sargılı trafolar %1 kaybın altında dizayn edilebilmektedir. Ayrıca trafolar mutlaka havadan yağa soğutmalı ONAN (oil normal, air normal) seçmek iyi olur. Moda olan su/yağ soğutmalı veya OFWF (oil forced, water forced) trafoları maliyeti düşük olup, az yer kaplamaktadırlar. Ancak sürekli yağ ve su çeviren pompalar nedeni ile işletme maliyetleri ve bakım maliyetleri yüksektir.



Şekil- 4 Radyatörsüz su soğutmalı trafolar

- 8- Sistem satın alınırken dikkat edilmesi gereken konulardan birisi, güç ünitesi üzerinde mutlaka sistemin harcadığı enerjiyi gösteren bir sayaç alınmalıdır. Unutulmasın ki ölçebildiklerinizi kontrol edebilirsiniz. Günümüzde birçok imalatçı ergitme sistemlerine bilgisayar/PLC bağlamaktadırlar. Ancak bu PLC'lerin sistemin kontrolü ve idaresi için mi yoksa ergitmenin kontrolü ve idaresi için mi olduğu çok önemlidir. Özellikle paralel devreli sistem imalatçıları kontrol kartlarının sayısını azaltmak ve elektrik sistemini daha koordineli çalıştırmak için yıllardır PLC kullanıyorlar. Ancak bu PLC'lerin otomatik soğuk başlatma, sinterleme, otomatik ergitme (KWS veya ağırlık/sıcaklık kontrolü) yapıp yapmadıkları sorgulanmalıdır.
- 9- Ocakların yerleşimi proje üzerinde yapılırken, döküm sahasına en yakın yeri seçmek transfer sırasındaki ısı kayıplarını en aza indirir. Transfer sırasında pota kapağı kullanan işletmeler hem ısı dolayısıyla elektrik tasarrufu sağlarlar hem de ortamı az kirletirler.

- 10-** Süreksiz yer kalıplama yapan işletmelerde ergitme sistemi düz kalıp sahasına hitap edecek olan vinç altına yerleştirilmelidir. Özellikle sonradan büyüüp gelişen işletmelerde bu tür sıkıntılar olabilmektedir
- 11-** Ocakların üzerinde çalışacak 2-5 T kapasiteli servis vinçlerinin olması, 2 tondan daha küçük ocaklarda ise 500 kg kapasiteli pergel vinçlerinin bulunması indüksiyon ocağı yerleşimi yaparken dikkate alınmalıdır.
- 12-** 5 tondan büyük ocaklarda, ocak devredilirken ortaya çıkan boşluğun etrafına korkuluk alıştırması için mutlaka “çukur korkuluğu (pit guard)” opsiyonun satın alınması tavsiye edilir.
- 13-** Yine 5 T ve yukarı kapasitedeki ocaklar için cüruf almayı kolaylaştıracak geri devirme silindirleri ve yolluğunun olması yararlıdır. Ayrıca hidrolik curuf kepçeleri de bir alternatiftir



B2-0048-E

Şekil-5 Hidrolik Curuf Kepçesi

- 14-** İşgücünün çok yüksek olduğu ülkelerde ergitme robotu uygulamaları artmaktadır. Şimdilik ülkemiz için lüks görünmekle birlikte yakında bizde de robot uygulamaları başlayabilir.



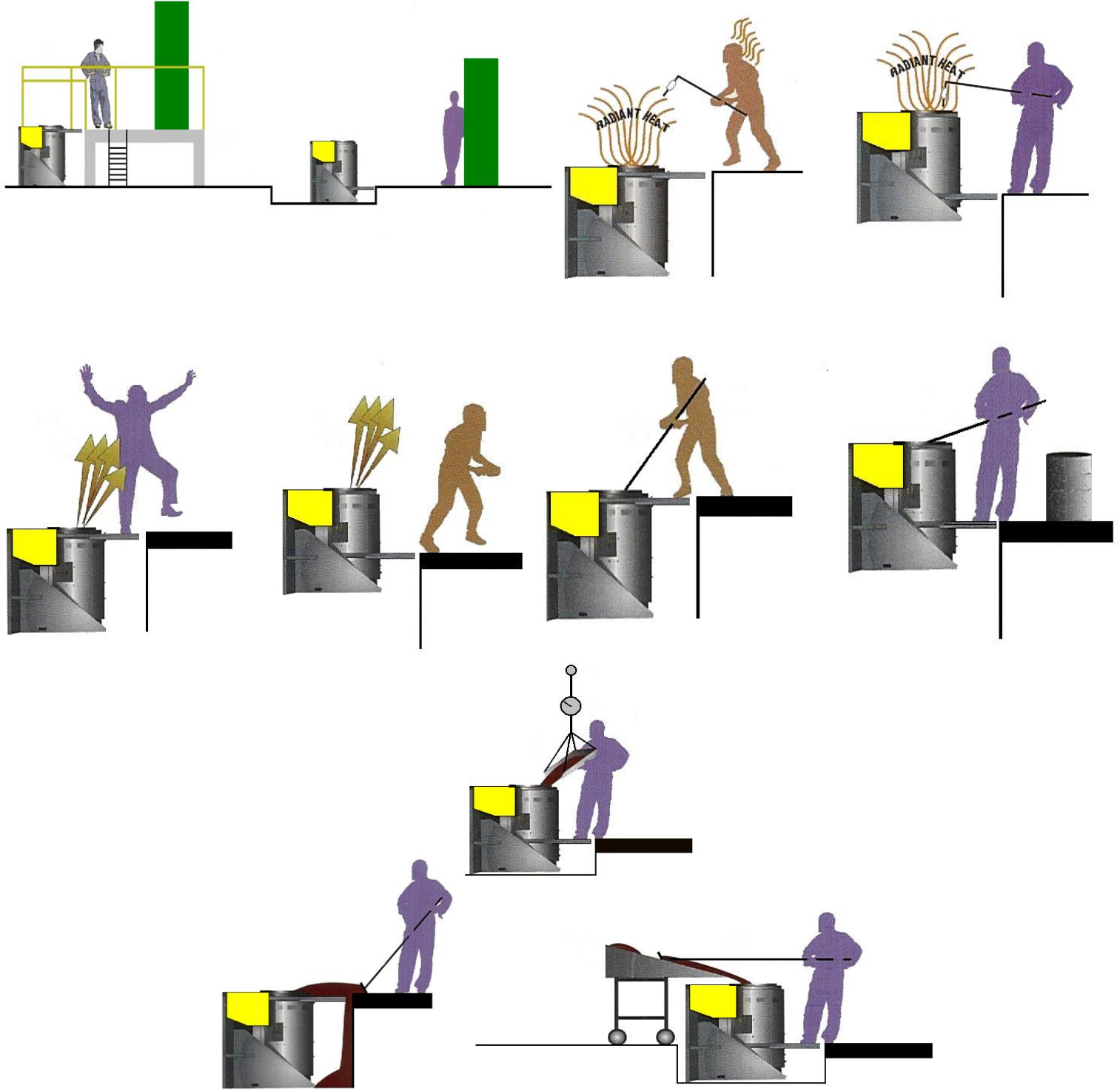
Şekil - 6 Platform Robotu ile Otomasyon (Ref 5)

B) ERGİTME SİSTEMLERİNİN MONTAJINDA TASARRUF

1-Ergitme sistemlerinin montajında da tasarruf edilecek, özellikle ocak çalışırken ya da bakım yapılırken sağlanacak avantajlar elde edilebilir:

- a- Ocağın ağzının yerden yüksekliği öngörülen transfer potasının yüksekliğinin 1.5 katını aşmamalıdır.
- b- Platformun yüksekliği şarj sahasından en çok ocak yüksekliği kadar farklı olmalıdır. Daha yüksek yapıldığında manüplasyon maliyeti artacak, sıvı metal daha yüksekten akıtılmak zorunda kalınacaktır.

- c- 2-3 ton'a kadar ocakların güç üniteleri platform üzerine yerleştirilmelidir. Bu üniteler çok yer kaplamayacağı için montaj malzemesinden tasarruf sağlanır. Şarj arabası olacaksa ünite yerleşimi 90° döndürülerek şarj arabasına hareket alanı sağlanır.
- d- Gerilim trafosu güç ünitesine olabildiğince yakın konumlandırılmalıdır. Bu sadece ara bağlantı iletkenlerinden tasarruf sağlamaz aynı zamanda kısa iletken boyu dolayısı ile akım iletim kayıplarında da azalma ile sürekli tasarruf sağlayan bir yerleşim demektir.
- e- Güç ünitesi ile ocaklar da birbirlerine olabildiğince yakın olmalı ve akım iletim kayıpları minimuma indirilmelidir. Aynı yerleşim için baralar uzun, enerji hortumları kısa olmalıdır. Boru bara yatırım maliyetlerini azaltırken, elektrik iletim maliyetlerini artırır.

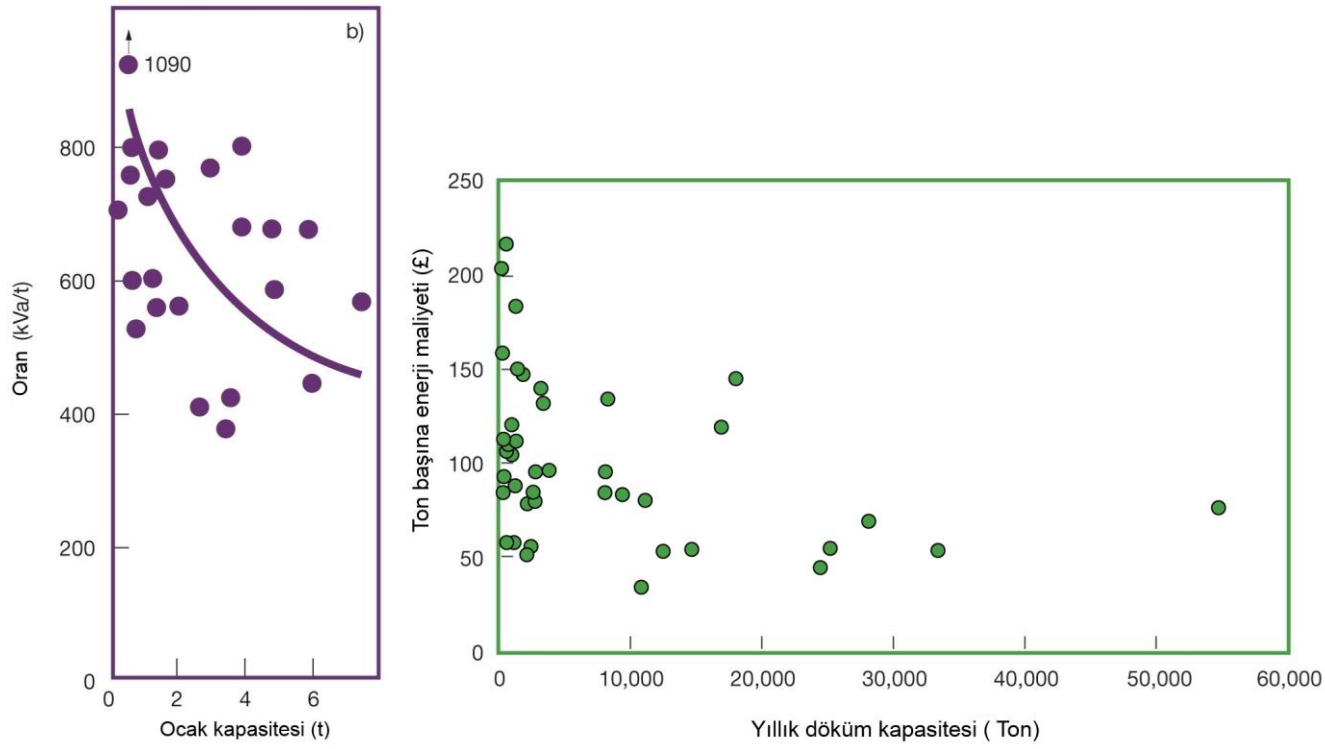


Şekil-7 Ergonomik Yarım Platformun Yararları (Ref 4)

- f- Soğutma sistemi pompaları platform altına yerleştirilmeli, varsa havuz pompa modülü havuza yakın yerleştirilmelidir. Soğutma kulelerini mümkünse yükseltile bir platform üzerine yerleştirilmeli, mümkün değil ise fabrikanın kuzey yönüne ve duvarlardan 2'şer metre aralık ile yerleştirilmelidir. Bu şekilde soğutucu kulelerin maksimum kapasitelerinden yararlanılmış olur, yazın sıcak günlerde güç düşürme ve ocakların yavaşlamasının önüne geçilmiş olur.
- g- Özet olarak kompakt ölçülü çok yüksek olmayan ocak platformları hem ilk yatırım maliyetini hem işletme maliyetlerini düşürür.

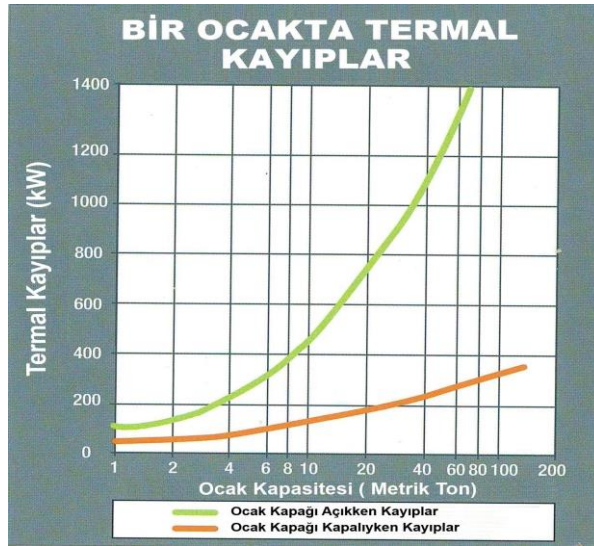
C) İŞLETME SIRASINDAKİ TASARRUF ÖNLEMLERİ;

- 1- Ergitmeye başlarken en önemli tasarruf ocaktaki sıvı metalin tamamen boşaltılmasından en çok 3 dakika sonra ilk şarjı yüklemiş olup güç düğmesine basıp ayarı tam güce getirmekle yapılır. Bu astarın soğuyup ısının azalmamasına dolayısıyla da elektrik tasarrufuna yol açar. 3 dakika ocağın geri devrilmesi, astarın koruyucu gözlükle incelenmesi ve ilk şarjın doldurulması için yeterli süredir ve hedef hep bu olmalıdır.



Şekil 8- Ocak büyüklüğüne ve işletme büyüklüğüne göre Enerji/Tonaj(Ref 3)

- 2- Şarj malzemesi güç ünitesi üzerindeki güç sınırlayan lambalara veya sesli ışık ikaz sistemine göre yüklenmelidir. “Soğuk şarj” lambası yanarken şarjı kesiniz. “kondansatör voltajı” lambası yanarken ocağı yüklemeye devam ediniz. “inverter açık-tam güç” lambalarında da şarja devam ediniz. Bu sırada hiçbir zaman gücü azaltmayın, şarjı ayarlayın.
- 3- Şarj tamamlandıktan sonra kapağı kapatınız. Kapalı kapak radyasyon kayıplarını %10 a kadar düşürür. Ergitmenin uzaması elektrik tüketimini artırır.



Şekil-9 Ocak kapağı ile Enerji tasarrufu (Ref-2)

- 4-Temiz ve passız şarj malzemeleri kullanınız. Şarj malzemesi kötü ise %10-15 daha çok elektrik yakarsınız. Biriketlenmemiş çelik talaşı en uç örnektir. Elektrik tüketimini %20-25 arttırırken astar tüketimini de yaklaşık artırır.

Tablo-1- Şarj Malzemesi Türlerine Göre Enerji Tüketimi (Ref 5)

Şarj Malzemesi	Şarj Ağırlığı kg	1650 C ye Ergitme Süresi d	Ort. Güç KW's	Tüketim KW's/Ton
Temiz Çelik Hurda	1000	55	600	550
Paslı Çelik Hurda	1000	62	600	620
Briktlenmemiş Çelik Talaş	1000	71	600	710

- 5- Daha soğuk metal ihtiyacınız olsa bile günde birkaç kere 1486° C'nin üstüne çıkınız. Bu astara yapışan SiO₂'nin cürufa geçmesini sağlar. Kalınlaşmış astar daha çok enerji harcarken fazla incelmış astar da ısı kayıplarının artması nedeni ile elektrik tüketimini artırır.
- 6- Cüruf almayı en kısa sürede yapacak önlemleri alınız. (geri devirme, hidrolik cüruf kepçesi, daha çok işçi vs.)
- 7- Cüruf aldıktan sonra yüzeydeki radyasyon kayıpları artar bu nedenle perlit, çeltik v.s gibi örtü tozları kullanılmalıdır.
- 8- Sıvı metalin sıcaklığının kaçırılmaması önemlidir. Hem gereksiz enerji harcanır hem de astar ömrü kısılır. Bir çok işletme bilgisayar veya PLC'lerinin programında olduğu halde otomatik ergitme fonksiyonunu kullanmaz/kullanamaz. Ocak operatörlerinin eğitilmesi, ergitme şeflerinin bilinçli olmaları gerekir. Bu konuda mühendislere büyük görev düşmektedir.

- 9- Sıvı metal potaya transfer edilirken kapak hep kapalı tutulmalıdır. Kapaklar kendi bakım maliyetini çıkarırlar; bu unutulmamalıdır.

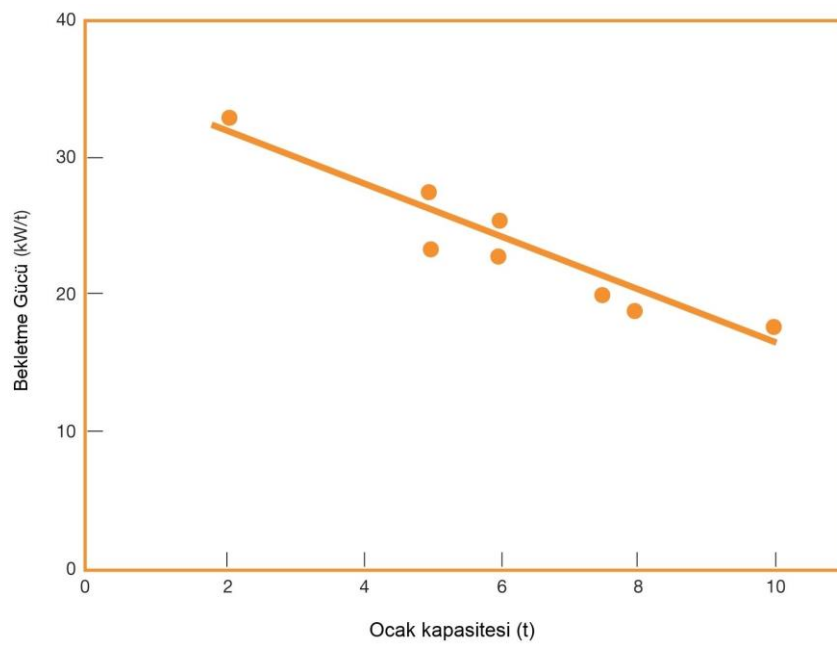
Tablo-2- Radyasyon kayıplarına Karşı Kapakların Yararı: (Ref 3)

Ocak kapasitesi T.	Enerji Kaybı (KW)			Enerji Maliyeti (TL)	
	Kapak Açık	Kapak Kapalı	Fark	Maliyet/Gün*	Maliyet/Yıl*
6	70	9	61	12.2	2,806
10	130	13	117	23.4	5,382

*230 çalışma günü 20krş/Kw.

- 10- Metal kompozisyonu geçişlerini gün boyunca en verimli ve en az kayıpla yapacak şekilde organize ediniz. Organize işletmeler her zaman daha verimlidir.

- 11- Bekletme süresi en azda tutulmadır.



Şekil-10 Ocak Kapasitesi ve Bekletme Gücü İlişkisi (Ref 3)

- 12- Toz duman emişi için mümkünse otomatik damperli bir sistem kullanınız. Çok aşırı emiş, ocaklardan enerji çalacağı için elektrik tüketimini artırır. Ayrıca yüzeyin soğuması metalin kabuk/cüruf yapmasına neden olur.

- 13- Her şarjdaki elektrik tüketimini kaydediniz ve irdeleyiniz. Yeni ocaklarda kayıt işini bilgisayarlar yapmaktadır. Ancak irdeleme işini ancak iyi bir mühendisin yapabileceğini unutmayınız.

D) BAKIM SIRASINDA TASARRUF

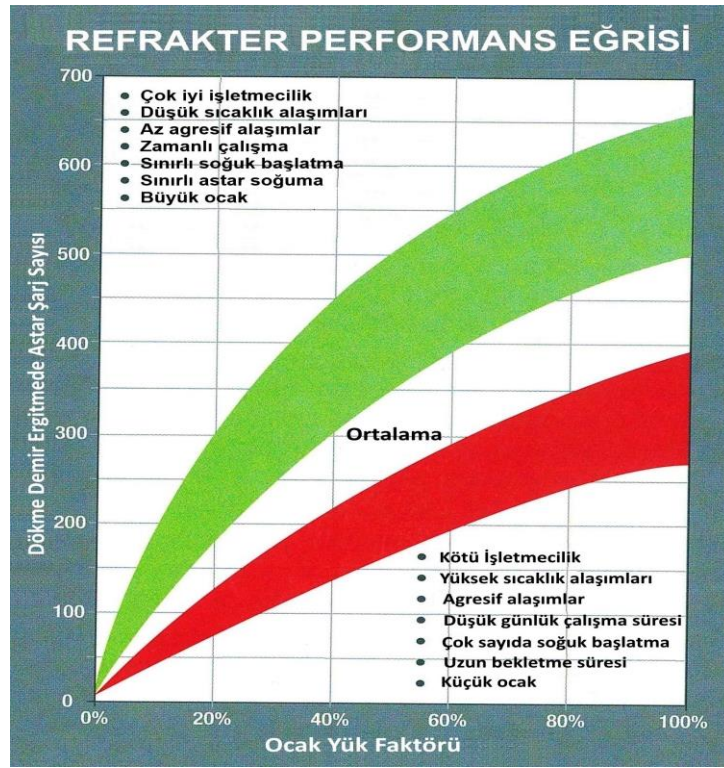
- 1- Öncelikle arızalanan ocağın parçalarının orijinali ile değiştirilmesi şarttır. Ucuz olsun diye gıda hortumu ile enerji hortumu yapan dökümcüler var. Orijinal parça kullanmayıp “leblebi gibi” tristör yakan dökümcüler var... Hem de Türkiye'nin ilk 500 büyük işletmesi arasında. Yönetimler tristör yanmasının sebep değil sonuç olduğu konusunda ikna edilerek durum “normal” e döndürülebilir.

- 2- Soğutma sistemleri indüksiyon sistemlerinin kan damarları gibidir. Bizim damarlarımız yüksek kolesterolün neden olduğu daralma ile karşı karşıya ise soğutma sistemleri de kireç ve kışır nedeni ile tıkanır. Özellikle ince kesitli enerji hortumu gibi, eşanjörler gibi bölgeler tıkanır. Uzun süreli bakım duruşlarına yol açmamak için eşanjörler ve soğutma sistemleri yaza girerken (Mayıs ayı idealdir) temizlenmeli, su değiştirilmeli, yumuşatıcı kullanılıyor ise tuzu, güç ünitelerinin de-iyonize reçineleri değiştirilmelidir.

Açık devreli soğutma sistemlerinde veya eşanjörlü kapalı devre soğutma sistemlerinde su/partikül ve çözelti dengesi 1'e 2 veya 1'e 3 oranları ile sabit tutulur. Yani soğutma suyundan bir ölçü su buharlaşıyorsa bir ölçü su blöflenir, iki ölçü yeni su eklenir. Bu oran iç Anadolu gibi su sertliği 20-30 FSS'nin üzerinde olan yerlerde 1'e 3 olarak uygulanır. Yani bir ölçü su buharlaşıırken iki ölçü su atılır ve 3 ölçü taze su eklenir. Bu şekilde sıvı/katı dengesi sabit tutulan soğutma sisteminde çökelme olmaz. Tabi periyodik olarak PH ve katı partikül ölçümü yapmak gereklidir.

- 3- Genellikle ocak gövde kapakları açık unutulup (kapatmaya üşenildiğinden) bobin ve şöntlerinin aralarına karbonca ve metalce zengin dökümhane tozunun girmesine neden olunur. Bu iki sarım arası veya bobin ile şöntler arası ark yapmaya yol açar ve bobinin delinmesine neden olur. Ergitme enerjisinden tasarruf sağlamak için çabalayan ocak imalatçıların ve milyonlarca TL yatırmış girişimcilerin çabaları boşa çıkarılır. Kapaklar kapalı tutulmalı haftada bir açılarak elektrik süpürgesi ile her yer temizlenmelidir.

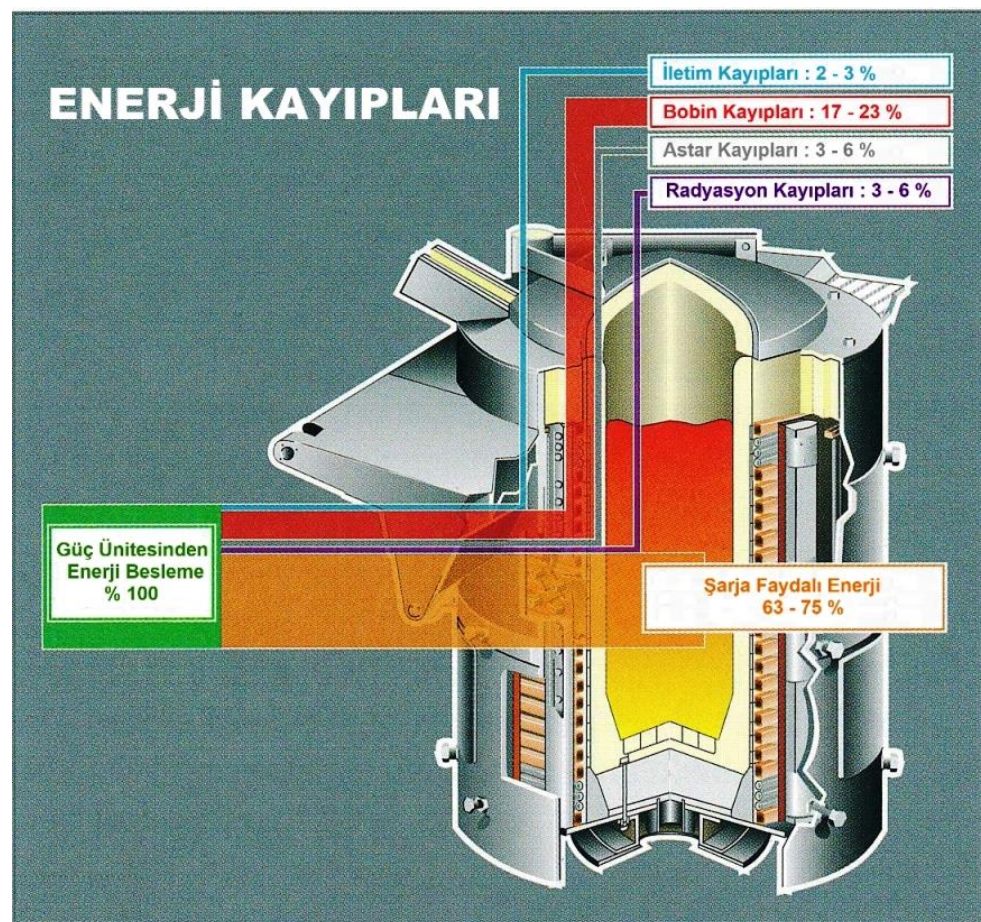
- 4- Bobinler çalıştıkça refrakter astar malzemesinin genişleşip büzülmesi ile ölçülerini kaybederler ve deforme olurlar. Çelik ocaklarının bobinlerini 3-5 yıl pik, sfero ve diğer metallerinin ocak bobinleri 10 yılda bir hem ölçüsel hem izolasyon olarak yenilenmelidir. Özellikle izolasyonu çeşitli su kesilmesi şokları ile zayıflamış, “kavrulmuş” bobinlerde tristör arızaları artar.
- 5- Özellikle 15-20 yıldan eski ocakların kondansötör sıgaları düşmüş olabilir ve bobin ile kondansatörlerin uyumu bozulmuş olabilir. Her 10 yılda bir kondansatörlerin ölçülmesi yararlı olur. Çeşitli tadilat/ayar ve yenilemeler ile ocak performansı ilk günkü düzeyine yaklaştırılabilir.
- 6- En önemli performans kayıplarından biri, ocak imalatçısının astar kalınlığını veya taban astarı yüksekliğini yeterli bulmayan “tecrübeli” ocakçıların şablon çaplarını küçülterek astarı kalınlaştırması ile oluşur. Ocak kondansötörlerindeki tolerans bu artışı bir ölçüye kadar karşılasa bile çok “temkinli” ocakçıların 4-5 cm’lik artışlarını karşılayamaz; elektrik tüketimi artar ve ergitme süresi uzar. Ocak imalatçıların verdiği orjinal astar kalınlıklarından sapma asla yapılmamalıdır. Astar kalınlaşınca astar ömrü artar ancak bunun kaybettikleri kazandırdıkları ile karşılaştırılmaz.



Şekil-11 Refrakter Ömrünün Değişimi (Ref 2)

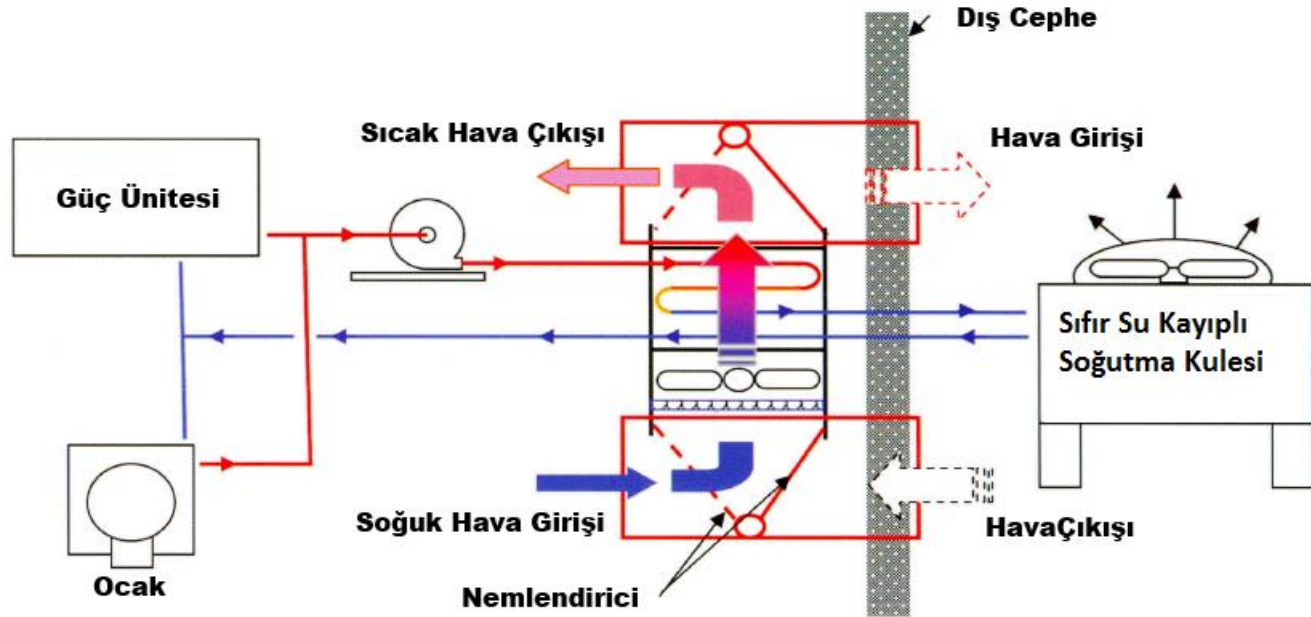
E-DİĞER TASARRUF YÖNTEMLERİ

- 1- Son yıllarda indüksiyon ocaklarının soğutma suyu sistemleri ile atmosferde artan ısının üzerine geri kazanım konusunda çalışmalar artmıştır. Kışın yazıhanelerin, talaşlı imalat atölyesinin veya modelhanenin ısıtılmasını, yazında soğutulmasını bu yöntemle yapan dökümhaneler artmaktadır.



Şekil-12 İndüksiyon Ocaklarında Isı Dengesi (Ref 2)

- 2- Türkiye’de yaklaşık 1.5 milyon ton döküm mamul üretilmekte. Ortalama %70 verimle dökülse yaklaşık 2 milyon ton metal ergitildiği varsayılabilir. Bu yaklaşık 12 milyon MW elektrik harcandığını göstermektedir. Soğutma suyu ile bunu %25-30’u atmosfere gönderilmektedir. Bu da yaklaşık 3 milyon MW eder ve küçük bir nükleer santral kapasitesi kadardır. Alttaki şekilde böyle bir ısı kazanım tesisinin çalışma şeması görülmektedir.



Şekil-13 İndüksiyon Ergitme Sistemlerinde Isı Geri Kazanımı (Ref 1)

SONUÇ;

İndüksiyon ocaklı tesislerde verimliliğin ve enerji tasarrufunun yapılabileceği çok alan, tercih ve uygulama vardır. Bazıları çok basit gibi görünen yukarıdaki öneriler, birçok dökümhane/çelikhanede uygulanmamaktadır. Bu önerilerin %70 oranda gerçekleştirilmesi bile en az %10 tasarruf sağlar. Yıllık enerji faturasının %10 azaldığını düşünün, ve bu toplam tüketimi dikkate alırsak 1,2 milyon MW eder ki küçük bir nükleer santral kapasitesidir!...

F- REFERANSLAR

- 1- Energy Efficient System Enhancements in The Induction Melt Shop, Foundry Management & Technology April 2011 issue
- 2- The Science & Technology of an Automated Induction Meltshop , S. Prabhu, 2010
- 3- Efficient Melting in Coreless Induction Furnaces, ETSU, February 2000
- 4- Bel Hızındaki Ocakların Avantajları Inductotherm Bülten 1996
- 5- Raising Productivity Reducing risks on The Melt Deck S. Prabhu, Foundry Management and Technology, February 2008