

Çeliklerde Sertleşebilme Kabiliyetinin Hesapla Bulunması

Ruşen GEZİCİ (*)

ÖZET

Sertleşebilme kabiliyeti, teknik ve optimum şartlarla çelik seçimi ve üretimin kontrolünde kullanılan mühim bir malzeme özelliğidir. Hiç bir deneye lüzum kalmaksızın, ideal kritik çapın veya sertlik eğrilerinin hesapla bulunabilmesi için geliştirilen metotlar aynı bir malzeme için çok farklı neticeler verebilmektedir.

Bu araştırmanın gayesi, seçilen tipik malzemeler üzerinde ölçülen ve hesaplanan değerleri mukayese ederek, her metodun geçerlilik sınırlarının tayini ve en iyi yaklaşım veren metotları belirtmektir.

Çeşitli metodların aynı bir malzeme için farklı neticeler vermesinin sebebi, kullanılan tesir faktörlerinin tespit edildikleri şartların ve alaşım sınırlarının dışında da geçerli olacaklarının zannedilmesindedir. Sertlik derinliğini tayin eden faktörler alaşım miktarları haricinde, imalat teknolojisinden ve ostenitleme şartlarından gelen çeşitli iç ve dış tesirlerdir. Sertleşme olayını direkt veya endirekt olarak etkileyen bütün bu değişken tesirler sebebiyle, hesaplamalarda kullanılacak alaşım faktörlerinin geniş sınırlar içinde geçerli olmaları imkansız görülmektedir. Biri birine eşit olması gereken tesir faktörlerinin ortalama değerlerinden faydalanarak ve artan alaşım nisbetine göre doğrusal değil üstel bir fonksiyona göre değişim kabulü ile, yeni bir seri tesir faktörü hesaplanmıştır.

Yapılan mukayeseli hesaplamalar, bu faktörlerin daha da iyi bir yaklaşım verdiklerini göstermiştir. Bunlarla beraber belirli bir alaşım için regresyon metoduna göre bulunacak özel formüllerin pratikte en emin hesaplama yolu olacağı tavsiye edilmektedir.

(*) Doç. Dr. Ruşen GEZİCİ Sakarya D.M.M. Akademisi — ADAPAZARI.

GİRİŞ

Çeliğin imalât sanayiinde en çok kullanılan bir malzeme oluşunda, çeşitli özelliklerinin oldukça geniş sınırlar içinde değiştirilebilmesinin büyük rolü vardır. Bir çeliğin kullanılabilme sınırlarını tam manasiyle belirtebilmek için, ısıl işlemler yaparak çeşitli özelliklerinin ne şekilde değişebileceğini de bilmek gereklidir. Pratikte en çok uygulanan ısıl işlem teknikleri, çeliğin sertleşmesi esasına dayanmaktadır. Çeliğin sertleşebilme kabiliyetinin bilinmesi, meselâ ıslah edilebilme, işlenebilme vs. gibi daha bir çok özelliklerin tesbiti için de gereklidir.

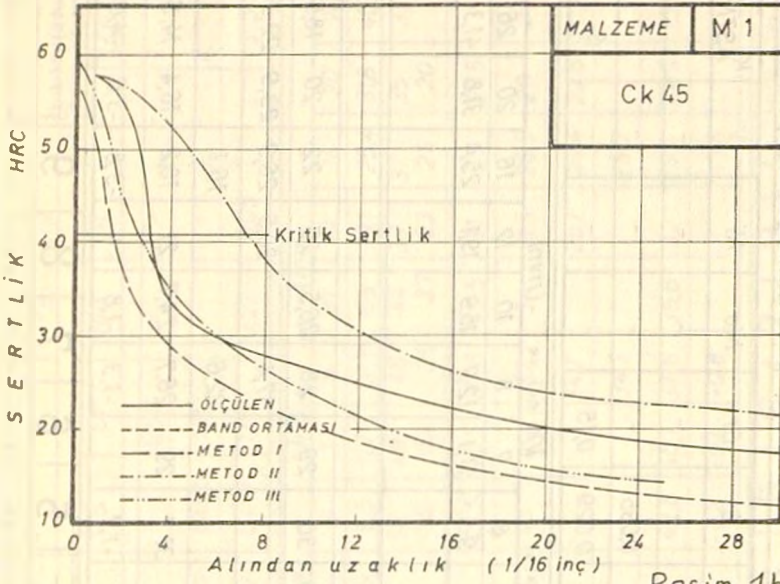
«Sertleşebilme kabiliyeti» olarak ifade edilen malzeme özelliği daha ziyade, «Derinlemesine sertleşme kabiliyeti» olarak da belirtilir ve bir malzemenin belirli şartlar altında parça iç kısımlarına doğru ne miktarda sertleştiğini göstermektedir. Sertleşme olayını karakterize eden ikinci bir büyüklük de, sertleştirme sonunda elde edilebilecek en yüksek sertlik ise de, bu büyüklüğün tayininde, sadece karbon miktarına bağlı olarak daha basit metodlarla ölçme yapmanın mümkün oluşu sebebiyle, sertleşebilme kabiliyeti olarak sadece sertlik derinliği üzerinde durulmaktadır.

Bu günkü tatbikatta, bu malzeme özelliği geniş ve mühim bir kullanıma sahası kazanmıştır. Zira sertleşebilme kabiliyetinin tesbiti sayesinde çelik üreticisi ve tüketicisi, üzerinde anlaşabilecekleri bir müşterek baz ölçü bulabilmektedirler.

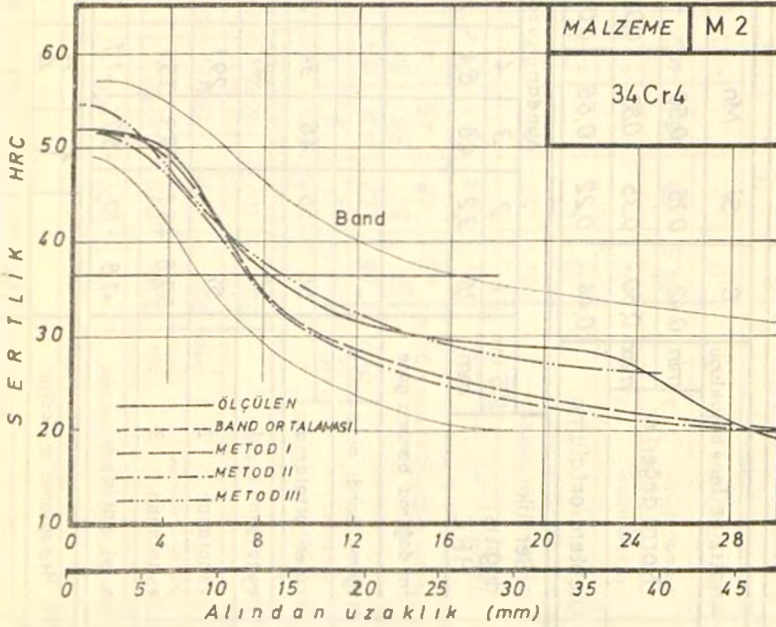
Malûm olduğu gibi bir çeliğin sadece kimyasal analizinin ve çeşitli mukavemet değerlerinin bilinmesi, bu çelikde sertleşme olayı neticesinde elde edilecek değerleri kestirmeye kâfi gelemez.

Çelik imalindeki teknolojik şartlara bağlı olarak, dezoksidasyon esnasında bileşime karışan eser miktarındaki katkıları; çeliğin dökümü, valslenmesi gibi işlemler neticesinde meydana gelecek iç yapı bozuklukları; çelik blokların soğuma şartları ve dolayısıyla husule gelen yapının tane büyüklüğü bakımından inceliği; malzemenin tabii tutulmuş olduğu ısıl ve mekanik işlemler gibi sebeplerle, aynı bir kimyasal analize sahip malzemelerin çok farklı sertlik derinlikleri vermesi mümkündür. Sertleştirilecek çeliğin geçmişi olarak önceden kazanmış olduğu bu vasıflara ilâveten, sertleştirme esnasında da bir çok yeni faktör neticeyi etkilemektedir. Bunlar ise daha ziyade ostentileme şartı olarak tavlama sıcaklığı; bu sıcaklığa geliş hızı ve bu sıcaklıkta bekletme müddeti ile su verme banyosundaki soğutma şartlarından ibarettir.

Resim 1a



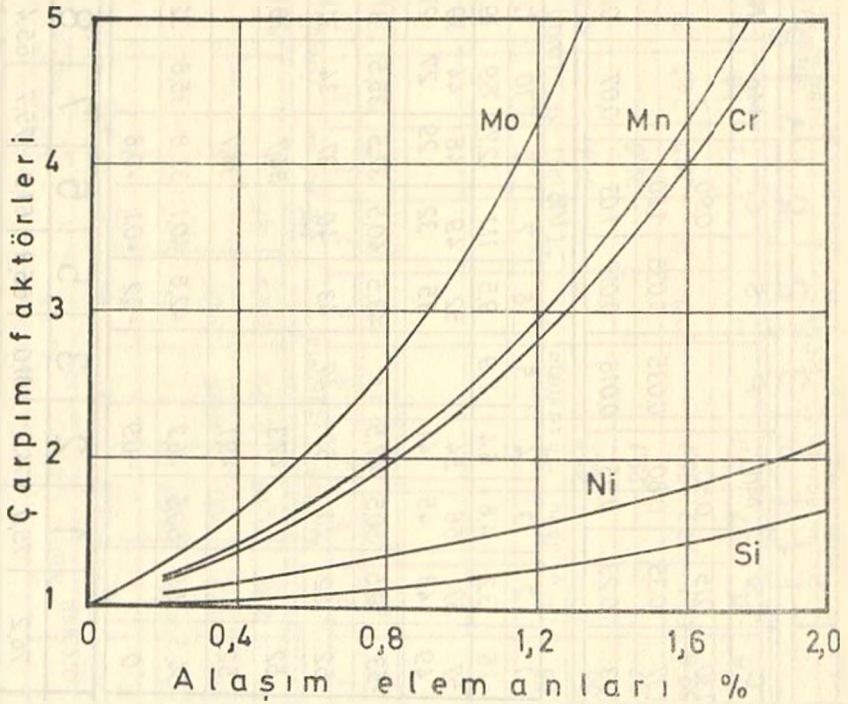
Resim 1b



Malzeme NO: M1		Norm işareti							CK45				Değerler Atlas'dan alınmıştır				Resim: 2a
Analiz ve Tane büyüklüğü		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	K _{ASTM}						
min		0,42	0,15	0,50	-	-	-	-	-	-							
max		0,50	0,35	0,80	0,035	0,035	-	-	-	-							
Ölçülen ortalama		0,44	0,22	0,66	0,022	0,029	0,15	-	-	-	6						
Sertlik dağılışı		Alından uzaklıklar 1/16 inç ve (mm)															
HRC		1/16 inç	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	16	20	26		
		mm	1,6	3,2	4,8	6,4	7,9	9,5	11,1	12,7	15,9	19,1	25,4	31,8	41,3		
Norm dağılıma bandına göre																	
Dağılım bandı ortalaması																	
Ölçülen ortalaması		58	55	46	34	31,5	30	29	28	26,5	25	22	20	18,5			
Hesaplanan 1		58		52,7					37,4		30,5	26,3	23,9	22,3			
Hesaplanan 2		57		29,1					22,6		16,1						
Hesaplanan 3		59,8	45,1	39,3	35,1	31,7	29	26,7	24,7	21	18,2	16,4	14,5				
En iyi yaklaşıım		+1,8	-10	-6,7	+1,1	+1,7		-1,3	-1,8	-4	-3,8	-3,6	-4,0				
D ₁ Hesaplama metodları		1 2 3 5 6 7 8 9 Eniyiyaklaşıım															
İdeal kritik çap mm		35,6	16,5	73,6	30,5	31	33,8	35,9	34,40	36	METOD 7ve9						

Deneysel sıra NO : M2	Norm İsmareti	34Cr4											Değerler Atlası'ndan alınmıştır	Resim : 2b	
Analiz ve tane büyüklüğü	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	K _{ASTM}					
	Min. 0,30	0,15	0,50			0,90		-	-						
Norm değerler	Max. 0,37	0,35	0,80	0,035	0,035	1,20		-	-						
	Ölçülen ortalama 0,33	0,23	0,55	0,016	0,017	1,03	0,07	0,05	-	3-5					
Sertlik dağılışı HRC	Alından uzaklıklar (1/16 inç) ve (mm)														
	17/16	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	16	20	26	
mm	1,6	3,2	4,8	6,4	7,9	9,5	11,1	12,7	15,9	19,1	25,4	31,8	41,3		
Norm dağılıma bandına göre	57	57	56	54		52	49	46	44	39	37	35	33		
	49	48	45	41		35	32	29	27	23	21	20	-		
Dağılıma bandı ortalaması	53	52,5	50,5	47,5		43,5	40,5	37,5	35,5	31	29	27,5	-		
Ölçülen ortalaması	52	52	51	50	47	43	40	37	34	31,5	20,5	29	25		
Hesaplanan 1	52			47,3				34,7		28,1	24,4	22,6	20,4		
Hesaplanan 2	52			49,1				34,7			25,7				
Hesaplanan 3	54,5	55	50,5	46,2		42,8	40,1	37,8	35,8	32	29,4	27,5	25,6		
En iyi yaklaşım	0			-0,9		-0,2	+0,1	+0,8			-3,8				
D ₁ Hesaplama metodları	Ölçülen	1	2	3	5	6	7	8	9	En iyi yaklaşım					
İdeal kritik çap mm	76,2	75,0	74,0	81,0	65,3	61,9	75,7	65,4	73,7	Metod: 7,2,9					

Belirli bir sertleşme derinliğini elde etmek için pahalı alaşım elementleri ihtiva eden bir çelik seçmiş bulunan konstruktör, kontrolü altında olmayan basit sebeple arzu ettiği neticenin hasıl olamayışına müsamaha etmeyecektir. Diğer taraftan çelik üreticisi ise, malın kabul edilmeyişine sebep olabilecek bir hatanın önüne geçmek maksadıyla, daha üretim esnasında müşteri tarafından, spesifikasyonda belirtilen sertleşebilme kabiliyetinin belirli tolerans sınırları içinde gerçekleşmiş olduğundan emin bulunmak isteyecektir.



Resim 3.

Bu suretle teslim kabul şartnamelerinin en mühim bir ölçülebilir değeri ve çelik seçiminde güvenilir bir faktör olarak sertleşebilme kabiliyeti, bugünkü önemini kazanmış bulunmaktadır.

1 — Sertleşebilme kabiliyetinin deneysel tesbiti :

Elde edilecek en yüksek sertlik sadece ostenit içinde çözülmüş karbon miktarına ve kısmen de ostenitleme şartlarına bağlıdır. Halbuki sert-

Resim : 4

Sıra No :	Malzeme	50% martit sertliği HRC	Bulunan ideal kritik caplar (mm)																	
			Sertlik eđrisinden hesaplananlar						Direkt hesaplananlar											
			1		2		3		4		5		6		7		8		9	
			a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	c	d	c	d	c	d	c	d
D1	Q28	6,5	35	5,6	48,2	5,2	36,8	6,4	45,6	12,1	75,0	4,7	44,0	13,5	43,0	13,2	42	13,2	44,4	
D2	Q20	6,6	32	5,2	43,2	6,2	43,7	5,1	35,5	11,1	71,1	4,3	49,9	9,9	39,4	11,1	40,9	10,2	40,7	
D3	Q34	6,5	37	13,0	77,5	9,2	63,5	12,1	75,0	-	-	5,3	60,6	15,2	61,0	14,5	55,0	14,2	58,8	
D4	Q20	6,1	32	7,2	49,5	6,8	44,3	5,4	38,1	11,6	72,5	4,6	52,5	10,2	40,8	11,4	43,5	10,3	43,4	
D5	Q20	6,7	32	7,0	49,3	6,35	44,5	8,6	61,0	22,2	108,0	4,3	70,0	9,8	59,6	11,0	56,4	10,2	54,5	
D6	Q21	6,5	32,5	8,0	55,9	6,35	44,5	8,0	55,9	19,3	99,0	4,1	56,0	10,2	52,3	11,4	54,5	10,4	51,7	

lik derinliği ve dağılışı, başta alaşım elemanları olmak üzere çok çeşitli faktörlere tabi bulunmaktadır.

Sertleşmeyi meydana getiren iç yapı değişimlerinin direkt olarak sayısal tesbiti için henüz bir metod geliştirilmiş değildir. Bu sebeple halen kullanılmakta olan bütün metodlar, kritik soğuma hızına bağlı olarak elde edilecek sertlik derinliğinin, endirekt olarak iç yapı değişimi olayının kendisi veya değişim neticelerinin tetkiki esasına dayanmaktadır. Bu metotlara göre en mühim husus, teşekkül eden martenzit miktarının tayinidir. Kritik çap olarak tarif edilen bir büyüklük, tam merkez kısmında teşekkül eden sert iç yapının, meselâ % 50 nisbetinde martenzitten meydana gelebilmesi için uygun olacak silindirik parça çapını belirtmektedir.

Böylece tesbit edilen kritik çap her ne kadar sertleşebilme kabiliyetinin mukayesesinde kullanılabilirse, deneyin yapıldığı soğutma şartlarının çok farklı olabilmesi nedeniyle geçerliliği sınırlı olmaktadır. Genel olarak her zaman mukayese edilebilir ve temini her zaman mümkün olacak bir standart soğutma şartı olarak, parçanın derhal su içinde ve banyo sıcaklığına düşünceye kadar soğutulması durumu ideal bir soğutma olarak kabul edilir. Bu şartlar altında bulunacak kritik çapa «İdeal kritik çap» denir ve mukayeseler için standart bir ölçü olarak kullanılır.

Sertleşebilme kabiliyetini tesbitte en çok kullanılan deney metodu Jominy - Alından sertleştirme metodudur.

Çeşitli malzemeler için mukayese edilebilir bir büyüklük tesbiti gerektiğinde, Jominy sertlik dağılım eğrisi üzerinden ideal kritik çapın ölçülebilmesi için, % 50 martenzitik yapının sahip olması gereken sertliğin ölçüldüğü alından uzaklık, daha önce hazırlanmış bir diyagrama taşınarak, bu değerlerin tekabül ettiği ideal kritik çap tesbit edilmiş olur. Her ne kadar bu değerler, ölçülen hakiki ideal kritik çap olarak kullanılmakta ise de, bir çeliğin sertleşebilme kabiliyetinin hakiki manada ancak ve bizat sertlik dağılım bandlarının tümü tarafından temsil edilebileceği unutulmamalıdır.

2 — Sertleşebilme kabiliyetinin hesapla bulunması :

Sertleşebilme kabiliyetinin sayısal ifadesi için yapılan deneyler, genellikle uzun zaman almakta ve malzeme sarfına sebep olmaktadır. Hiç bir deney yapmadan, sadece en mühim tesir faktörlerini hesaba katmak suretiyle sertleşebilme kabiliyetini hesap yolu ile ifade edebilmenin pratik önemi açıktır.

Belirli bir çelikde bütün alaşım elemanlarının tesiri dışında, sadece karbon miktarına bağlı olarak belirli bir «Baz sertleşebilme kabiliyeti» tarif edilerek, bütün diğer alaşım elemanlarının bu baz sertliğe değişik oranlarda katkıda buldukları kabul edilmektedir.

Muhtelif alaşım elemanlarının baz sertleşebilme kabiliyetini ne nisbette arttıracaklarını gösteren tesir faktörleri, genellikle pratik tatbikat şartlarında ve deneysel olarak bulunur.

Bu faktörler ile hesaplama yaparken, bazı metodlara göre her bir alaşım elemanının yüzde miktarıyla, elemana ait çarpım faktörü baz değer ile çarpılır. Grossmann (1) tarafından geliştirilen bu hesaplama tarzına çarpım metodu denir.

Hesaplama yapabilmek için çeliğin kimyasal bileşimi ile iç yapıdaki tane büyüklüğünün bilinmesi gerekir. Formül (1)'e uygun olarak yapılacak hesaplama neticesinde ideal kritik çap bulunmuş olur.

$$D_I = D_{IC} \cdot F_{Mn} \cdot \% M_n \cdot F_{Si} \cdot \% Si \cdot F_{Cr} \cdot \% Cr \cdot F_{Ni} \cdot \% Ni \cdot F_{Mo} \cdot M_o \quad (1)$$

Ancak, kullanılan çarpım faktörleri için muhtelif araştırmacılar tarafından verilen değerlerde farklılıklar bulunmaktadır. Bundan başka mesela Cr ve Mo gibi bazı elemanların sertleşmeye tesirlerinin müstakil olarak gösterilemeyip beraber buldukları karbon miktarına bağlı olmaları gerektiği de iddia edilmektedir. Bu basit hesaplama sisteminde müstakil ve lineer bir bağıntı kabul edilmektedir.

Meselâ Hollomon ve Jaffe (2) gibi araştırmacılar, gerek baz sertleşebilme kabiliyetinin ve gerekse çarpım faktörlerinin hesabında kullanılan % 50 martenzitik iç yapı sertliğinin büyük ölçüde bakiye yapı elemanlarının perlit ve Bainitik ara kademesinde teşekkül etmesine çok bağlı olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca burada da, yapı içinde hiç bir çözülmemiş karbidin bulunmadığı kabul edilmektedir. Bir diğer tanınmış hesaplama metodu ise CRAFTS ve LAMONT (3) tarafından geliştirilen toplama Metodudur. Burada karbon, diğer alaşım elemanları ve Tane büyüklüğü için, yapı içindeki ölçülmüş miktarlarıyla orantılı olarak hesaplanan sertlik katkı miktarları toplanmaktadır. Tesbit edilmiş bulunan tablolarla, her % 1 alaşım elemanı için su verme sertliğine yapılacak ilâve miktarları alınarak mevcut alaşım miktarlarına göre hesaplama yapılmaktadır. Karbon baz sertliği ve Martenzit baz sertliği için verilen diyagramlar yardımıyla, alından herhangi bir uzaklıktaki nokta için sertlik hesaplanmış olur. Böylece Jominy eğrisinin hesapla bulunması mümkün olmakta, is-

Resim 1 de M1 ve M2 numaralı malzemeler için Sertlik eğrileri ve Atlas'dan alınan Dağılım bandının ortalaması verilmektedir. Resim üzerinde ayrıca, üç ayrı metoda (Metod I, II ve III) göre hesaplanmış Sertlik eğrileri de mukayese için çizilmiştir. Bu eğriler üzerinde, her malzeme için kritik sertliğe tekabül eden alından uzaklıklar da belirtilmiştir.

Resim 2'de yine örnek olarak seçilmiş iki malzeme için ölçülen ve hesaplanan sertlik eğrilerinin alından uzaklıkları tablo halinde verilmiştir. Bu tablolarda, D , Kritik çapın 9 ayrı hesaplama metoduna göre bulunmuş değerleri ile, ölçülmüş değer mukayese edilmiş ve en iyi yaklaşım veren metodlar belirtilmiştir.

Bu 9 hesaplama metodu şunlardır :

Metod 1 : Crafts, toplama metodu.

Metod 2 : Field, İdeal kritik çaptan hesaplama metodu.

Metod 3 : Just, Regresyon metodu, J - 1.

Metod 4 : Just, Regrasyon metodu, J - 2.

Metod 5 : Kramer Faktörleri ile hesaplama.

Metod 6 : Grossman'ın Çarpım metodu.

Metod 7 : Yeni faktörlerle çarpım metodu.

Metod 8 : Moser, Üstel fonksiyon metodu.

Metod 9 : Yeni Faktörlerle Üstel fonksiyon metodu.

Burada «Yeni Faktörler» şeklinde verilen değerler, bu araştırma sonunda teklif edilmiş olan eğrilerden bulunan değerlerdir.

4 — Teklif edilen yeni faktörler :

Aynı bir malzeme için yapılan hesaplamalarda, bazı metodlara göre bulunan değerler arasında büyük farklılıklar görülmektedir. Değişik malzemeler ve değişik kabullere göre tesbit edilmiş tesir faktörlerinin, sınırları tam belirtilmediği için genel olarak kullanılabilir zannedilmesi bu farklılığa sebep olmaktadır. Tesir faktörlerinin doğrusal mı yoksa bir üstel fonksiyona göre mi değiştiği; biri biriyle ilgili olup olmadığı; kar-

bon miktarına bağlı olarak bir değişme gösterip göstermediği hususlarında henüz kat'i bir şey söylenememektedir. Fakat bazı metodların belirli sınırlar içinde hakiki veya ölçülen değer olarak kabul edilenlere çok yakın neticeler verdiği de görülmektedir.

Aynı bir alaşım sahası içinde yapılan araştırmalarda, değişik araştırmacıların bilerek veya bilmeyerek neticelere tesirine sebep oldukları bir çok faktörleri pratik bir şekilde hesaplara dahil edebilmek maksadıyla, eşit olmaları gereken faktörlerin aritmetik ortalamasının alınması bazı araştırmacılar tarafından denenmiştir (7, 8). Bu çalışma esnasında aynı şekilde ortalama değerlerden faydalanarak, fakat neşredilmiş ve bilinen daha çok sayıdaki değerleri hesaba katmak suretiyle yeni bir seri tesir faktörü teklif edilmiştir. Bu yeni faktörlerle yapılan hesaplamalar diğerleri ile mukayese edildiğinde, daha iyi bir yaklaşım mümkün olduğu gösterilmiştir.

Resim 3 de verilen bu yeni tesir faktörlerinin hesabında, Grossmann Field (1); Kramer (1); Fostini (10); Retana (8) ve Moser (4) tarafından kullanılan faktörlerin ortalaması alınmış, fakat alaşım nisbetine göre tesir faktörlerinin değişiminin doğrusal değil, bir üstel fonksiyona tabi olduğu kabul edilmiştir.

Resim 4 de misal olarak verilen tabloda deney ve hesaplama neticeleri toplu olarak verilmiş ve her bir malzeme için en iyi yaklaşım veren metodlar belirtilmiştir.

Bu Tabloda, deney için seçilen D 1 - D 6 malzemelerinde hesaplanan İdeal kritik çaplar, ölçülerek bulunmuş «Hakiki» değerler ile mukayese edilmektedir. Tabloda :

$a : D_{IC}$

$b : D_I$ (hesapla)

$c : \text{Kritik alından uzaklık.}$

$d : D_I$ (Eğri üzerinde ölçülen)

Tabloda da görüldüğü gibi, her malzeme için hakiki ölçülmüş değerlere çok yakın değerler verebilen Hesaplama Metodları bulunmaktadır. Bu sebeple malzeme grupları için en uygun metodu tesbit ederek, her metodun her malzemeye uygulanması gibi, hatalı genelleştirmelerden kaçınmanın gerektiği ortaya konulmuş olmaktadır.

L İ T E R A T Ü R :

- 1 — M.A. Grossman; M. Asimov : Am. Soc. For Metals Cleveland 1930.
- 2 — J.H. Hollomon; L.D. Jaffe : Trans. AİME 167 (1946) S. 601 - 616.
- 3 — W. Crafts; J.L. Lamont : Trans. AİME 167 (1946) S. 698 - 718.
- 4 — A. Moser; A. Legat : HIM 24 (1969) S. 100 - 105.
- 5 — J. Field : Metal Progress 43 (1943) S. 402 - 405.
- 6 — E. Just : HTM 23 (1968) S. 85 - 100.
- 7 — A. Legat, A. Moser : HIM 20 (1965) S. 91 - 97.
- 8 — A. Retana : Climax Özel Rapor ve Metal Progress 1971 S. 65 - 69.
- 9 — İ.R. Kramer; R.H. Hafner; S.L. Toleman : Trans. AİME 158 (1944) S. 138.
- 10 — R.V. Fostini : Climax Report 24 (1967).
- 11 — R. Gezici : Ege Üniversitesi Müh. Bil. Fak. Doç. Tezi (1974).