



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK SICAKLIKLARDA Nİ-ESASLI ÇOK
BİLEŞENLİ ALAŞIM SİSTEMLERİNDE GİBBS
SERBEST ENERJİSİNİN TERMODİNAMİK
OLARAK İNCELENMESİ**

FIRAT DOĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2018

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK SICAKLIKLARDA Nİ-ESASLI ÇOK
BİLEŞENLİ ALAŞIM SİSTEMLERİNDE GİBBS
SERBEST ENERJİSİNİN TERMODİNAMİK
OLARAK İNCELENMESİ**

FIRAT DOĞAN

Bu tez,
Fizik Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
Derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2018

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Fırat DOĞAN tarafından hazırlanan “Yüksek Sıcaklıklarda Ni-esash Çok Bileşenli Alaşım Sistemlerinde Gibbs Serbest Enerjisinin Termodinamik Olarak İncelenmesi” adlı bu tez, jürimiz tarafından 20 / 09 / 2018 tarihinde oy birliği / oy çokluğu ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans / Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali DOĞAN (DANIŞMAN)
Fizik Anabilim Dalı
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi



Doç. Dr. Hüseyin ARSLAN (ÜYE)
Fizik Anabilim Dalı
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi



Doç. Dr. Burhanettin Göker DURDU (ÜYE)
Fizik Anabilim Dalı
Kilis 7 Aralık Üniversitesi



Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Fırat DOĞAN

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

YÜKSEK SICAKLIKLARDA Nİ-ESASLI ÇOK BİLEŞENLİ ALAŞIM SİSTEMLERİNDE GİBBS SERBEST ENERJİSİNİN TERMODİNAMİK OLARAK İNCELENMESİ

FIRAT DOĞAN

ÖZET

Bu çalışmada, Chou' nun genel çözüm modeli, üçlü sıvı Co-Sb-Sn alaşımlarının seçilen üç $x_{Sb} / x_{Sn}=1/3$, $x_{Co} / x_{Sb}=1/5$ ve $x_{Co} / x_{Sn} = 1/4$, dördü alaşımlardan seçilen dördü $Ag_{10}-In_{80}-Pd-Sn_{10}$, $Ag_{20}-In_{60}-Pd-Sn_{20}$ ve yedi bileşenli Ni-Cr-Co-Al-Mo-Ti-Cu alaşımlarının, $x_{Ni} = x_{Cu}$, $x_{Cr} = x_{Ti}$, $x_{Co} = x_{Ti}$, $x_{Al} = x_{Ti}$, $x_{Mo} = r x_{Ti}$, $x_{Ti} = (1 - x_{Cu})/(r+5)$ ve $r = 0.1$ kesitleri için alaşımların integral entalpilerinin sırasıyla 1273 K, 1173 K ve 2000 K' de hesaplanması için kullanılmıştır. Chou modelinin yukarıda belirtilen alaşımlara uygulanmasına ilişkin literatürde herhangi bir bilgiye rastlanmamakla birlikte, Kohler, Muggianu ve Toop gibi diğer geleneksel modeller de mevcut hesaplamalara dahil edilmiştir. Standart sapma ifadesi kullanarak, geometrik modellerin sonuçları ve ilgili deneylerin sonuçları arasında oldukça iyi bir uyuma olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İntegral entalpi, Gibbs serbest enerjisi, iki, üçlü ve yedi bileşenli alaşımlar, Geometrik modeller.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Eylül / 2018

Danışman: Prof. Dr. Ali DOĞAN

Sayfa sayısı: 47

THERMODYNAMICAL INVESTIGATION OF GIBBS FREE ENERGY OF NI-BASED MULTI COMPONENT ALLOYS AT HIGH TEMPERATURES SUMMARY

FIRAT DOĞAN

SUMMARY

In the present study, Chou's the general solution model has been used to predict the integral enthalpies of mixing of liquid Co-Sb-Sn ternary alloys with three selected sections $x_{Sb} / x_{Sn}=1/3$, $x_{Co} / x_{Sb}=1/5$ ve $x_{Co} / x_{Sn} = 1/4$, $Ag_{10}-In_{80}-Pd-Sn_{10}$, $Ag_{20}-In_{60}-Pd-Sn_{20}$ quaternary alloys and Ni-Cr-Co-Al-Mo-Ti-Cu with seven component alloys with selected sections, $x_{Ni} = x_{Cu}$, $x_{Cr} = x_{Ti}$, $x_{Co} = x_{Ti}$, $x_{Al} = x_{Ti}$, $x_{Mo} = r x_{Ti}$, $x_{Ti} = (1 - x_{Cu})/(r+5)$ and $r = 0.1$, at temperatures 1273, 1173 K, K and 2000 K, respectively. However, any information in the literature regarding the application of Chou's model to the alloys in mentioned above could not find, the other traditional models such as Kohler, Muggianu and Toop are also included in present calculations. Using standart deviation formula, it is seen that some reasonable agreement between the results of the geometric models and those of related experiments.

Key Words: Integral enthalpy, Gibbs free energy, two, three and seven component alloys, Geometric models.

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Physics Branch September / 2018

Supervisor: Prof. Dr. Ali DOĞAN

Page number: 47

TEŞEKKÜR

Akademik bilgisi ve birikimi ile beni yönlendirerek Yüksek Lisans eğitimim ve tez çalışmamın başarılı şekilde tamamlanmasında önemli katkıları sağlayan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ali DOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen sayın Doç. Dr. Hüseyin ARSLAN'a, teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini hiç esirgemeyen eşim Nazlı DOĞAN'a ve üzerimde çok emeği olan anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fırat DOĞAN

Eylül – 2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	I
SUMMARY	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	V
ŞEKİLLER DİZİ	VII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	2
3. MATERYAL VE METOT	4
3.1. Materyal	4
3.2. Metod	4
3.2.1. Chou Modeli	4
3.2.2. Muggianu modeli	13
3.2.3. Kohler modeli	14
3.2.4. Toop modeli.....	15
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	17
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 4.1. Co-Sb-Sn alaşımının 1273 K' de ikili ve üçlü etkileşme parametreleri.....	18
Çizelge 4.2. Co-Sb-Sn alaşımına eşlik eden 1273 K' de hesaplanan kareler sapma toplamı ve benzerlik katsayıları.....	19
Çizelge 4.3. Co-Sb-Sn alaşımında Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, 1273 K' de $x_{Co}/x_{Sn} = 1/4$ kesiti için integral entalpilerin Sb kompozisyonlarına karşılık elde edilen değerler.....	19
Çizelge 4. 4. Co-Sb-Sn alaşımında Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, 1273K' de $x_{Co}/x_{Sb} = 1/5$ kesiti için integral entalpilerin Sn kompozisyonlarına karşılık elde edilen değerler.....	20
Çizelge 4.5. Co-Sb-Sn alaşımında Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, 1273K' de $x_{Sb}/x_{Sn} = 1/3$ kesiti için integral entalpilerin Co kompozisyonlarına karşılık elde edilen değerler.....	20
Çizelge 4.6. Ag-In-Pd-Sn alaşım sistemindeki ikili, üçlü ve dörtlü etkileşme parametreleri.....	25
Çizelge 4.7. Ag-In-Pd-Sn alaşımı için 1173 K' de hesaplanan kareler sapma toplamları ..	26
Çizelge 4.8. Ag-In-Pd-Sn alaşımı için 1173 K' de hesaplanan benzerlik katsayıları ..	26
Çizelge 4.9. Dörtlü Ag ₁₀ -In ₈₀ -Pd-Sn ₁₀ alaşımı için Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, 1273 K' de integral entalpilerin Pd kompozisyonlarına karşılık elde edilen değerler.	26
Çizelge 4.10. Dörtlü Ag ₂₀ -In ₆₀ -Pd-Sn ₂₀ alaşımı için Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, 1273 K' de integral entalpilerin Pd kompozisyonlarına karşılık elde edilen değerler.	27
Çizelge 4.11. Ni-Cr-Co-Al-Mo-Ti-Cu alaşımlarının 2000 K' de ikili etkileşme parametreleri.....	30
Çizelge 4.12. Ni-Cr-Co-Al-Mo-Ti-Cu alaşımlarına eşlik eden 2000 K' de hesaplanan kareler sapma toplamı ve benzerlik katsayıları ..	31
Çizelge 4.13. Seçilen üç örnek için benzerlik katsayılarının doğrulanması.....	38
Çizelge 4. 14. Ni-Cr-Co-Al-Mo-Ti-Cu alaşımı için Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, de $x_{Ni} = x_{Cu}, x_{Cr} = x_{Ti}, x_{Co} = x_{Ti}, x_{Al} = x_{Ti}, x_{Mo} = r x_{Ti}, x_{Ti} = (1x_{Cu})/(r+5)$ ve $r = 0.1$ kesiti için 2000 K' de hesaplanan karışımın Gibbs enerjilerinin Cu kompozisyonlarına karşılık gelen değerleri.....	40

Sayfa No

Çizelge 4.15. Her model için $Ag_{10}-In_{80}-Pd-Sn_{10}$ alaşımında 1173 K'de hesaplanan integral entalpi için, standart sapma değerleri..... 41

Çizelge 4.16. Seçilen her model için $Ag_{20}-In_{60}-Pd-Sn_{20}$ alaşımında 1173 K'de hesaplanan integral entalpi için, standart sapma değerleri..... 41

Çizelge 4.17. Seçilen her model için Co-Sb-Sn alaşım sisteminin $x_{Sb} / x_{Sn}=1/3$ alaşım oranında 1173 K'de hesaplanan integral entalpi için, standart sapma değerleri..... 42

Çizelge 4.18. Seçilen her model için Co-Sb-Sn alaşım sisteminin $x_{Co}/x_{Sb}=1/5$ alaşım oranında 1173 K'de hesaplanan integral entalpi için, standart sapma değerleri..... 42

Çizelge 4.19. Seçilen her model için Co-Sb-Sn alaşım sisteminin $x_{Co}/x_{Sn}=1/4$ alaşım oranında 1173 K'de hesaplanan integral entalpi için elde edilen standart sapma değerleri. 42

ŞEKİLLER DİZİ

Sayfa No

- Şekil 4.1. İkili Co-Sb and Co-Sn alaşımların Toop modeli ile 1273 K' de hesaplanmış integral entalpileri (Elmahfoudi, ve ark, 2012)..... 21
- Şekil 4.2. Üçlü Co-Sb-Sn alaşımı için tüm modellerin kullanımı ile 1273 K' de $x_{Co} / x_{Sn} = 1/4$ kesiti için hesaplanmış integral entalpiler, H^{exc} (J/Mol). 22
- Şekil 4.3. Üçlü Co-Sb-Sn alaşımı için tüm modellerin kullanılmasıyla, tüm kompozisyon üzerinden, 1273 K' de $x_{Co} / x_{Sn} = 1/4$ kesiti için hesaplanmış integral entalpiler, H^{exc} (J/Mol). 22
- Şekil 4.4. Üçlü Co-Sb-Sn alaşımı için tüm modellerin kullanımı ile 1273 K' de $x_{Co} / x_{Sb} = 1/5$ kesiti için hesaplanmış integral entalpiler, H^{exc} (J/Mol). 23
- Şekil 4.5. Üçlü Co-Sb-Sn alaşımı için tüm modellerin kullanılmasıyla, tüm kompozisyon üzerinden, 1273 K' de $x_{Co} / x_{Sb} = 1/5$ kesiti için hesaplanmış integral entalpiler, H^{exc} (J/Mol). 23
- Şekil 4.6. Üçlü Co-Sb-Sn alaşımı için tüm modellerin kullanımı ile 1273 K' de $x_{Sb} / x_{Sn} = 1/3$ kesiti için hesaplanmış integral entalpiler, H^{exc} (J/Mol). 24
- Şekil 4.7. Üçlü Co-Sb-Sn alaşımı için tüm modellerin kullanılmasıyla, tüm kompozisyon üzerinden, 1273 K' de $x_{Sb} / x_{Sn} = 1/3$ kesiti için hesaplanmış integral entalpiler, H^{exc} (J/Mol). 24
- Şekil 4.8. Dörtlü $Ag_{10}-In_{80}-Pd-Sn_{10}$ alaşımı için tüm modellerin kullanımıyla, deneysel ölçüm aralığı üzerinden, 1273 K' de hesaplanan integral entalpi değerleri, H^{exc} (J/Mol). 28
- Şekil 4.9. Dörtlü $Ag_{10}-In_{80}-Pd-Sn_{10}$ alaşımı için tüm modellerin kullanılmasıyla, Tüm kompozisyon aralığı üzerinden, 1273 K' de hesaplanan integral entalpi değerleri, H^{exc} (J/Mol). 28
- Şekil 4.10. Dörtlü $Ag_{20}-In_{60}-Pd-Sn_{20}$ alaşımı için tüm modellerin kullanımıyla, deneysel ölçüm aralığı üzerinden, 1273 K' de hesaplanan integral entalpi değerleri, H^{exc} (J/Mol). 28
- Şekil 4.11. Dörtlü $Ag_{20}-In_{60}-Pd-Sn_{20}$ alaşımı için alaşımı için tüm modellerin kullanılmasıyla, tüm kompozisyon üzerinden, 1273 K' de hesaplanan integral entalpi değerleri, H^{exc} (J/Mol). 29

Şekil 4.12. Ni-Cr-Co-Al-Mo-Ti-Cu alaşımı için Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, $x_{Ni} = x_{Cu}$, $x_{Cr} = x_{Ti}$, $x_{Co} = x_{Ti}$, $x_{Al} = x_{Ti}$, $x_{Mo} = r x_{Ti}$, $x_{Ti} = (1 - x_{Cu})/(r+5)$ ve $r = 0.1$ kesiti için 2000 K' de hesaplanan karışımın Gibbs enerjilerinin, G^{exc} (J/Mol), Cu kompozisyonuna göre değişimi..... 41

1. GİRİŞ

Faz Denge diyagramlarının çizilebilmesi için incelenen alaşımların Gibbs serbest enerjisi veya entalpisinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için çok sayıda deney yapılmış olmasına karşılık, teorik olarak bunların doğrulanabilmesi için, konu ile ilgili araştırmacılarca oldukça az sayıda teorik model geliştirilebilmiştir. Diğer taraftan, Fiziksel Metallurji'nin bugünkü problemi yapılan çok sayıdaki deneyin sonuçlarını genel olarak açıklayabilecek şekilde bazı teorik modeller geliştirmektir. Bu durum bazı araştırmacılar tarafından kısmen giderilmiş olmasına rağmen halen bu yöndeki boşluk giderilememiştir. Yapılması düşünülen bu araştırmanın amacı iki, üç, dört ve yedi bileşenli alaşımların Redlich-Kister parametrelerini literatürden tespit edip, adı geçen alaşım sistemlerinin karışımın Gibbs enerjisi ve integral entalpsi ifadelerini uygun olan bazı kompozisyonlara göre değişimini belirlemek ve sonuçlarını yapılan deneysel sonuçlarla karşılaştırarak, istatistiksel olarak analiz etmektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Termodinamik verilerin eksik olduğu özellikle üçlü ve daha çok-bileşenli sistemler için termodinamik özellikler ve faz diyagramlarına ilişkin önemli bir ihtiyaç söz konusu olmaktadır. Ne yazık ki, bu problem, çok-bileşenli sistemlerdeki deneylerin karmaşıklığı nedeniyle deneysel olarak çözülecek kadar kolay değildir. Son zamanlarda teknoloji ve malzeme bilimi dünyasında, termodinamik özelliklerinin ve faz diyagramlarının teorik olarak hesaplanması giderek daha da önemli hale gelmektedir. Üçlü veya çok-bileşenli termodinamik dataların doğrudan doğruya deneyler yerine, hesaplamalardan tespit edilmesi beklenmektedir. İkili olanlardan yola çıkarak üçlü ve çok bileşenli sistemlerden termodinamik özellikleri öngörmek sadece basit, etkili olması ve söz konusu olanın sadece bilginin elde edilmesinin kolay olmasını gerektirmesi nedeniyle, tüm teorik yöntemler arasında en cazip ve güçlü bir yöntem olmaktadır. Bu yöntem geçmiş yıllarda üçlü ve çok bileşenli sistemler için termodinamik özelliklerinin tahmin edilmesinde ve faz diyagramlarının hesaplanmasında zaten yaygın olarak kullanılmış da bulunmaktadır. Çok bileşenli alaşımların karışımın Gibbs enerjisi veya entalpisinin belirlenmesi konusundaki sayısal yöntemin temeli, bir binary (ikili) alaşımın kompozisyonundan tayin edilmiş, her biri üç yada daha çok binary alaşımı cinsinden ternary (üçlü), quaternary (dörtlü), Quinary (beşli), sesquinary (altılı) ve yedi, v.s. bileşenli alaşımların termodinamik özelliklerini ifade edebilen bir modelin seçimi ile ilgilidir.

İkili bir bileşimi seçme yöntemine göre, Hillert (Hillert, 1980) Bu modelleri simetrik ve asimetrik olarak sınıflandırmıştır. Kohler, (Kohler, 1960) Colinet (Colinet, 1967) ve Muggianu (Muggianu ve Gambino, 1975) simetrik modellere aittir. Oysa, Boinnier (Boinnier ve Caboz, 1960), Toop (Toop, 1965) ve Hillert (Hillert,1972) modelleri asimetrik modellere aittir. 1960 tan 1986 tarihine kadar 7 veya 8 civarında modeller yayınlanmıştır. Ansara (Ansara, 1972, Ansara, 1979) ve Hillert (Hillert, 1980, Hillert, 1983) 1970 ve 1980 başlarında bu modeller için iyi bir yorum, özet ve tartışma vermiş bulunmaktadır. O zamandan beri, 1987 den (Chou, 1987a, Chou, 1987b, Li, 1988,Chen, 1989a, Chen, 1989b, Chen, 1989c, Chou, 1989a, Chou ve Li, 1989b) 1989 arasında onlarca model geliştirilmiş bulunmaktadır. Bu modellerin sistematik bir özeti Chou ve Chang (Chou ve Chang, 1989) tarafından verilmiştir.

Bir A-B-C üçlü alaşımında A-B ve A-C integral entalpi, excess (fazlalık) Gibbs enerjisi,yüzey gerilimi,viskozite v.s gibi ideal çözeltiden olan termodinamik sapmalar ikinci bileşene göre çizim yönünden birbirine şekil ve büyüklük olarak benzemekte, ancak

B-C sisteminden oldukça fazla farklı ise, A-B-C sistemi asimetriktir denir. A-B ve A-C ikili alaşımlarındaki ortak bileşen olan A bileşeni termodinamik asimetrik bileşen olarak seşilmelidir. Asimetrik modellerde termodinamik veya termofizik özellik formüllerinin bu asimetrik bileşene göre ifade edilip, hesaplanması durumunda deneysel sonuçlar ile oldukça iyi uyulaşan sonuçlar vermektedir. Chou' nun genel çözelti modeli olarak bilinen GSM modeli alaşımlardaki asimetrik bileşeni bulma problemini ortadan kaldırmıştır ve asimetrik bileşen özelliklerinden kaynaklanan hatalara sahip değildir. GSM modeli bu problemi benzerlik katsayıları (similarity coefficients) kavramını teorisine katarak çözmüştür. Alaşımlardaki asimetrik bileşeni bulma işlemi benzerlik katsayıları ile de yapılabilir. Bu konuda daha sonraki bölümlerde ayrıntılı açıklamalar uygulama yaparak verilecektir.

Birkaç on yıldır kurşun-kalay (Pb-Sn) lehimleri elektronik devre bileşenleri ve alt bileşenlerini birbirine montajlamak amacıyla elektronik sektöründe kullanılmaktadır. Pb-Sn lehimlerinin sanayide yaygın kullanımı öncelikle düşük maliyet ve uygun malzeme özelliklerinin birlikte dikkate alınmasından kaynaklanmaktadır. Ancak, kurşunun toksik özelliği nedeniyle, kullanımı çoğu uygulamalarda sınırlı olmaktadır. Bu nedenle, yeni kurşunsuz lehim gerekli olmuştur ve Ag, Zn, In, Bi, Sb gibi alaşım elementleri ile kalay esaslı çok bileşenli malzemeler oldukça fazla umut verici olmuştur. Muhtemelen yüksek sıcaklıklarda başlıca lehim uygulamasının olası öneminin artması nedeniyle, son zamanlarda kurşunsuz Sn-Zn esaslı alaşımlara ilginin yine de arttığı görölmektedir (Suganuma ve ark., 2009).

Son zamanlarda, Rechchach (Rechchach ve ark., 2010) 773 K de tüm kompozisyon üzerinden sıvı üçlü In-Sn-Zn alaşımlarında karışımın integral entalpilerini ölçmüştür. Genellikle, nispeten yüksek sıcaklık araştırmalarında bazı metallerin buharlaşması deneysel ölçümleri zorlaştırmış ve parasal değerini artırmıştır. Bu termodinamik hesaplama yöntemlerini uygulamasını gerektiren başlıca neden olmaktadır.

Yapılması düşünölen bu çalışmada söz konusu araştırmacıların geliştirdikleri teori yeniden formöle edilip, iki, üç, dörtlü ve yedi bileşenli bazı alaşımların termodinamik parametrelerinin analizini yapmada kullanılacaktır. Bu çalışmalar ile ilgili son yıllarda yayınlanan çok az sayıda makale bulunmaktadır ve bunlardan birkaçı kaynaklar da verilmiştir (Zhang ve Chou, 2010 , Dogan, 2015a, Dogan, 2015b).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada elde edilen analitik ifadelerin uygulanabilirliğinin bir karşılaştırmasını yapmak için yedi bileşenli Ni-Cr-Co-Al-Mo-Ti-Cu (alaşım kompozisyonları % atomcadır) alaşımlarının integral enerjisi ve ayrıca alt bileşenli bazı kurşunsuz alaşımlarının integral entalpisi için yapılan deneysel sonuçlardan yararlanılacaktır. İncelenecek alt bileşenlilerden bazıları: Co-Sb, Co-Sn, Sb-Sn (iki bileşenli alaşımlar), Co-Sb-Sn (üç bileşenli alaşımlar), Ag₁₀-In₈₀-Pd-Sn₁₀ (dört bileşenli alaşım) olarak seçilmiştir. Bu çalışmada GSM modeli, simetrik olarak bilinen Muggianu, Kohler ve antisimetrik olarak bilinen Toop modelleri ele alınarak, sözü edilen alaşımların karışımın Gibbs enerjisi ve integral entalpilerinin hesaplanması amaçlanmıştır.

3.2. Metod

3.2.1. Chou Modeli

Chou tarafından önerilen GSM yöntemi mevcut geometrik modeller arasında tüm yönleriyle en makul bir yöntem olarak kanıtlanmıştır. Bu model, çeşitli durumların genellemesi, simetrik ve asimetric sistemler arasındaki sınırı kaldırması bir tarafa, aynı zamanda hesaplama süreci boyunca herhangi bir insan müdahalesinden kaynaklanan hataları da yok etmiştir. Bu modelin doğruluğu daha önce birkaç defa teorik kanıtlanmıştır ve hesaplama doğruluğu bazı pratik örnekler kullanarak kaynak (Chou ve ark., 1966, Chou ve Wei, 1997) 'ta gösterilmiştir.

Yukarıdaki alaşım sistemlerinden biri olan üçlü alaşıma GSM modelini uygulamak için, ξ_{ij} benzerlik katsayıları hesaplamak gerekir. Bu katsayılar.

$$\xi_{12} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\eta_{II}}{\eta_I}\right)}$$
$$\xi_{23} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\eta_{III}}{\eta_{II}}\right)}$$
$$\xi_{31} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\eta_I}{\eta_{III}}\right)}$$

(3.2.1.1)

olarak tanımlanmıştır.

Bu katsayıları hesaplamak için kareler sapma toplamı (deviation sum of squares) η_i olarak adlandırılan aşağıdaki ifadeler göz önüne alınmalıdır.

$$\eta_I = \int_0^1 (H_{12} - H_{13})^2 dX_1$$

$$\eta_{II} = \int_0^1 (H_{21} - H_{23})^2 dX_2$$

$$\eta_{III} = \int_0^1 (H_{31} - H_{32})^2 dX_3$$

(3.2.1.2)

$$X_{1(12)} = x_1 + x_3 \xi_{12}$$

$$X_{2(23)} = x_2 + x_1 \xi_{23}$$

$$X_{3(31)} = x_3 + x_2 \xi_{31}$$

(3.2.1.3)

$$H^{Exc} = x_1 x_2 \sum_{k=0}^n A_{12}^k (2X_{1(12)} - 1)^k + x_3 x_1 \sum_{k=0}^n A_{31}^k (2X_{3(31)} - 1)^k + x_2 x_3 \sum_{k=0}^n A_{23}^k (2X_{2(23)} - 1)^k$$

(3.2.1.4)

$$X_{1(12)} = x_1 + x_3 \cdot \xi_{1(12)}^{(3)} + x_4 \cdot \xi_{1(12)}^{(4)}$$

$$X_{1(13)} = x_1 + x_2 \cdot \xi_{1(13)}^{(2)} + x_4 \cdot \xi_{1(13)}^{(4)}$$

$$X_{2(23)} = x_2 + x_1 \cdot \xi_{2(23)}^{(1)} + x_4 \cdot \xi_{2(23)}^{(4)}$$

(3.2.1.5)

Diğer taraftan, yedi bileşenli alaşımların genel ifadesi aşağıdaki formda kapalı olarak verilebilir:

$$\begin{aligned}
H^{Exc} = & x_1 x_2 \sum_{k=0}^n A_{12}^k (2X_{1(12)} - 1)^k + x_1 x_3 \sum_{k=0}^n A_{13}^k (2X_{1(13)} - 1)^k \\
& + x_1 x_4 \sum_{k=0}^n A_{14}^k (2X_{1(14)} - 1)^k + x_1 x_5 \sum_{k=0}^n A_{15}^k (2X_{1(15)} - 1)^k \\
& + x_1 x_6 \sum_{k=0}^n A_{16}^k (2X_{1(16)} - 1)^k + x_1 x_7 \sum_{k=0}^n A_{17}^k (2X_{1(17)} - 1)^k \\
& + x_2 x_3 \sum_{k=0}^n A_{23}^k (2X_{2(23)} - 1)^k + x_2 x_4 \sum_{k=0}^n A_{24}^k (2X_{2(24)} - 1)^k \\
& + x_2 x_5 \sum_{k=0}^n A_{25}^k (2X_{2(25)} - 1)^k + x_2 x_6 \sum_{k=0}^n A_{26}^k (2X_{2(26)} - 1)^k \\
& + x_2 x_7 \sum_{k=0}^n A_{27}^k (2X_{2(27)} - 1)^k + x_3 x_4 \sum_{k=0}^n A_{34}^k (2X_{3(34)} - 1)^k \\
& + x_3 x_5 \sum_{k=0}^n A_{35}^k (2X_{3(35)} - 1)^k + x_3 x_6 \sum_{k=0}^n A_{36}^k (2X_{3(36)} - 1)^k \\
& + x_3 x_7 \sum_{k=0}^n A_{37}^k (2X_{3(37)} - 1)^k + x_4 x_5 \sum_{k=0}^n A_{45}^k (2X_{4(45)} - 1)^k \\
& + x_4 x_6 \sum_{k=0}^n A_{46}^k (2X_{4(46)} - 1)^k + x_4 x_7 \sum_{k=0}^n A_{47}^k (2X_{4(47)} - 1)^k \\
& + x_5 x_6 \sum_{k=0}^n A_{56}^k (2X_{5(56)} - 1)^k + x_5 x_7 \sum_{k=0}^n A_{57}^k (2X_{5(57)} - 1)^k \\
& + x_6 x_7 \sum_{k=0}^n A_{67}^k (2X_{6(67)} - 1)^k
\end{aligned}$$

(3.2.1.6)

Burada, A_{12}^k : Redlich-Kister ikili etkileşme parametreleri, x_i ($i = 1,2,3,4,5,6$ ve 7): yedi bileşenli alaşımların mol kesirleri, X_i ($i = 1,2,3,4,5,6$ ve 7): ikili alaşımların mol kesirleridir.

$$\begin{aligned}
X_{1(12)} &= x_1 + x_3 \xi_{1(12)}^{(3)} + x_4 \xi_{1(12)}^{(4)} + x_5 \xi_{1(12)}^{(5)} + x_6 \xi_{1(12)}^{(6)} + x_7 \xi_{1(12)}^{(7)} \\
X_{1(13)} &= x_1 + x_2 \xi_{1(13)}^{(2)} + x_4 \xi_{1(13)}^{(4)} + x_5 \xi_{1(13)}^{(5)} + x_6 \xi_{1(13)}^{(6)} + x_7 \xi_{1(13)}^{(7)} \\
X_{1(14)} &= x_1 + x_2 \xi_{1(14)}^{(2)} + x_3 \xi_{1(14)}^{(3)} + x_5 \xi_{1(14)}^{(5)} + x_6 \xi_{1(14)}^{(6)} + x_7 \xi_{1(14)}^{(7)} \\
X_{1(15)} &= x_1 + x_2 \xi_{1(15)}^{(2)} + x_3 \xi_{1(15)}^{(3)} + x_4 \xi_{1(15)}^{(4)} + x_6 \xi_{1(15)}^{(6)} + x_7 \xi_{1(15)}^{(7)} \\
X_{1(16)} &= x_1 + x_2 \xi_{1(14)}^{(2)} + x_3 \xi_{1(14)}^{(3)} + x_4 \xi_{1(14)}^{(4)} + x_5 \xi_{1(14)}^{(5)} + x_7 \xi_{1(14)}^{(7)} \\
X_{1(17)} &= x_1 + x_2 \xi_{1(14)}^{(2)} + x_3 \xi_{1(14)}^{(3)} + x_4 \xi_{1(14)}^{(4)} + x_5 \xi_{1(14)}^{(5)} + x_6 \xi_{1(14)}^{(6)} \\
X_{2(23)} &= x_2 + x_1 \xi_{2(23)}^{(1)} + x_4 \xi_{2(23)}^{(4)} + x_5 \xi_{2(23)}^{(5)} + x_6 \xi_{2(23)}^{(6)} + x_7 \xi_{2(23)}^{(7)} \\
X_{2(24)} &= x_2 + x_1 \xi_{2(24)}^{(1)} + x_3 \xi_{2(24)}^{(3)} + x_5 \xi_{2(24)}^{(5)} + x_6 \xi_{2(24)}^{(6)} + x_7 \xi_{2(24)}^{(7)} \\
X_{2(25)} &= x_2 + x_1 \xi_{2(25)}^{(1)} + x_3 \xi_{2(25)}^{(3)} + x_4 \xi_{2(25)}^{(4)} + x_6 \xi_{2(25)}^{(6)} + x_7 \xi_{2(25)}^{(7)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X_{2(26)} &= x_2 + x_1 \xi_{2(26)}^{(1)} + x_3 \xi_{2(26)}^{(3)} + x_4 \xi_{2(26)}^{(4)} + x_5 \xi_{2(26)}^{(5)} + x_7 \xi_{2(26)}^{(7)} \\
X_{2(27)} &= x_2 + x_1 \xi_{2(27)}^{(1)} + x_3 \xi_{2(27)}^{(3)} + x_4 \xi_{2(27)}^{(4)} + x_5 \xi_{2(27)}^{(5)} + x_6 \xi_{2(27)}^{(6)} \\
X_{3(34)} &= x_3 + x_1 \xi_{3(34)}^{(1)} + x_2 \xi_{3(34)}^{(2)} + x_5 \xi_{3(34)}^{(5)} + x_6 \xi_{3(34)}^{(6)} + x_7 \xi_{3(34)}^{(7)} \\
X_{3(35)} &= x_3 + x_1 \xi_{3(35)}^{(1)} + x_2 \xi_{3(35)}^{(2)} + x_4 \xi_{3(35)}^{(4)} + x_6 \xi_{3(35)}^{(6)} + x_7 \xi_{3(35)}^{(7)} \\
X_{3(36)} &= x_3 + x_1 \xi_{3(36)}^{(1)} + x_2 \xi_{3(36)}^{(2)} + x_4 \xi_{3(36)}^{(4)} + x_5 \xi_{3(36)}^{(5)} + x_7 \xi_{3(36)}^{(7)} \\
X_{3(37)} &= x_3 + x_1 \xi_{3(37)}^{(1)} + x_2 \xi_{3(37)}^{(2)} + x_4 \xi_{3(37)}^{(4)} + x_5 \xi_{3(37)}^{(5)} + x_6 \xi_{3(37)}^{(6)} \\
X_{4(45)} &= x_4 + x_1 \xi_{4(45)}^{(1)} + x_2 \xi_{4(45)}^{(2)} + x_3 \xi_{4(45)}^{(3)} + x_6 \xi_{4(45)}^{(6)} + x_7 \xi_{4(45)}^{(7)} \\
X_{4(46)} &= x_4 + x_1 \xi_{4(46)}^{(1)} + x_2 \xi_{4(46)}^{(2)} + x_3 \xi_{4(46)}^{(3)} + x_5 \xi_{4(46)}^{(5)} + x_7 \xi_{4(46)}^{(7)} \\
X_{4(47)} &= x_4 + x_1 \xi_{4(46)}^{(1)} + x_2 \xi_{4(46)}^{(2)} + x_3 \xi_{4(46)}^{(3)} + x_5 \xi_{4(46)}^{(5)} + x_6 \xi_{4(46)}^{(6)} \\
X_{5(56)} &= x_5 + x_1 \xi_{5(56)}^{(1)} + x_2 \xi_{5(56)}^{(2)} + x_3 \xi_{45(56)}^{(3)} + x_4 \xi_{5(56)}^{(4)} + x_7 \xi_{5(56)}^{(7)} \\
X_{5(57)} &= x_5 + x_1 \xi_{5(57)}^{(1)} + x_2 \xi_{5(57)}^{(2)} + x_3 \xi_{45(57)}^{(3)} + x_4 \xi_{5(57)}^{(4)} + x_6 \xi_{5(57)}^{(6)} \\
X_{6(67)} &= x_6 + x_1 \xi_{6(67)}^{(1)} + x_2 \xi_{6(67)}^{(2)} + x_3 \xi_{6(67)}^{(3)} + x_4 \xi_{6(67)}^{(4)} + x_5 \xi_{6(67)}^{(5)}
\end{aligned}$$

(3.2.1.7)

Denklem (3.1.1)' de verilen ξ benzerlik katsayıları n-bileşenli alaşımlar için

$$\xi_{i(ij)}^{(k)} = \frac{\eta(ij, ik)}{\eta(ij, ik) + \eta(ji, jk)} \quad (3.2.1.8)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır. Burada $\eta(ij, ik)$ kare ortalama sapma olarak tanımlanmıştır ve aşağıdaki ifadeden hesaplanabilir.:

$$\eta(ij, ik) = \int_0^1 (\Delta^{exc} G_{ij} - \Delta^{exc} G_{jk})^2 dX_i \quad (3.2.1.9)$$

Son zamanlarda, Denklem (3.1.9)' daki belirli integral, analitik olarak

$$\begin{aligned}
\eta(ij, ik) &= \sum_{l=0}^n \frac{1}{2(2l+1)(2l+3)(2l+5)} (L_{ij}^l - L_{ik}^l)^2 \\
&+ \sum_{l=0}^n \sum_{m>l}^n \frac{1}{(l+m+1)(l+m+3)(l+m+5)} \times (L_{ij}^l - L_{ik}^l)(L_{ij}^m - L_{ik}^m)
\end{aligned} \quad (3.2.1.10)$$

toplamını açarak kolayca hesaplanabilir. Benzerlik katsayılarının sağlanmasının yapılması aşağıdaki genel denklemlerle yapılabilir:

$$\left(1 - \xi_{i(ij)}^{(k)}\right) \left(1 - \xi_{k(ki)}^{(j)}\right) \left(1 - \xi_{j(jk)}^{(i)}\right) = \xi_{i(ij)}^{(k)} \xi_{k(ki)}^{(j)} \xi_{j(jk)}^{(i)} \quad (3.2.1.11)$$

Bu çalışmada sunulan Chou'nun çok bileşenli genel çözelti modeli kullanılarak, iki bileşenin özdeş olması durumunda, bu modelin daha küçük bileşenli bir modele dönüştürülmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Bunu göstermek için Chou modelinde altı bileşenli bir alaşıma eşlik eden karışımın Gibbs enerjisinin ifadesinin

$$\begin{aligned} G^{Exc} = & \frac{x_1 x_2}{X_{1(12)} X_{2(12)}} G_{12}^{Exc} + \frac{x_1 x_3}{X_{1(13)} X_{3(13)}} G_{13}^{Exc} + \frac{x_1 x_4}{X_{1(14)} X_{4(14)}} G_{14}^{Exc} \\ & + \frac{x_1 x_5}{X_{1(15)} X_{5(15)}} G_{15}^{Exc} + \frac{x_1 x_6}{X_{1(16)} X_{6(16)}} G_{16}^{Exc} + \frac{x_2 x_3}{X_{2(23)} X_{3(23)}} G_{23}^{Exc} \\ & + \frac{x_2 x_4}{X_{2(24)} X_{4(24)}} G_{24}^{Exc} + \frac{x_2 x_5}{X_{2(25)} X_{5(25)}} G_{25}^{Exc} + \frac{x_2 x_6}{X_{2(26)} X_{6(26)}} G_{26}^{Exc} \\ & + \frac{x_3 x_4}{X_{3(34)} X_{4(34)}} G_{34}^{Exc} + \frac{x_3 x_5}{X_{3(35)} X_{5(35)}} G_{35}^{Exc} + \frac{x_3 x_6}{X_{3(36)} X_{6(36)}} G_{36}^{Exc} \\ & + \frac{x_4 x_5}{X_{4(45)} X_{5(45)}} G_{45}^{Exc} + \frac{x_4 x_6}{X_{4(46)} X_{6(46)}} G_{46}^{Exc} + \frac{x_5 x_6}{X_{5(56)} X_{6(56)}} G_{56}^{Exc} \end{aligned} \quad (3.2.1.12)$$

şeklinde yazılabilmesinden yola çıkarak altıncı bileşenin beşinciye özdeş olduğu göz önüne alındığında, derhal aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$G_{56}^{Exc} = 0 \quad (3.2.1.13)$$

Denklem (3.2.1.8)' de verilen $X_{I(16)}$ ifadesindeki $\eta(ij, ik)$ lar için, ilgili ifadenin integral şekli göz önüne alınır, aşağıdaki eşitlikler yazmak mümkün olmaktadır:

$$\eta(16, 12) = \eta(15, 12) \quad (3.2.1.14)$$

$$\eta(61, 62) = \eta(51, 52) \quad (3.2.1.15)$$

$$\eta(16, 14) = \eta(15, 14) \quad (3.2.1.16)$$

$$\eta(61, 64) = \eta(51, 54) \quad (3.2.1.17)$$

$$\eta(16, 15) = 0 \quad (3.2.1.18)$$

$$\eta(61, 65) = \eta(51, 55) \quad (3.2.1.19)$$

$$\eta(16, 13) = \eta(15, 13) \quad (3.2.1.20)$$

$$\eta(61, 63) = \eta(51, 53) \quad (3.2.1.21)$$

Denklemler (3.2.1.14)- (3.2.1.21)' lerin Denklem (3.2.1.8)' de yerine konmasıyla, aşağıdaki eşitlikleri yazmak zor olmayacaktır:

$$\xi_{1(16)}^{(2)} = \xi_{1(15)}^{(2)} \quad (3.2.1.22)$$

$$\xi_{1(16)}^{(4)} = \xi_{1(15)}^{(4)} \quad (3.2.1.23)$$

$$\xi_{1(16)}^{(5)} = \xi_{1(15)}^{(6)} = 0 \quad (3.2.1.24)$$

$$\xi_{1(16)}^{(3)} = \xi_{1(15)}^{(3)} \quad (3.2.1.25)$$

Buna göre,

$$X_{I(16)} = X_{I(15)} \quad (3.2.1.26)$$

olur. Denklem (3.2.1.12)' yi dikkate alarak, Denklem (3.2.1.12)' teki G_{15}^{Exc} ve G_{16}^{Exc} terimlerinin katsayıları düzenlenirse

$$\frac{x_1 x_5}{X_{1(15)} X_{5(15)}} G_{15}^{Exc} + \frac{x_1 x_6}{X_{1(16)} X_{6(16)}} G_{16}^{Exc} = \frac{x_1 (x_5 + x_6)}{X_{1(15)} X_{5(15)}} G_{15}^{Exc} \quad (3.2.1.27)$$

bulunur. $X_{2(26)}$ ifadesindeki $\eta(ij, ik)$ lar için, ilgili ifadenin integral şekli göz önüne alınır, aşağıdaki eşitlikler mümkün olmaktadır:

$$\eta(26, 21) = \eta(25, 21) \quad (3.2.1.28)$$

$$\eta(62, 61) = \eta(52, 51) \quad (3.2.1.29)$$

$$\eta(26, 23) = \eta(25, 23) \quad (3.2.1.30)$$

$$\eta(62, 63) = \eta(52, 53) \quad (3.2.1.31)$$

$$\eta(25, 26) = 0 \quad (3.2.1.32)$$

$$\eta(26, 24) = \eta(25, 24) \quad (3.2.1.33)$$

$$\eta(62, 65) = \eta(52, 55) \quad (3.2.1.34)$$

Denklem (3.2.1.28)- (3.2.1.34)' lerin Denklem (3.2.1.8)' de yerine konmasıyla, aşağıdaki bağıntılar elde edilebilir:

$$\xi_{2(26)}^{(1)} = \xi_{2(25)}^{(1)} \quad (3.2.1.35)$$

$$\xi_{2(26)}^{(3)} = \xi_{2(25)}^{(3)} \quad (3.2.1.36)$$

$$\xi_{2(26)}^{(4)} = \xi_{2(25)}^{(4)} \quad (3.2.1.37)$$

$$\xi_{2(26)}^{(5)} = \xi_{2(25)}^{(6)} = 0 \quad (3.2.1.38)$$

Buna göre,

$$X_{2(26)} = X_{2(25)} \quad (3.2.1.39)$$

bulunur. Buna göre, Denklem (3.2.1.12)' teki G_{25}^{Exc} ve G_{26}^{Exc} terimlerinin katsayıları düzenlenirse

$$\frac{x_2 x_5}{X_{2(25)} X_{5(25)}} G_{25}^{Exc} + \frac{x_2 x_6}{X_{2(25)} X_{6(26)}} G_{26}^{Exc} = \frac{x_2 (x_5 + x_6)}{X_{1(25)} X_{5(25)}} G_{25}^{Exc} \quad (3.2.1.40)$$

olur. $X_{3(36)}$ ifadesindeki $\eta(ij, ik)$ lar için, ilgili ifadenin integral şekli göz önüne alınırsa, aşağıdaki ifadeler bulunabilir:

$$\eta(36, 31) = \eta(35, 31) \quad (3.2.1.41)$$

$$\eta(63, 61) = \eta(53, 51) \quad (3.2.1.42)$$

$$\eta(36, 32) = \eta(35, 32) \quad (3.2.1.43)$$

$$\eta(63, 62) = \eta(53, 52) \quad (3.2.1.44)$$

$$\eta(36, 35) = 0 \quad (3.2.1.45)$$

$$\eta(53, 56) = \eta(53, 55) \quad (3.2.1.46)$$

$$\eta(62, 65) = \eta(52, 55) \quad (3.2.1.47)$$

Denklem (3.2.1.41)- (3.2.1.47)' lerin Denklem (3.2.1.8)' de yerine konmasıyla, aşağıdaki bağıntılar elde edilebilir:

$$\xi_{3(36)}^{(1)} = \xi_{3(35)}^{(1)} \quad (3.2.1.48)$$

$$\xi_{3(36)}^{(2)} = \xi_{3(35)}^{(2)} \quad (3.2.1.49)$$

$$\xi_{3(26)}^{(4)} = \xi_{3(35)}^{(4)} \quad (3.2.1.50)$$

$$\xi_{3(36)}^{(5)} = \xi_{3(35)}^{(6)} = 0 \quad (3.2.1.51)$$

Buna göre,

$$X_{3(36)} = X_{3(35)} \quad (3.2.1.52)$$

bulunur. Buna göre, Denklem (3.2.1.12)' teki G_{35}^{Exc} ve G_{36}^{Exc} terimlerinin katsayıları düzenlenirse

$$\frac{x_3 x_5}{X_{3(35)} X_{5(35)}} G_{35}^{Exc} + \frac{x_3 x_6}{X_{3(36)} X_{6(36)}} G_{36}^{Exc} = \frac{x_3 (x_5 + x_6)}{X_{3(35)} X_{5(35)}} G_{35}^{Exc} \quad (3.2.1.53)$$

bulunur. Benzer şekilde, $X_{4(46)}$ ifadesindeki $\eta(ij, ik)$ lar için, ilgili ifadenin integral şekli göz önüne alınır, aşağıdaki ifadeler bulunabilir:

$$\eta(46, 41) = \eta(45, 41) \quad (3.2.1.54)$$

$$\eta(64, 62) = \eta(54, 52) \quad (3.2.1.55)$$

$$\eta(46, 43) = \eta(45, 43) \quad (3.2.1.56)$$

$$\eta(64, 63) = \eta(54, 53) \quad (3.2.1.57)$$

$$\eta(46, 45) = 0 \quad (3.2.1.58)$$

$$\eta(64, 65) = \eta(54, 55) \quad (3.2.1.59)$$

$$\eta(46, 45) = \eta(45, 45) \quad (3.2.1.60)$$

Denklem (3.2.1.54)- (3.2.1.60)' lerin Denklem (3.2.1.8)' de yerine konmasıyla, aşağıdaki bağıntılar elde edilebilir:

$$\xi_{4(46)}^{(1)} = \xi_{4(45)}^{(1)} \quad (3.2.1.61)$$

$$\xi_{4(46)}^{(2)} = \xi_{4(45)}^{(2)} \quad (3.2.1.62)$$

$$\xi_{4(46)}^{(3)} = \xi_{4(45)}^{(3)} \quad (3.2.1.63)$$

$$\xi_{4(46)}^{(5)} = \xi_{4(45)}^{(6)} = 0 \quad (3.2.1.64)$$

Buna göre,

$$X_{4(46)} = X_{4(45)} \quad (3.2.1.65)$$

bulunur. Buna göre, Denklem (3.2.1.12)' teki G_{45}^{Exc} ve G_{46}^{Exc} terimlerinin katsayıları düzenlenirse

$$\frac{x_4 x_5}{X_{4(45)} X_{5(45)}} G_{45}^{Exc} + \frac{x_4 x_6}{X_{4(46)} X_{6(46)}} G_{46}^{Exc} = \frac{x_4 (x_5 + x_6)}{X_{4(45)} X_{5(45)}} G_{45}^{Exc} \quad (3.2.1.66)$$

bulunur. Böylece, Denklem (3.2.1.27), (3.2.1.40), (3.2.1.53) ve (3.2.1.66)' lerinin Denklem (3.2.1.12)' de yerine konmasıyla ve $G_{15} = G_{16}$, $G_{25} = G_{26}$, $G_{35} = G_{36}$, $G_{45} = G_{46}$ oldukları göz önüne alınırsa, Chou modelinde altı bileşenli bir alaşıma eşlik eden karışımın Gibbs enerjisinin ifadesinin beş bileşenli birinin ifadesine indirgenmesi gerçekleşmiş olur:

$$\begin{aligned} G^{Exc} = & \frac{x_1 x_2}{X_{1(12)} X_{2(12)}} G_{12}^{Exc} + \frac{x_1 x_3}{X_{1(13)} X_{3(13)}} G_{13}^{Exc} + \frac{x_1 x_4}{X_{1(14)} X_{4(14)}} G_{14}^{Exc} + \frac{x_1 x_5^l}{X_{1(15)} X_{5(15)}} G_{15}^{Exc} \\ & + \frac{x_2 x_3}{X_{2(23)} X_{3(23)}} G_{23}^{Exc} + \frac{x_2 x_4}{X_{2(24)} X_{4(24)}} G_{24}^{Exc} + \frac{x_2 x_5^l}{X_{2(25)} X_{5(25)}} G_{25}^{Exc} + \frac{x_3 x_4}{X_{3(34)} X_{4(34)}} G_{34}^{Exc} \end{aligned}$$

$$+ \frac{x_3 x_5^l}{X_{3(35)} X_{5(35)}} G_{35}^{Exc} + \frac{x_4 x_5^l}{X_{4(45)} X_{5(45)}} G_{45}^{Exc} \quad (3.2.1.67)$$

Burada, $x_5^l = x_5 + x_6$ olarak kısaltılmıştır.

3.2.2. Muggianu modeli

Öte yandan, Muggianu modeli yedi bileşenli alaşımları için genel ifadesi aşağıdaki gibi açık formda yazılabilir:

$$\begin{aligned} G^{Exc} = & x_1 x_2 (A_{12}^{(0)} + A_{12}^{(1)} (x_1 - x_2) + A_{12}^{(2)} (x_1 - x_2)^2) \\ & + x_1 x_3 (A_{13}^{(0)} + A_{13}^{(1)} (x_1 - x_3) + A_{13}^{(2)} (x_1 - x_3)^2) \\ & + x_1 x_4 (A_{14}^{(0)} + A_{14}^{(1)} (x_1 - x_4) + A_{14}^{(2)} (x_1 - x_4)^2) \\ & + x_1 x_5 (A_{15}^{(0)} + A_{15}^{(1)} (x_1 - x_5) + A_{15}^{(2)} (x_1 - x_5)^2) \\ & + x_1 x_6 (A_{16}^{(0)} + A_{16}^{(1)} (x_1 - x_6) + A_{16}^{(2)} (x_1 - x_6)^2) \\ & + x_1 x_7 (A_{17}^{(0)} + A_{17}^{(1)} (x_1 - x_7) + A_{17}^{(2)} (x_1 - x_7)^2) \\ & + x_2 x_3 (A_{23}^{(0)} + A_{23}^{(1)} (x_2 - x_3) + A_{23}^{(2)} (x_2 - x_3)^2) \\ & + x_2 x_4 (A_{24}^{(0)} + A_{24}^{(1)} (x_2 - x_4) + A_{24}^{(2)} (x_2 - x_4)^2) \\ & + x_2 x_5 (A_{25}^{(0)} + A_{25}^{(1)} (x_2 - x_5) + A_{25}^{(2)} (x_2 - x_5)^2) \\ & + x_2 x_6 (A_{26}^{(0)} + A_{26}^{(1)} (x_2 - x_6) + A_{26}^{(2)} (x_2 - x_6)^2) \\ & + x_2 x_7 (A_{27}^{(0)} + A_{27}^{(1)} (x_2 - x_7) + A_{27}^{(2)} (x_2 - x_7)^2) \\ & + x_3 x_4 (A_{34}^{(0)} + A_{34}^{(1)} (x_3 - x_4) + A_{34}^{(2)} (x_3 - x_4)^2) \\ & + x_3 x_5 (A_{35}^{(0)} + A_{35}^{(1)} (x_3 - x_5) + A_{35}^{(2)} (x_3 - x_5)^2) \\ & + x_3 x_6 (A_{36}^{(0)} + A_{36}^{(1)} (x_3 - x_6) + A_{36}^{(2)} (x_3 - x_6)^2) \\ & + x_3 x_7 (A_{37}^{(0)} + A_{37}^{(1)} (x_3 - x_7) + A_{37}^{(2)} (x_3 - x_7)^2) \\ & + x_4 x_5 (A_{45}^{(0)} + A_{45}^{(1)} (x_4 - x_5) + A_{45}^{(2)} (x_4 - x_5)^2) \\ & + x_4 x_6 (A_{46}^{(0)} + A_{46}^{(1)} (x_4 - x_6) + A_{46}^{(2)} (x_4 - x_6)^2) \\ & + x_4 x_7 (A_{47}^{(0)} + A_{47}^{(1)} (x_4 - x_7) + A_{47}^{(2)} (x_4 - x_7)^2) \\ & + x_5 x_7 (A_{57}^{(0)} + A_{57}^{(1)} (x_5 - x_7) + A_{57}^{(2)} (x_5 - x_7)^2) \\ & + x_6 x_7 (A_{67}^{(0)} + A_{67}^{(1)} (x_6 - x_7) + A_{67}^{(2)} (x_6 - x_7)^2) \end{aligned}$$

(3.2.2.1)

3.2.3. Kohler modeli

Kohler Modeli, Muggianu modeli gibi simetrik özelliğe sahip bir modeldir ve yedi bileşenli alaşımları için genel ifadesi aşağıdaki gibi açık formda yazılabilir:

$$\begin{aligned}
G^{\text{Exc}} = & x_1 x_2 (A_{12}^{(0)} + A_{12}^{(1)} \left(\frac{x_1 - x_2}{x_1 + x_2} \right) + A_{12}^{(2)} \left(\frac{x_1 - x_2}{x_1 + x_2} \right)^2 \\
& + x_1 x_3 (A_{13}^{(0)} + A_{13}^{(1)} \left(\frac{x_1 - x_3}{x_1 + x_3} \right) + A_{13}^{(2)} \left(\frac{x_1 - x_3}{x_1 + x_3} \right)^2 \\
& + x_1 x_4 (A_{14}^{(0)} + A_{14}^{(1)} \left(\frac{x_1 - x_4}{x_1 + x_4} \right) + A_{14}^{(2)} \left(\frac{x_1 - x_4}{x_1 + x_4} \right)^2 \\
& + x_1 x_5 (A_{15}^{(0)} + A_{15}^{(1)} \left(\frac{x_1 - x_5}{x_1 + x_5} \right) + A_{15}^{(2)} \left(\frac{x_1 - x_5}{x_1 + x_5} \right)^2 \\
& + x_1 x_6 (A_{16}^{(0)} + A_{16}^{(1)} \left(\frac{x_1 - x_6}{x_1 + x_6} \right) + A_{16}^{(2)} \left(\frac{x_1 - x_6}{x_1 + x_6} \right)^2 \\
& + x_1 x_7 (A_{17}^{(0)} + A_{17}^{(1)} \left(\frac{x_1 - x_7}{x_1 + x_7} \right) + A_{17}^{(2)} \left(\frac{x_1 - x_7}{x_1 + x_7} \right)^2 \\
& + x_2 x_3 (A_{23}^{(0)} + A_{23}^{(1)} \left(\frac{x_2 - x_3}{x_2 + x_3} \right) + A_{23}^{(2)} \left(\frac{x_2 - x_3}{x_2 + x_3} \right)^2 \\
& + x_2 x_4 (A_{24}^{(0)} + A_{24}^{(1)} \left(\frac{x_2 - x_4}{x_2 + x_4} \right) + A_{24}^{(2)} \left(\frac{x_2 - x_4}{x_2 + x_4} \right)^2 \\
& + x_2 x_5 (A_{25}^{(0)} + A_{25}^{(1)} \left(\frac{x_2 - x_5}{x_2 + x_5} \right) + A_{25}^{(2)} \left(\frac{x_2 - x_5}{x_2 + x_5} \right)^2 \\
& + x_2 x_6 (A_{26}^{(0)} + A_{26}^{(1)} \left(\frac{x_2 - x_6}{x_2 + x_6} \right) + A_{26}^{(2)} \left(\frac{x_2 - x_6}{x_2 + x_6} \right)^2 \\
& + x_2 x_7 (A_{27}^{(0)} + A_{27}^{(1)} \left(\frac{x_2 - x_7}{x_2 + x_7} \right) + A_{27}^{(2)} \left(\frac{x_2 - x_7}{x_2 + x_7} \right)^2 \\
& + x_3 x_4 (A_{34}^{(0)} + A_{34}^{(1)} \left(\frac{x_3 - x_4}{x_3 + x_4} \right) + A_{34}^{(2)} \left(\frac{x_3 - x_4}{x_3 + x_4} \right)^2 \\
& + x_3 x_5 (A_{35}^{(0)} + A_{35}^{(1)} \left(\frac{x_3 - x_5}{x_3 + x_5} \right) + A_{35}^{(2)} \left(\frac{x_3 - x_5}{x_3 + x_5} \right)^2 \\
& + x_3 x_6 (A_{36}^{(0)} + A_{36}^{(1)} \left(\frac{x_3 - x_6}{x_3 + x_6} \right) + A_{36}^{(2)} \left(\frac{x_3 - x_6}{x_3 + x_6} \right)^2 \\
& + x_3 x_7 (A_{37}^{(0)} + A_{37}^{(1)} \left(\frac{x_3 - x_7}{x_3 + x_7} \right) + A_{37}^{(2)} \left(\frac{x_3 - x_7}{x_3 + x_7} \right)^2 \\
& + x_4 x_5 (A_{45}^{(0)} + A_{45}^{(1)} \left(\frac{x_4 - x_5}{x_4 + x_5} \right) + A_{45}^{(2)} \left(\frac{x_4 - x_5}{x_4 + x_5} \right)^2 \\
& + x_4 x_6 (A_{46}^{(0)} + A_{46}^{(1)} \left(\frac{x_4 - x_6}{x_4 + x_6} \right) + A_{46}^{(2)} \left(\frac{x_4 - x_6}{x_4 + x_6} \right)^2 \\
& + x_4 x_7 (A_{47}^{(0)} + A_{47}^{(1)} \left(\frac{x_4 - x_7}{x_4 + x_7} \right) + A_{47}^{(2)} \left(\frac{x_4 - x_7}{x_4 + x_7} \right)^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + x_5 x_7 (A_{57}^{(0)} + A_{57}^{(1)} (\frac{x_5 - x_7}{x_5 + x_7}) + A_{57}^{(2)} (\frac{x_5 - x_7}{x_5 + x_7})^2) \\
& + x_6 x_7 (A_{67}^{(0)} + A_{67}^{(1)} (\frac{x_6 - x_7}{x_6 + x_7}) + A_{67}^{(2)} (\frac{x_6 - x_7}{x_6 + x_7})^2)
\end{aligned}$$

(3.2.3.1)

3.2.4. Toop modeli

Diğer taraftan, asimetrik bir özellikte olan Toop modeli için aşağıdaki ifadeden faydalanılabilir.

$$\begin{aligned}
G^{Exc} = & x_1 x_2 (A_{12}^{(0)} + A_{12}^{(1)} (2 x_1 - 1) + A_{12}^{(2)} (2 x_1 - 1)^2) \\
& + x_1 x_3 (A_{13}^{(0)} + A_{13}^{(1)} (2 x_1 - 1) + A_{13}^{(2)} (2 x_1 - 1)^2) \\
& + x_1 x_4 (A_{14}^{(0)} + A_{14}^{(1)} (2 x_1 - 1) + A_{14}^{(2)} (2 x_1 - 1)^2) \\
& + x_1 x_5 (A_{15}^{(0)} + A_{15}^{(1)} (2 x_1 - 1) + A_{15}^{(2)} (2 x_1 - 1)^2) \\
& + x_1 x_6 (A_{16}^{(0)} + A_{16}^{(1)} (2 x_1 - 1) + A_{16}^{(2)} (2 x_1 - 1)^2) \\
& + x_1 x_7 (A_{17}^{(0)} + A_{17}^{(1)} (2 x_1 - 1) + A_{17}^{(2)} (2 x_1 - 1)^2) \\
& + x_2 x_3 (A_{23}^{(0)} + A_{23}^{(1)} (\frac{x_2 - x_3}{x_2 + x_3}) + A_{23}^{(2)} (\frac{x_2 - x_3}{x_2 + x_3})^2) \\
& + x_2 x_4 (A_{24}^{(0)} + A_{24}^{(1)} (\frac{x_2 - x_4}{x_2 + x_4}) + A_{24}^{(2)} (\frac{x_2 - x_4}{x_2 + x_4})^2) \\
& + x_2 x_5 (A_{25}^{(0)} + A_{25}^{(1)} (\frac{x_2 - x_5}{x_2 + x_5}) + A_{23}^{(2)} (\frac{x_2 - x_5}{x_2 + x_5})^2) \\
& + x_2 x_6 (A_{26}^{(0)} + A_{26}^{(1)} (\frac{x_2 - x_6}{x_2 + x_6}) + A_{26}^{(2)} (\frac{x_2 - x_6}{x_2 + x_6})^2) \\
& + x_2 x_7 (A_{27}^{(0)} + A_{27}^{(1)} (\frac{x_2 - x_7}{x_2 + x_7}) + A_{27}^{(2)} (\frac{x_2 - x_7}{x_2 + x_7})^2) \\
& + x_3 x_4 (A_{34}^{(0)} + A_{34}^{(1)} (\frac{x_3 - x_4}{x_3 + x_4}) + A_{34}^{(2)} (\frac{x_3 - x_4}{x_3 + x_4})^2) \\
& + x_3 x_5 (A_{35}^{(0)} + A_{35}^{(1)} (\frac{x_3 - x_5}{x_3 + x_5}) + A_{35}^{(2)} (\frac{x_3 - x_5}{x_3 + x_5})^2) \\
& + x_3 x_6 (A_{36}^{(0)} + A_{36}^{(1)} (\frac{x_3 - x_6}{x_3 + x_6}) + A_{36}^{(2)} (\frac{x_3 - x_6}{x_3 + x_6})^2) \\
& + x_3 x_7 (A_{37}^{(0)} + A_{37}^{(1)} (\frac{x_3 - x_7}{x_3 + x_7}) + A_{37}^{(2)} (\frac{x_3 - x_7}{x_3 + x_7})^2) \\
& + x_4 x_5 (A_{45}^{(0)} + A_{45}^{(1)} (\frac{x_4 - x_5}{x_4 + x_5}) + A_{45}^{(2)} (\frac{x_4 - x_5}{x_4 + x_5})^2) \\
& + x_4 x_6 (A_{46}^{(0)} + A_{46}^{(1)} (\frac{x_4 - x_6}{x_4 + x_6}) + A_{46}^{(2)} (\frac{x_4 - x_6}{x_4 + x_6})^2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + x_4 x_7 (A_{47}^{(0)} + A_{47}^{(1)} \left(\frac{x_4 - x_7}{x_4 + x_7} \right) + A_{47}^{(2)} \left(\frac{x_4 - x_7}{x_4 + x_7} \right)^2 \\
& + x_5 x_7 (A_{57}^{(0)} + A_{57}^{(1)} \left(\frac{x_5 - x_7}{x_5 + x_7} \right) + A_{57}^{(2)} \left(\frac{x_5 - x_7}{x_5 + x_7} \right)^2 \\
& + x_6 x_7 (A_{67}^{(0)} + A_{67}^{(1)} \left(\frac{x_6 - x_7}{x_6 + x_7} \right) + A_{67}^{(2)} \left(\frac{x_6 - x_7}{x_6 + x_7} \right)^2
\end{aligned} \tag{3.2.4.1}$$

Burada k çift ise $A_{ij}^{(k)} = A_{ji}^{(k)}$ ve tek ise $A_{ij}^{(k)} = -A_{ji}^{(k)}$ bağıntıları vardır.

Modellerin birbirleri ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasında

$$S = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (T_{0\text{calc},i} - T_{0\text{exp},i})^2} \tag{3.2.4.2}$$

ile verilen standart sapma ifadesi kullanılmıştır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sn-Ag-Cu ve Sn-Cu-Ni gibi düşük sıcaklık lehimleri için uygun yumuşak malzemeler bulunmaktadır ancak, şimdiye kadar erime sıcaklığı 230 C⁰'den daha yüksek olan yüksek sıcaklık yumuşak lehimleri için herhangi uygun alaşımlar bulunamamıştır. Halen Sn-Zn, Sn-Sb ve Sn-Au içeren lehimler umut verici adaylar vardır. Cu, Co ve Ni ise ilave elementleri olarak ve de kontakt malzemeleri olarak kullanılabilirlerdir. Difüzyon yavaş ve termodinamik dengeye makul bir süre içinde ulaşamaması nedeniyle ve lehimleme sıcaklıklarının 200-300 C⁰ olması dolayısıyla, erime alanlarının geniş bölgeye yayılması da deneysel olarak incelenememektedir. Bundan başka, dört ya da daha fazla metalin oluşturduğu çok bileşenli sistemlerin yalnızca deneysel metodlarla keşfedilmesi zor olacaktır. Bu nedenle, deneylerin bir kombinasyonu ile termodinamik teorik modellemelerin gerekli olması zorunlu olmuştur. Muggianu modeline dayanan calphad gibi yöntemler deneysel verilere ve özellikle, Gibbs enerjisi veya entalpisi gibi termo kimyasal bilgilere kuvvetli olarak bağlıdır. Sıvı üçlü Co-Sb-Sn alaşımlarının integral entalpileri hakkında literatürden fazla bir bilgiye ulaşılamamış ve özellikle GSM modeli ile diğer geometrik modeller kullanılarak bir karşılaştırmaya da rastlanamamıştır. Calvet tipi bir kalorimetre ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen ikili etkileşme parametreleri kullanılarak, yapılan bu çalışmada sıvı üçlü Co-Sb-Sn alaşımlarının integral entalpileri 1273 K' de büyük bir kompozisyon aralığında $x_{Sb} / x_{Sn} = 1: 3$, $x_{Co} / x_{Sn} = 1: 4$, ve $x_{Co} / x_{Sb} = 1: 5$. üç kesit için hesaplanmıştır. Ayrıca, Co-Sn ve Co-Sb ikili alaşımların integral entalpileri aynı sıcaklıkta tespit edilmiştir. Bütün ikili veriler standart Redlich – Kister polinomunu fit etmek suretiyle yoluyla (Elmahfoudi, 2012) tarafından yaptıkları deneysel dataları değerlendirerek elde etmişler, üçlü veriler ise genişletilmiş Redlich – Kister - Muggianu modeli kullanılarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan Redlich - Kister parametreleri Çizelge 4.1'de görülmektedir. Bu araştırmacılar tarafından Toop modeli kullanılarak ikili alaşımlardan bazıları için hesaplanan integral entalpiler Şekil 4. 1' de verilmiştir. Ayrıca yapılan bu çalışmada Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3 teki parametrelerin kullanılmasıyla, Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri için integral entalpiler 1273 K' de $x_{Co} / x_{Sn} = 1/4$ kesiti için Sb kompozisyonunun deneysel aralığı ve tüm kompozisyon aralığına göre hesaplanmış (Çizelge 4.3) ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Şekil 4.2). Şekil 4.3' te tüm Sb kompozisyonu üzerinden yapılan integral entalpi çizimi verilmiştir. Chou modelinde üçlü etkileşme parametresi bütün kompozisyonlar için $f = 1311.063$ olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.2' deki benzerlik katsayıları incelendiğinde, ξ

$x_{\text{Sb-Sn}} = 0.893126$ değerinin bire yakın, diğer ikisinin ise sıfıra yakın olduğu görülmektedir. GSM modelinde bu durum Toop gibi asimetrik modellere yakın olarak düşünülmektedir. Bu nedenle, bu modelde integral entalpi hesabında Toop modeli daha öne çıkmaktadır, ancak GSM modelinin de deneysel sonuçlara oldukça yakın olduğu görülmektedir. Genel olarak bakıldığında, bütün modellerin birbirleriyle uyum içinde oldukları da anlaşılmaktadır. Bunlara ilave olarak, yapılan bu çalışmada Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri için integral entalpiler 1273 K' de $x_{\text{Co}} / x_{\text{Sb}} = 1/5$ kesiti için Sn kompozisyonuna göre hesaplanmış (Çizelge 4. 4) ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır Şekil 4.4.' te Şekil 4.5' te ise tüm kompozisyon üzerinden integral entalpi çizimi verilmiştir. İntegral entalpinin başka bir incelemesi ise $x_{\text{Sb}} / x_{\text{Sn}} = 1/3$ kesiti için yapılmıştır ve kullanılan modeller için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te listelenmiş ve Şekil 3.6., te Şekil 4.7. 'de ise tüm kompozisyon üzerinden integral entalpi çizimi verilmiştir.

Çizelge 4.1. Co-Sb-Sn alaşımının 1273 K'de ikili ve üçlü etkileşme parametreleri.

Sistem	Etkileşme parametreleri (J/mol)	Referanslar
Co-Sb	$A_{12}^0 = -50706$ $A_{12}^1 = -13831$	(Elmahfoudi, 2012)
Co-Sn	$A_{13}^0 = -20746$ $A_{13}^1 = -8087$	(Elmahfoudi, 2012)
Sb-Sn	$A_{23}^0 = -5269.4$ $A_{23}^1 = -507.4$	(Sommer, 1983)
Co-Sb-Sn	$A_{123}^0 = -293415$ $A_{123}^2 = -3213$ $A_{123}^3 = -63791$	(Elmahfoudi, 2012)

Çizelge 4.2. Co-Sb-Sn alaşımına eşlik eden 1273 K'de hesaplanan kareler sapma toplamı ve benzerlik katsayıları.

$\eta_1 (J^2 \text{ mol}^{-2}) = 0.03007716541 \times 10^9$		$\eta_2 (J^2 \text{ mol}^{-2}) = 0.069661479 \times 10^9$			
$\eta_3 (J^2 \text{ mol}^{-2}) = 0.008335904 \times 10^9$					
Etkileşmelerin Kareler Sapma toplamı					
Co-Sb	Co-Sn	Sb-Co	Sb-Sn	Sn-Co	Sb-Pd
$\eta_2 > \eta_1 \gg \eta_3$					
Benzerlik					
katsayıları		$\xi_{\text{Co-Sb}} = 0.30156$	$\xi_{\text{Sb-Sn}} = 0.893126$	$\xi_{\text{Sn-Co}} = 0.217007$	

Çizelge 4.3. Co-Sb-Sn alaşımında Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, 1273 K'de $x_{\text{Co}} / x_{\text{Sn}} = 1/4$ kesiti için integral entalpilerin Sb kompozisyonlarına karşılık elde edilen değerler.

	Chou modeli	Kohler modeli	Muggianu modeli	Toop modeli	
x_{Sb}	$H^{\text{exc}} (J/\text{Mol})$	$H^{\text{exc}} (J/\text{Mol})$	$H^{\text{exc}} (J/\text{Mol})$	$H^{\text{exc}} (J/\text{Mol})$	Den. (J/Mol)
0	-2543	-2543	-2543	-2543	-2350
0.1	-3440	-3418	-3424	-3145	-3250
0.2	-4008	-3961	-4087	-3643	-4000
0.3	-4273.5	-4255	-4483	-3971	-4350
0.4	-4264.6	-4305	-4587	-4083	-4500
0.5	-4009	-4108	-4391	-3951	-4397
0.6	-3534.4	-3666	-3906	-3566.7	-4126
0.7	-2868.5	-2995	-3164	-2940	-
0.8	-2039	-2124	-2215	-2101	-
0.9	-1073.6	-1104	-1130	-1098	-
1	0	0	0	0	-

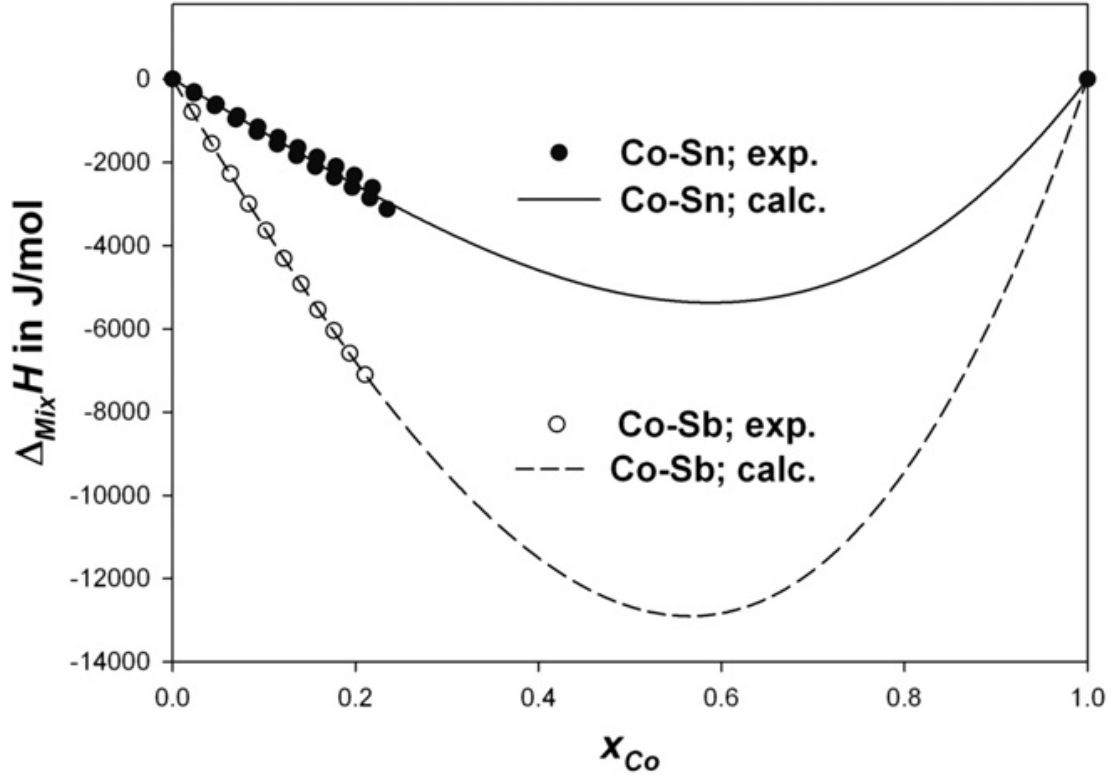
Çizelge 4. 4. Co-Sb-Sn alaşımında Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, 1273K'de $x_{Co} / x_{Sb} = 1/5$ kesiti için integral entalpilerin Sn kompozisyonlarına karşılık elde edilen değerler.

	Chou modeli	Kohler modeli	Muggianu modeli	Toop modeli	
x_{Sn}	H^{exc} (J/Mol)	H^{exc} (J/Mol)	H^{exc} (J/Mol)	H^{exc} (J/Mol)	Den. (J/Mol)
0	-5762	-5761.9	-5463.4	-5761.85	-5350
0.1	-5429	-5309.9	-5370.4	-5395.4	-5064
0.2	-5014	-4907.3	-5090	-5100	-4732
0.3	-4529	-4525	-4663	-4786	-4524
0.4	-3983	-4108.3	-4124	-4389.7	-4249
0.5	-3385.6	-3613.4	-3505	-3873.8	-3980
0.6	-2748	-3017.4	-2832	-3226.6	-3620
0.7	-2080	-2320.5	-2129	-2462.5	-
0.8	-1393	-1547.6	-1413.8	-1621.6	-
0.9	-696.2	-749	-700.8	-770.15	-
1	0	0	0	0	-

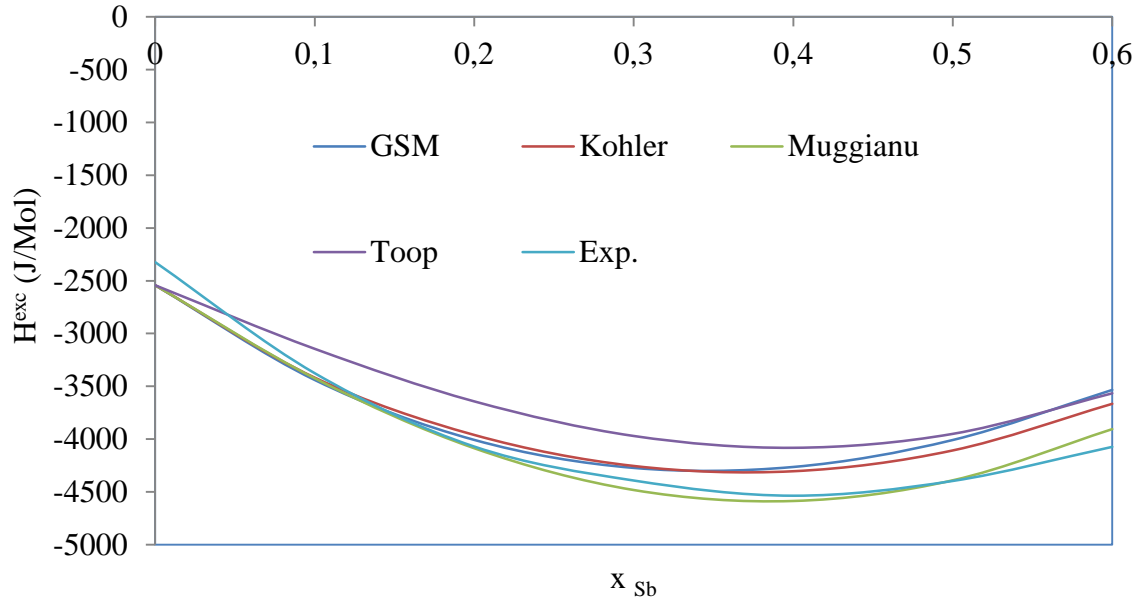
Çizelge 4.5. Co-Sb-Sn alaşımında Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, 1273K'de $x_{Sb} / x_{Sn} = 1/3$ kesiti için integral entalpilerin Co kompozisyonlarına karşılık elde edilen değerler.

x_{Co}	H^{exc} (J/Mol)	H^{exc} (J/Mol)	H^{exc} (J/Mol)	H^{exc} (J/Mol)	Den. (J/Mol)
0	-940.444	-940.444	-940.444	-940.444	-1000
0.0333	-2019.31	-2230.5	-2242.71	-2140.46	-2050
0.0666	-3064.91	-3321.37	-3357.64	-3158.33	-2950
0.1	-4072.62	-4243.88	-4308.23	-4017.25	-3950
0.1332	-5037.81	-5014.75	-5115.58	-4738.51	-4800
0.1665	-5955.86	-5662.71	-5798.91	-5341.54	-5780
0.2	-6822.14	-6203.7	-6375.54	-5843.85	-6270
0.2333	-7636.72	-6656.23	-6863.58	-6263.35	-6900
0.3	-9069.97	-7337.17	-7612.93	-6895.68	
0.4	-10678.7	-7957.91	-8328.59	-7487.34	
0.5	-11528	-8234.55	-8686.99	-7788.27	

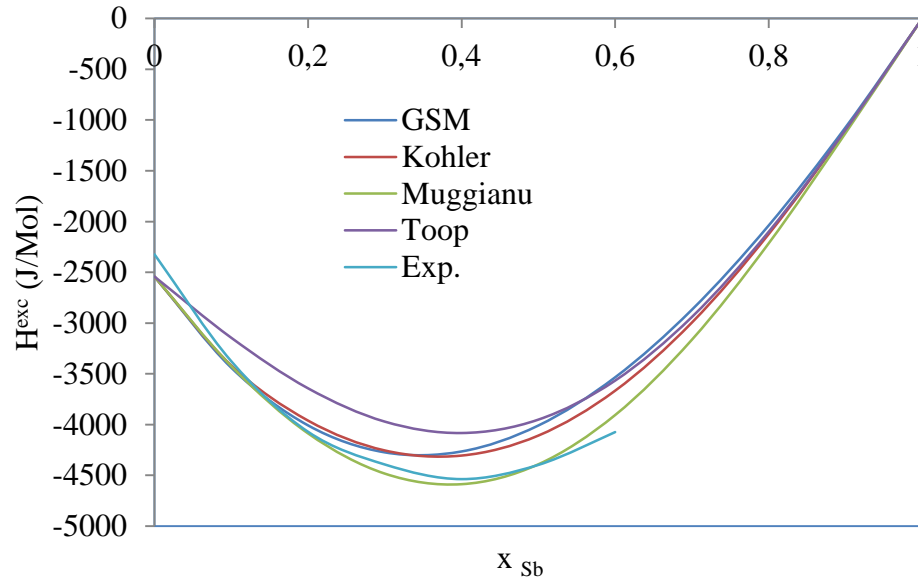
0.6	-11492.8	-8184.88	-8695.65	-7811.34
0.7	-10447.6	-7681.43	-8208.27	-7415.66
0.8	-8267.26	-6451.99	-6924.76	-6306.51
0.9	-4826.49	-4079.22	-4391.24	-4035.4
1	0	0	0	0



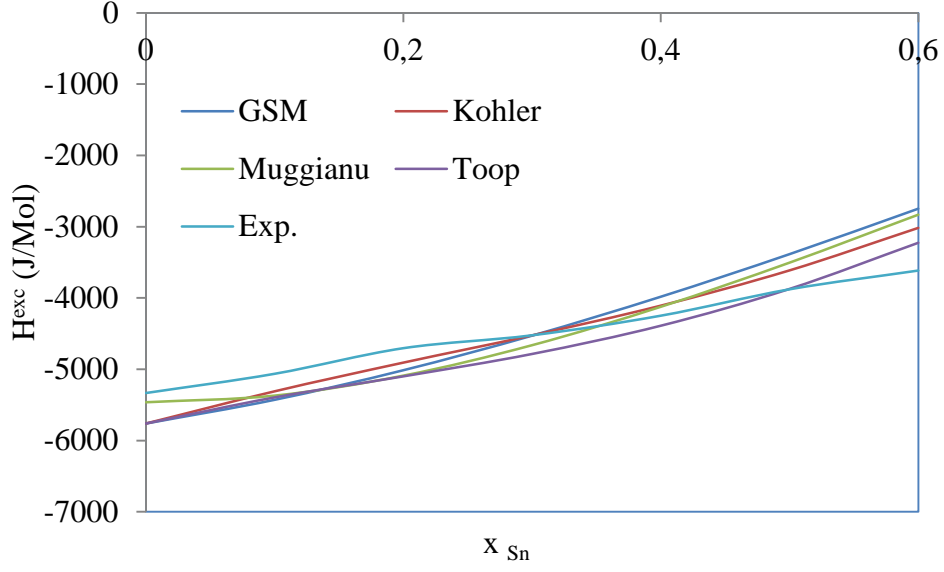
Şekil 4.1. İkili Co-Sb and Co-Sn alaşımların Toop modeli ile 1273 K' de hesaplanmış integral entalpileri (Elmahfoudi, ve ark, 2012).



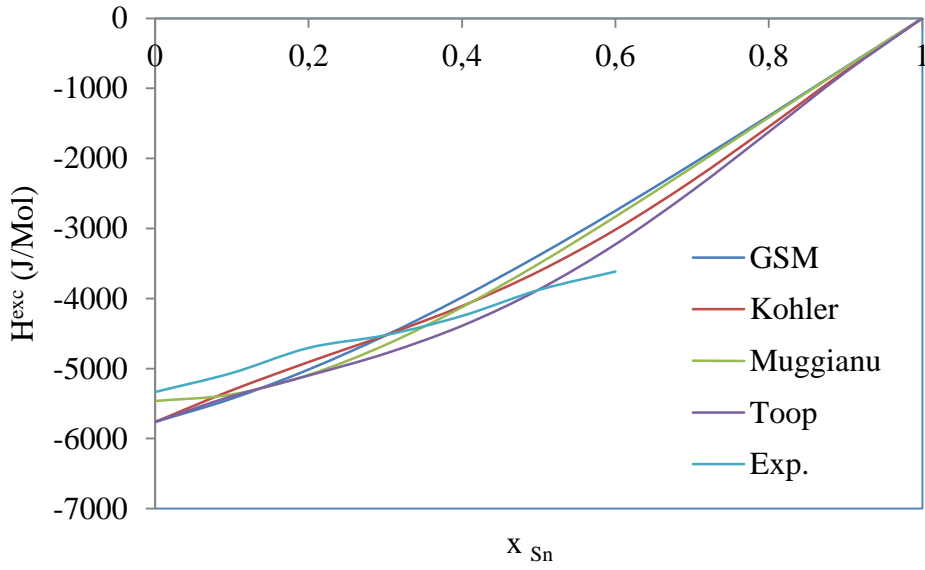
Şekil 4.2. Üçlü Co-Sb-Sn alaşımı için tüm modellerin kullanımı ile 1273 K' de $x_{Co} / x_{Sn} = 1/4$ kesiti için hesaplanmış integral entalpiler, H^{exc} (J/Mol).



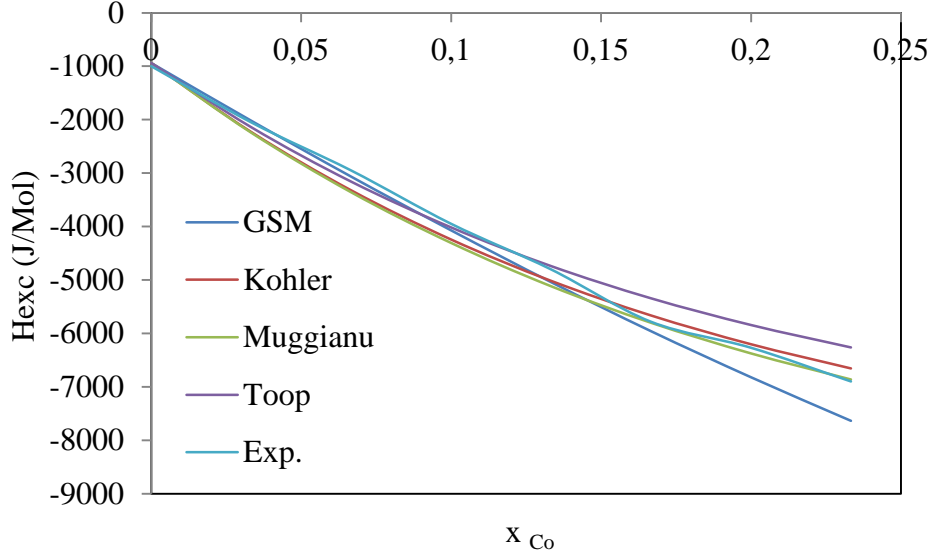
Şekil 4.3. Üçlü Co-Sb-Sn alaşımı için tüm modellerin kullanılmasıyla, tüm kompozisyon üzerinden, 1273 K' de $x_{Co} / x_{Sn} = 1/4$ kesiti için hesaplanmış integral entalpiler, H^{exc} (J/Mol).



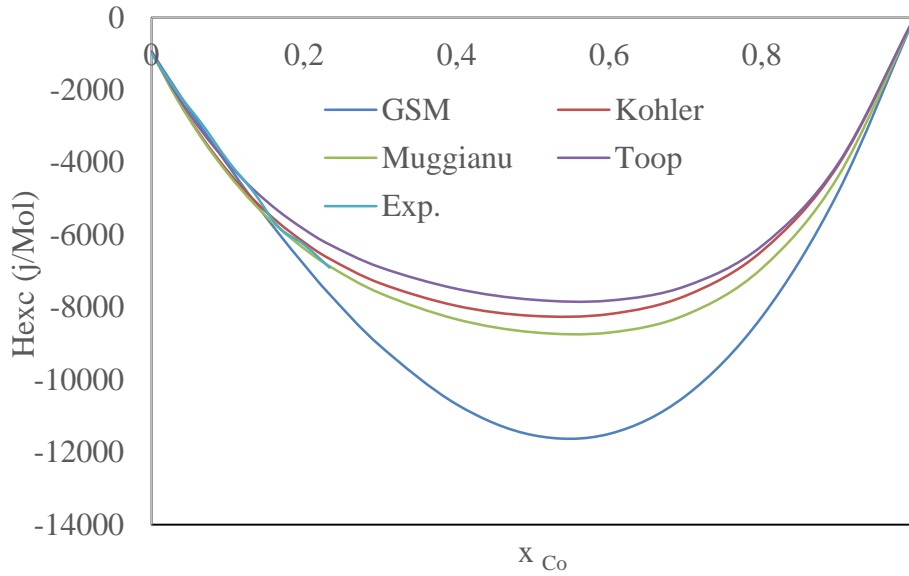
Şekil 4.4. Üçlü Co-Sb-Sn alaşımı için tüm modellerin kullanımı ile 1273 K' de $x_{Co} / x_{Sb} = 1/5$ kesiti için hesaplanmış integral entalpiler, H^{exc} (J/Mol).



Şekil 4. 5. Üçlü Co-Sb-Sn alaşımı için tüm modellerin kullanılmasıyla, tüm kompozisyon üzerinden, 1273 K' de $x_{Co} / x_{Sb} = 1/5$ kesiti için hesaplanmış integral entalpiler, H^{exc} (J/Mol).



Şekil 4.6. Üçlü Co-Sb-Sn alaşımı için tüm modellerin kullanımı ile 1273 K' de $x_{Sb} / x_{Sn} = 1/3$ kesiti için hesaplanmış integral entalpiler, H^{exc} (J/Mol).



Şekil 4.7. Üçlü Co-Sb-Sn alaşımı için tüm modellerin kullanılmasıyla, tüm kompozisyon üzerinden, 1273 K' de $x_{Sb} / x_{Sn} = 1/3$ kesiti için hesaplanmış integral entalpiler, H^{exc} (J/Mol).

Dört bileşenli alaşımların integral entalpisini hesaplamak ve geometrik modeller ve deneysel sonuçlarla bir karşılaştırma yapmak amacıyla yüksek sıcaklıkta dört bileşenli bir sıvı Ag-In-Pd-Sn alaşımı seçilmiştir. İkili etkileşme parametreleri için (Luef ve ark., 2005) tarafından bir Calvet tipi kalorimetre 900 C° 'de ile ölçülüp belirlendiği çalışmalarındaki veriler esas olarak alınmıştır. Kullanılan Redlich-Kister parametreleri Çizelge 4.6' dan

alınmış, modeller ve deneysel sonuçlar arasındaki karşılaştırma ise Şekil 4.8' de verilmiştir. Şekil 4.9' da ise tüm kompozisyon üzerinden bir hesaplama yapılmıştır. Çizelge 4.9.' un oluşturulmasında Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8' deki parametrelerden faydalanılmıştır.

Çizelge 4.6. Ag-In-Pd-Sn alaşım sistemindeki ikili, üçlü ve dörtlü etkileşme parametreleri.

Etkileşme parametresi	Sıcaklık (C°)	k	J / mol Kaynak
^(k) A _{Ag-In} 1007	0	-15443	(Luef, 2005)
	1	-12728	
	2	3844	
^(k) A _{Ag-Pd} 1400	0	-19141	(Luef, 2011)
	1	-15925	
^(k) A _{Ag-Sn} 900	0	-3831	(Luef, 2004)
	1	-15575	
	2	-10888	(Luef, 2004)
^(k) A _{In-Pd} 900	0	-202640	
	1	85610	
^(k) A _{In-Sn} 900	0	-1481	(Luef, 2004)
	1	-499	
^(k) A _{Pd-Sn} 900	0	-215814	(Luef, 2004)
	1	-126046	
^(k) A _{Ag-In-Pd} 938	0	-275878	(Luef, 2005)
	1	66245	
	2	-653632	
^(k) A _{Ag-In-Sn} 727 - 980	0	32696	(Luef, 2005c)
	1	44749	
	2	10393	
^(k) A _{Ag-Pd-Sn} 900	0	-313084	(Luef, 2004)
	1	-422417	
	2	113838	
^(k) A _{In-Pd-Sn} 900	0	156065	(Luef, 2004)
	1	253787	
	2	211126	

Çizelge 4.7. Ag-In-Pd-Sn alaşımı için 1173 K'de hesaplanan kareler sapma toplamları.

$\eta(12,13)$	$\eta(12,14)$	$\eta(13,14)$	$\eta(21,23)$	$\eta(21,24)$	$\eta(23,24)$
663347.2	3248491	6414385	1.2E+09	6843339	1.38E+09
$\eta(31,32)$	$\eta(31,34)$	$\eta(32,34)$	$\eta(41,42)$	$\eta(41,43)$	$\eta(42,43)$
1.17E+09	1.39E+09	13571191	1698253	1.53E+09	1.61E+09

Çizelge 4.8. Ag-In-Pd-Sn alaşımı için 1173 K'de hesaplanan benzerlik katsayıları.

$\xi_{1(12)}^{(3)}$	$\xi_{1(12)}^{(4)}$	$\xi_{1(13)}^{(2)}$	$\xi_{1(13)}^{(4)}$	$\xi_{1(14)}^{(2)}$	$\xi_{1(14)}^{(3)}$
0.000552364	0.32189317 5	0.0005659 2	0.0046089 0	0.6566928 3	0.00416348 8
$\xi_{2(23)}^{(1)}$	$\xi_{2(23)}^{(4)}$	$\xi_{2(24)}^{(1)}$	$\xi_{2(24)}^{(3)}$	$\xi_{3(34)}^{(1)}$	$\xi_{3(34)}^{(2)}$
0.506065807	0.99029041	0.8011784 3	0.4628479 3	0.4745009 0	0.00837771

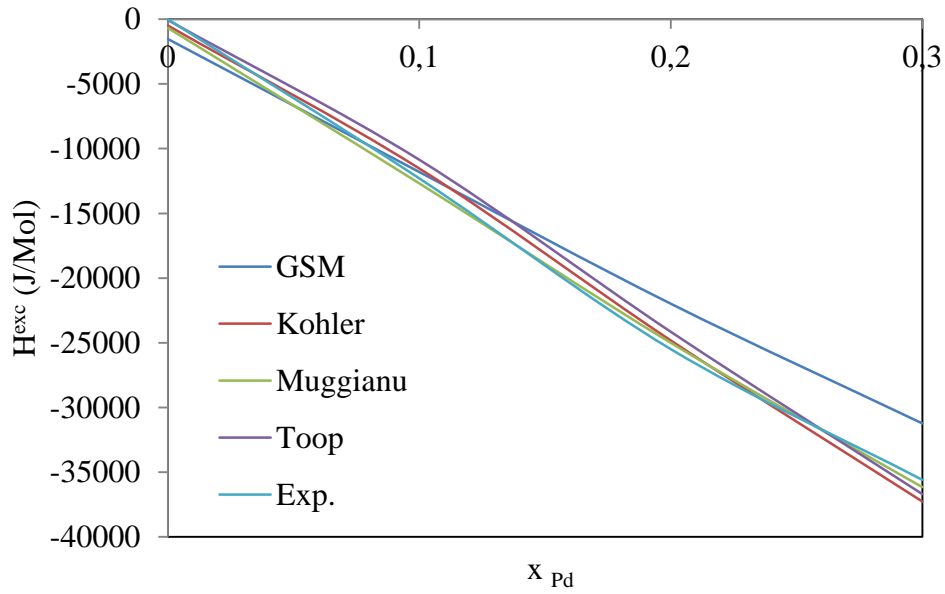
Çizelge 4.9. Dörtlü Ag₁₀-In₈₀-Pd-Sn₁₀ alaşımı için Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, 1273 K' de integral entalpilerin Pd kompozisyonlarına karşılık elde edilen değerler.

	Chou modeli	Kohler modeli	Muggianu modeli	Toop modeli	Den. (J/Mol)
x_{Pd}	H^{exc} (J/Mol)	H^{exc} (J/Mol)	H^{exc} (J/Mol)	H^{exc} (J/Mol)	
0	-553.02	-124.419	-672.11	-36.0925	0
0.1	-11816.4	-11554.9	-12687	-11349.1	-12000
0.2	-23033.8	-24409.5	-25011.1	-24209.7	-25500
0.3	-33278.6	-36414.8	-36163.7	-36247.5	-34000
0.4	-41624.6	-46042.2	-44868.4	-45913.1	
0.5	-47145.9	-52066.9	-50053.7	-51974.4	
0.6	-48916.9	-53491	-50852.4	-53430.5	
0.7	-46012.5	-49517.3	-46602	-49482.8	
0.8	-37507.8	-39536.4	-36844.6	-39520.9	
0.9	-22478.4	-23117.1	-21326.9	-23113.2	

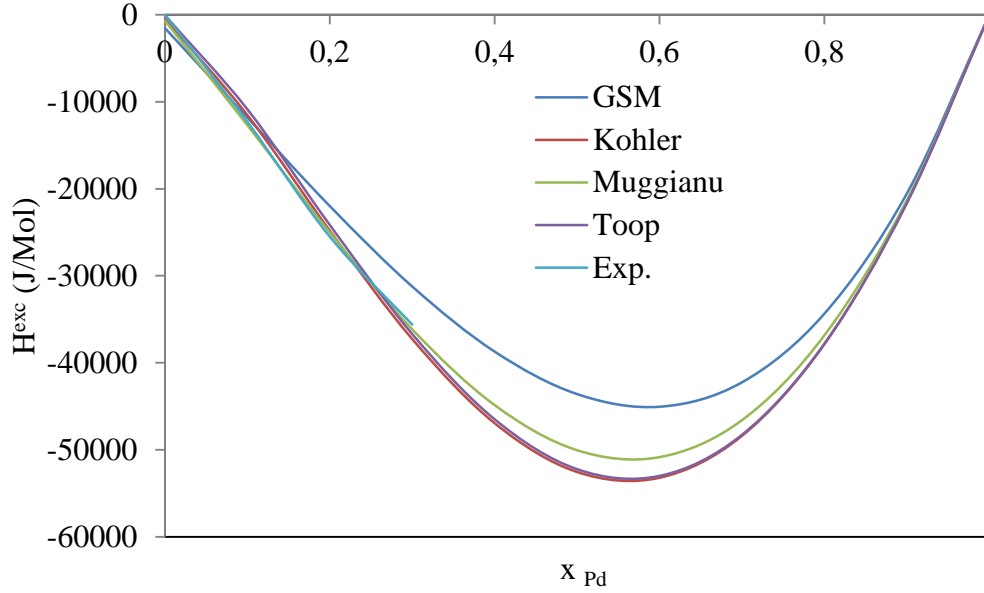
1 0 0 0 0

Çizelge 4.10. Dörtlü $\text{Ag}_{20}\text{-In}_{60}\text{-Pd-Sn}_{20}$ alaşımı için Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, 1273 K' de integral entalpilerin Pd kompozisyonlarına karşılık elde edilen değerler.

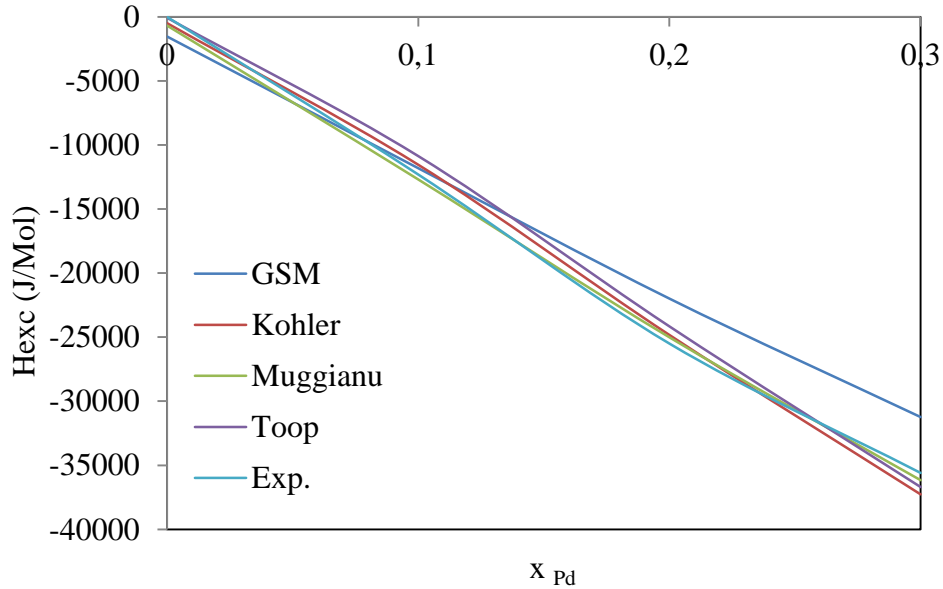
x_{Pd}	Chou modeli H^{exc} (J/Mol)	Kohler modeli H^{exc} (J/Mol)	Muggianu modeli H^{exc} (J/Mol)	Toop modeli H^{exc} (J/Mol)	Den. (J/Mol)
0	-1525.63	-483.847	-672.11	-63.3576	0
0.1	-11806.1	-11538.2	-12687	-10861.5	-12300
0.2	-21987.8	-24829.4	-25011.1	-24158.6	-25500
0.3	-31236.5	-37272.6	-36163.7	-36699.8	-35600
0.4	-38718.8	-46949.4	-44868.4	-46502.8	-
0.5	-43602.5	-52556.6	-50053.7	-52236	-
0.6	-45056.8	-53218.5	-50852.4	-53009.7	-
0.7	-42251.9	-48401	-46602	-48282.6	-
0.8	-34358.9	-37865.5	-36844.6	-37812.9	-
0.9	-20550.4	-21640	-21326.9	-21626.9	-
1	0	0	0	0	-



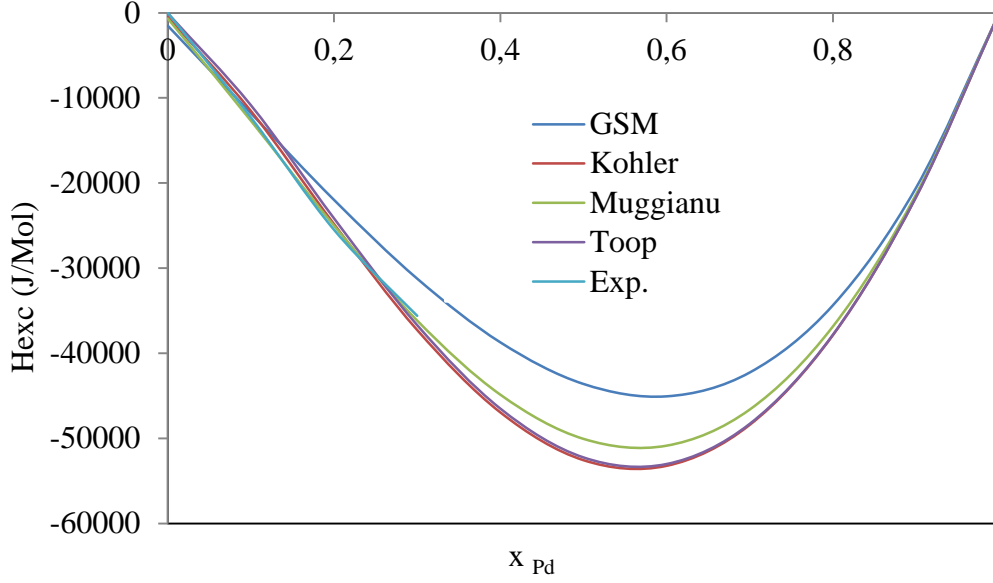
Şekil 4.8. Dörtlü $Ag_{10}-In_{80}-Pd-Sn_{10}$ alaşımı için tüm modellerin kullanımıyla, deneysel ölçüm aralığı üzerinden, 1273 K'de hesaplanan integral entalpi değerleri, H^{exc} (J/Mol).



Şekil 4.9. Dörtlü $Ag_{10}-In_{80}-Pd-Sn_{10}$ alaşımı için tüm modellerin kullanılmasıyla, Tüm kompozisyon aralığı üzerinden, 1273 K'de hesaplanan integral entalpi değerleri, H^{exc} (J/Mol).



Şekil 4.10. Dörtlü $Ag_{20}-In_{60}-Pd-Sn_{20}$ alaşımı için tüm modellerin kullanımıyla, deneysel ölçüm aralığı üzerinden, 1273 K'de hesaplanan integral entalpi değerleri, H^{exc} (J/Mol).



Şekil 4.11. Dörtlü $Ag_{20}-In_{60}-Pd-Sn_{20}$ alaşımı için alaşımı için tüm modellerin kullanılmasıyla, tüm kompozisyon üzerinden, 1273 K’de hesaplanan integral entalpi değerleri, H^{exc} (J/Mol).

Diğer taraftan, bu çalışmada elde edilen analitik ifadelerin uygulanabilirliğinin bir karşılaştırmasını yapmak için 2000 K’de ikili etkileşme parametreleri kullanılarak, yedi bileşenli Ni-Cr-Co-Al-Mo-Ti-Cu alaşımlarının karışımın fazlalık enerjileri de hesaplanmıştır. Söz konusu alaşımın 2000 K’de ikili etkileşme parametreleri Çizelge 4.10’da verilmiştir. Aynı alaşımlar için 2000 K’de hesaplanan kareler sapma toplamı ve benzerlik katsayıları ise Çizelge 4.11’de bir araya getirilmiştir. Yapılan bu katsayı hesaplamalarının doğruluğunu göstermek amacıyla, seçilen üç örnek için Çizelge 4.12 oluşturulmuştur. Denklem (3.2.1.11)’ de verilen ifadelerde seçilen indislerin kullanılmasıyla

$$\left(1 - \xi_{7(71)}^{(6)}\right) \left(1 - \xi_{6(67)}^{(1)}\right) \left(1 - \xi_{1(16)}^{(7)}\right) = 0.020007 = \xi_{7(71)}^{(6)} \xi_{6(67)}^{(1)} \xi_{1(16)}^{(7)}$$

$$\left(1 - \xi_{1(12)}^{(3)}\right) \left(1 - \xi_{3(31)}^{(2)}\right) \left(1 - \xi_{2(24)}^{(1)}\right) = 0 = \xi_{1(12)}^{(3)} \xi_{3(31)}^{(2)} \xi_{2(24)}^{(1)}$$

$$\left(1 - \xi_{2(24)}^{(1)}\right) \left(1 - \xi_{4(41)}^{(2)}\right) \left(1 - \xi_{1(12)}^{(4)}\right) = 0.085199 = \xi_{2(24)}^{(1)} \xi_{4(41)}^{(2)} \xi_{1(12)}^{(4)}$$

bulunur. Benzerlik katsayıları’ nın doğruluğu Çizelge 4.13’ teki ilave bilgiler incelenerek, açıkça görülebilir.

Çizelge 4.11. Ni-Cr-Co-Al-Mo-Ti-Cu alaşımlarının 2000 K' de ikili etkileşme parametreleri.

Alaşım sistemi	$A_{ij}^0(0)$	$A_{ij}^1(0)$	$A_{ij}^2(0)$	Kaynaklar
Ni-Cr(1-2)	-8368	0	0	(Kaufman, 1973)
Ni-Co(1-3)	3347	0	0	(Kaufman, 1973)
Ni-Al(1-4)	-77628.5	-63591.5	0	(Kaufman, 1978)
Ni-Mo(1-5)	10041	0	0	(Kaufman, 1978)
Ni-Ti(1-6)	-83988.2	-30205	-20155.96	(Tokunaga, 2004; Santy, 2010; Cost 507, 1998)
Ni-Cu(1-7)	14646.47	-22.41	0	(S. Sn Mey, 1992; Ansara, 1997; Witusiewicz, 2002)
Cr-Co(2-3)	-8368	0	0	(Kaufman, 1973)
Cr-Al(2-4)	-464420	0	0	(Kaufman, 1978)
Cr-Mo(2-5)	1877	1045	0	(Kaufman, 1978)
Cr-Ti(2-6)	5250	1500	0	(Cost 507, 1998)
Cr-Cu(2-7)	24893.75	1183.91	0	(Liu, 2009)
Co-Al(3-4)	-45341	189470	0	(Kaufman, 1978)
Co-Mo(3-5)	2510	0	0	(Kaufman, 1978)
Co-Ti(3-6)	-72830	-5513.8	13624	(Cacciamani, 2000)
Co-Cu(3-7)	25310	-834	0	(Liu, 2009)
Al-Mo(4-5)	-460240	0	0	(Kaufman, 1978)
Al-Ti(4-6)	-32250	4000	15000	(Cost 507, 1998)
Al-Cu(4-7)	-68334	39088	0	(Witusiewicz, 2002)
Mo-Ti(5-6)	-5000	0	0	(Santy, 2010)
Mo-Cu(5-7)	61285.4	1200	0	(Wang, 2000)
Ti-Cu(6-7)	-4599.8	0	-1514	(Arroyave, 2009)

Çizelge 4.12. Ni-Cr-Co-Al-Mo-Ti-Cu alaşımlarına eşlik eden 2000 K'de hesaplanan kareler sapma toplamı ve benzerlik katsayıları.

η (71,72)	3507154.5	$\xi_{1(17)}^{(2)}$	0.834276
η (17,12)	17655530		
η (71,73)	3793499	$\xi_{1(17)}^{(3)}$	0.528725
η (17,13)	4255936.5		
η (71,74)	236809205	$\xi_{1(17)}^{(4)}$	0.561363
η (17,14)	303065332		
η (71,75)	72513442	$\xi_{1(17)}^{(5)}$	0.009656
η (17,15)	707014.19		
η (71,76)	12628451	$\xi_{1(17)}^{(6)}$	0.963064
η (17,16)	329276174		
η (72,71)	3507154.5	$\xi_{2(27)}^{(1)}$	0.913172
η (27,21)	36884808		
η (72,73)	25165.758	$\xi_{2(27)}^{(3)}$	0.999318
η (27,23)	36884808		
η (72,74)	296555303	$\xi_{2(27)}^{(4)}$	0.363872
η (27,24)	169632982		
η (72,75)	44145074	$\xi_{2(27)}^{(5)}$	0.285727
η (27,25)	17659118		
η (72,76)	29431232	$\xi_{2(27)}^{(6)}$	0.304132
η (27,26)	12863040		
η (73,71)	3793499	$\xi_{3(37)}^{(1)}$	0.809141
η (37,31)	16082424		
η (73,72)	25165.758	$\xi_{3(37)}^{(2)}$	0.999335
η (37,32)	37810235		
η (73,74)	299895987	$\xi_{3(37)}^{(4)}$	0.530486
η (37,34)	338840757		
η (73,75)	43160681	$\xi_{3(37)}^{(5)}$	0.286506

$\eta (37,35)$	17331312		
$\eta (73,76)$	30258093	$\xi_{3(37)}^{(6)}$	0.910736
$\eta (37,36)$	308713667		
$\eta (74,71)$	236809205	$\xi_{4(47)}^{(1)}$	0.02366
$\eta (47,41)$	5738741.1		
$\eta (74,72)$	296555303	$\xi_{4(47)}^{(2)}$	0.072703
$\eta (47,42)$	23250902		
$\eta (74,73)$	299895987	$\xi_{4(47)}^{(3)}$	0.470405
$\eta (47,43)$	266378599		
$\eta (74,75)$	566875345	$\xi_{4(47)}^{(5)}$	0.040401
$\eta (47,45)$	23866783		
$\eta (74,76)$	141761840	$\xi_{4(47)}^{(6)}$	0.278707
$\eta (47,46)$	54776539		
$\eta (75,71)$	72513442	$\xi_{5(57)}^{(1)}$	0.546942
$\eta (57,51)$	87539808		
$\eta (75,72)$	44145074	$\xi_{5(57)}^{(2)}$	0.727187
$\eta (57,52)$	117669266		
$\eta (75,73)$	43147837	$\xi_{5(57)}^{(3)}$	0.727441
$\eta (57,53)$	115158445		
$\eta (75,74)$	566875345	$\xi_{5(57)}^{(4)}$	0.403745
$\eta (57,54)$	383850435		
$\eta (75,76)$	145655817	$\xi_{5(57)}^{(6)}$	0.501386
$\eta (57,56)$	146465332		
$\eta (76,71)$	12628451	$\xi_{6(67)}^{(1)}$	0.947752
$\eta (67,61)$	229074857		
$\eta (76,72)$	1144538.4	$\xi_{6(67)}^{(2)}$	0.747614
$\eta (67,62)$	3390329.4		
$\eta (76,73)$	30258093	$\xi_{6(67)}^{(3)}$	0.828185
$\eta (67,63)$	145850344		

η (76,74)	141761840	$\xi_{6(67)}^{(4)}$	0.13246
η (67,64)	21644801		
η (76,75)	145655817	$\xi_{6(67)}^{(5)}$	2.2E-05
η (67,65)	3206.5715		
η (21.27)	36884808	$\xi_{1(12)}^{(7)}$	0.323715
η (12.17)	17655530		
η (31.37)	16082424	$\xi_{1(13)}^{(7)}$	0.209257
η (13.17)	4255936.5		
η (41.47)	5738741.1	$\xi_{1(14)}^{(7)}$	0.981416
η (14.17)	303065332		
η (51.57)	87539808	$\xi_{1(15)}^{(7)}$	0.008012
η (15.17)	707014.19		
η (61.67)	229074857	$\xi_{1(16)}^{(7)}$	0.603186
η (16.17)	348210236		
η (32.37)	37810235	$\xi_{2(23)}^{(7)}$	0.49376
η (23.27)	36878134		
η (42.47)	23250902	$\xi_{2(24)}^{(7)}$	0.879452
η (24.27)	169626308		
η (52.57)	117669266	$\xi_{2(25)}^{(7)}$	0.130491
η (25.27)	17659118		
η (62.67)	56605152	$\xi_{2(26)}^{(7)}$	0.350114
η (26.27)	30494940		
η (43.47)	266378599	$\xi_{3(34)}^{(7)}$	0.559864
η (34.37)	338840757		
η (53.57)	115158445	$\xi_{3(35)}^{(7)}$	0.130812
η (35.37)	17331312		
η (63.67)	145850344	$\xi_{3(36)}^{(7)}$	0.679142
η (36.37)	308713667		
η (54.57)	383850435	$\xi_{4(45)}^{(7)}$	0.058538

η (45,47)	23866783		
η (64,67)	21644801	$\xi_{4(46)}^{(7)}$	0.71677
η (46,47)	54776539		
η (65,67)	146465332	$\xi_{5(56)}^{(7)}$	0.5
η (56,57)	146465332		
η (42,46)	9174524	$\xi_{2(24)}^{(6)}$	0.906624
η (24,26)	89079476		
η (52,56)	1581637.8	$\xi_{2(25)}^{(6)}$	0.193808
η (25,26)	380223.47		
η (62,61)	288010407	$\xi_{2(26)}^{(1)}$	0.021048
η (26,21)	6192378.4		
η (21,26)	6192378.4	$\xi_{1(12)}^{(6)}$	0.971373
η (12,16)	210119338		
η (31,36)	183986426	$\xi_{1(13)}^{(6)}$	0.60002
η (13,16)	276002251		
η (41,46)	92390284	$\xi_{1(14)}^{(6)}$	0.084447
η (14,16)	8521769		
η (51,56)	7541056	$\xi_{1(15)}^{(6)}$	0.976818
η (15,16)	317755684		
η (61,62)	288010407	$\xi_{1(16)}^{(2)}$	0.421816
η (16,12)	210119338		
η (61,63)	12454297	$\xi_{1(16)}^{(3)}$	0.956824
η (16,13)	276002251		
η (61,64)	114084115	$\xi_{1(16)}^{(4)}$	0.069505
η (16,14)	8521769		
η (61,65)	228123234	$\xi_{1(16)}^{(5)}$	0.582099
η (16,15)	317755684		
η (32,36)	130586946	$\xi_{2(23)}^{(6)}$	0.045273
η (23,26)	6192378.4		

$\eta (62,63)$	193614026	$\xi_{2(26)}^{(3)}$	0.030992
$\eta (26,23)$	6192378.4		
$\eta (62,64)$	41904762	$\xi_{2(26)}^{(4)}$	0.680078
$\eta (26,24)$	89079476		
$\eta (62,65)$	3512797.6	$\xi_{2(26)}^{(5)}$	0.097668
$\eta (26,25)$	380223.47		
$\eta (43,46)$	186180909	$\xi_{3(34)}^{(6)}$	0.521556
$\eta (34,36)$	202957376		
$\eta (53,56)$	2174627.7	$\xi_{3(35)}^{(6)}$	0.988054
$\eta (35,36)$	179867705		
$\eta (63,61)$	12454297	$\xi_{3(36)}^{(1)}$	0.9366
$\eta (36,31)$	183986426		
$\eta (54,56)$	56098953	$\xi_{4(45)}^{(6)}$	0.134597
$\eta (45,46)$	8725150.2		
$\eta (64,61)$	114084115	$\xi_{4(46)}^{(1)}$	0.447466
$\eta (46,41)$	92390284		
$\eta (64,62)$	41904762	$\xi_{4(46)}^{(2)}$	0.179613
$\eta (46,42)$	9174524		
$\eta (64,63)$	55857021	$\xi_{4(46)}^{(3)}$	0.769222
$\eta (46,43)$	186180909		
$\eta (64,65)$	21292560	$\xi_{4(46)}^{(5)}$	0.290667
$\eta (46,45)$	8725150.2		
$\eta (65,61)$	228123234	$\xi_{5(56)}^{(1)}$	0.031999
$\eta (56,51)$	7541056		
$\eta (63,62)$	193614026	$\xi_{3(36)}^{(2)}$	0.402796
$\eta (36,32)$	130586946		
$\eta (63,64)$	55857021	$\xi_{3(36)}^{(4)}$	0.766206
$\eta (36,34)$	183058334		
$\eta (63,65)$	145001922	$\xi_{3(36)}^{(5)}$	0.553661

$\eta (36,35)$	179867705		
$\eta (65,62)$	3512797.6	$\xi_{5(56)}^{(2)}$	0.310464
$\eta (56,52)$	1581637.8		
$\eta (65,63)$	145001922	$\xi_{5(56)}^{(3)}$	0.012799
$\eta (56,53)$	1880003.3		
$\eta (65,64)$	21292560	$\xi_{5(56)}^{(4)}$	0.724872
$\eta (56,54)$	56098953		
$\eta (21,23)$	0	$\xi_{1(12)}^{(3)}$	1
$\eta (12,13)$	4574707.5		
$\eta (21,24)$	48320983	$\xi_{1(12)}^{(4)}$	0.78758
$\eta (12,14)$	179157128		
$\eta (21,25)$	3503867.6	$\xi_{1(12)}^{(5)}$	0.763256
$\eta (12,15)$	11296376		
$\eta (43,45)$	170962602	$\xi_{3(34)}^{(5)}$	0.591227
$\eta (34,35)$	247270992		
$\eta (31,32)$	4574707.5	$\xi_{1(13)}^{(2)}$	0.5
$\eta (13,12)$	4574707.5		
$\eta (31,34)$	249964430	$\xi_{1(13)}^{(4)}$	0.487556
$\eta (13,14)$	237824286		
$\eta (31,35)$	23352.3	$\xi_{1(13)}^{(5)}$	0.984606
$\eta (13,15)$	1493654.5		
$\eta (41,42)$	51676492	$\xi_{1(14)}^{(2)}$	0.776131
$\eta (14,12)$	179157128		
$\eta (41,43)$	339702388	$\xi_{1(14)}^{(3)}$	0.411798
$\eta (14,13)$	237824286		
$\eta (41,45)$	52551380	$\xi_{1(14)}^{(5)}$	0.839785
$\eta (14,15)$	275454607		
$\eta (52,51)$	2226896.7	$\xi_{2(25)}^{(1)}$	0.611414
$\eta (25,21)$	3503867.6		

$\eta (52,53)$	18556.419	$\xi_{2(25)}^{(3)}$	0.994732
$\eta (25,23)$	3503867.6		
$\eta (52,54)$	76488727	$\xi_{2(25)}^{(4)}$	0.504344
$\eta (25,24)$	77829392		
$\eta (43,41)$	339702388	$\xi_{3(34)}^{(1)}$	0.423908
$\eta (34,31)$	249964430		
$\eta (43,42)$	170987459	$\xi_{3(34)}^{(2)}$	0.558743
$\eta (34,32)$	216513810		
$\eta (43,45)$	170962602	$\xi_{3(34)}^{(5)}$	0.591227
$\eta (34,35)$	247270992		
$\eta (51,52)$	2226896.7	$\xi_{1(15)}^{(2)}$	0.835329
$\eta (15,12)$	11296376		
$\eta (51,53)$	1890532	$\xi_{1(15)}^{(3)}$	0.441363
$\eta (15,13)$	1493654.5		
$\eta (51,54)$	104776141	$\xi_{1(15)}^{(4)}$	0.724441
$\eta (15,14)$	275454607		
$\eta (31,34)$	273185916	$\xi_{1(13)}^{(4)}$	0.502068
$\eta (13,14)$	275454607		
$n \eta (31,35)$	1890532	$\xi_{1(13)}^{(5)}$	0.441363
$\eta (13,15)$	1493654.5		
$\eta (32,31)$	4574707.5	$\xi_{2(23)}^{(1)}$	0
$\eta (23,21)$	0		
$\eta (32,34)$	216513810	$\xi_{2(23)}^{(4)}$	0.182457
$\eta (23,24)$	48320983		
$\eta (32,35)$	3944362.8	$\xi_{2(23)}^{(5)}$	0.47043
$\eta (23,25)$	3503867.6		
$\eta (42,41)$	51676492	$\xi_{2(24)}^{(1)}$	0.483222
$\eta (24,21)$	48320983		
$\eta (42,43)$	170987459	$\xi_{2(24)}^{(3)}$	0.220333

$\eta (24,23)$	48320983		
$\eta (42,45)$	5824.1333	$\xi_{2(24)}^{(5)}$	0.999925
$\eta (24,25)$	77829392		
$\eta (53,51)$	1890532	$\xi_{3(35)}^{(1)}$	0.012202
$\eta (35,31)$	23352.3		
$\eta (53,52)$	18556.419	$\xi_{3(35)}^{(2)}$	0.995317
$\eta (35,32)$	3944362.8		
$\eta (53,54)$	78518305	$\xi_{3(35)}^{(4)}$	0.758991
$\eta (35,34)$	247270992		
$\eta (54,51)$	104776141	$\xi_{4(45)}^{(1)}$	0.334025
$\eta (45,41)$	52551380		
$\eta (54,52)$	76488727	$\xi_{4(45)}^{(2)}$	0
$\eta (45,42)$	5824.1333		
$\eta (54,53)$	78518305	$\xi_{4(45)}^{(3)}$	0.685273
$\eta (45,43)$	170962602		

Çizelge 4.13. Seçilen üç örnek için benzerlik katsayılarının doğrulanması.

Kareler Sapma Toplamı	Benzerlik Katsayıları	Doğrulama
$\eta(17,16)$ 34821023	$\xi_{7(71)}^{(6)}$ 0.03499	Denklem (11)
$\eta(71,76)$ 12628451		0.020007 = 0.02000
	$\xi_{6(67)}^{(1)}$ 0.94775	
	$\xi_{1(16)}^{(7)}$ 0.60318	
		Denklem (3.2.1.11)
$\eta(21,23)$ 0	$\xi_{1(12)}^{(3)}$ 1	
$\eta(12,13)$ 4574707.5		$1.09 \times 10^{-17} = 0$

$\eta(13,12)$	4574707.5	$\xi_{3(31)}^{(2)}$	0.5		
$\eta(31,32)$	4574707.5				
		$\xi_{2(23)}^{(1)}$	0		
					Denklem (3.2.1.11)
		$\xi_{2(24)}^{(1)}$	0.48322		
				0.085199	= 0.085199
$\eta(14,12)$	17915712	$\xi_{4(41)}^{(2)}$	0.22386		
$\eta(41,42)$	51676492				
		$\xi_{1(12)}^{(4)}$	0.78758		

Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, karışımın Gibbs enerjileri 2000 K' de $x_{Ni} = x_{Cu}, x_{Cr} = x_{Ti}, x_{Co} = x_{Ti}, x_{Al} = x_{Ti}, x_{Mo} = r x_{Ti}, x_{Ti} = (1-x_{Cu})/(r+5)$ ve $r = 0.1$ kesiti için Cu kompozisyonuna göre hesaplanmış (Çizelge 4.14) ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Şekil 4.10).

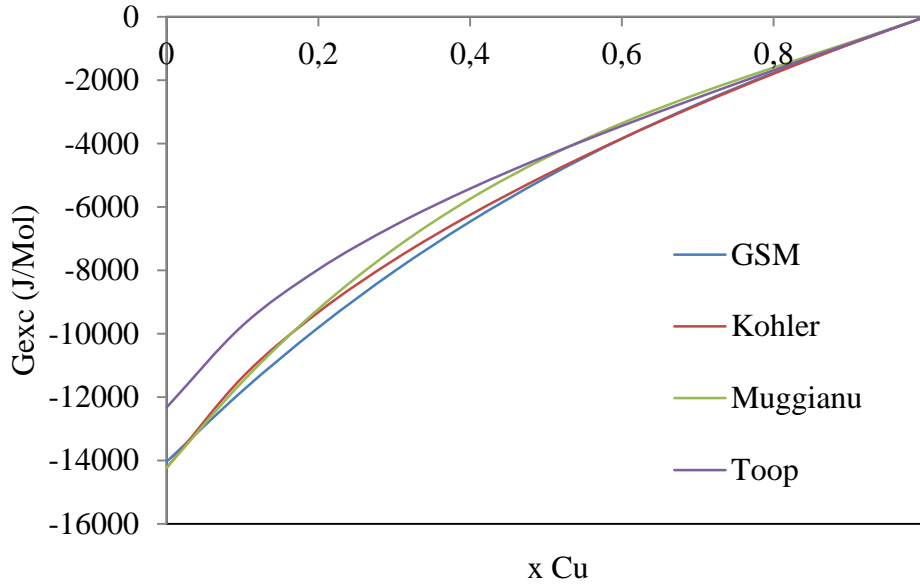
Şekil 4.6 incelendiğinde $x_{Sb} / x_{Sn}=1/3$ kesiti için Chou modelinin ekzotermik bir duruma en yakın bir davranış gösterdiği görülebilir. Şekil 4.5 incelendiğinde $x_{Co} / x_{Sb}=1/5$ kesiti için Toop modelinin ekzotermik bir duruma en yakın bir davranış gösterdiği görülebilir. Şekil 4.3 incelenmesinden ise $x_{Co} / x_{Sn}=1/4$ kesiti için Muggianu modelinin ekzotermik bir duruma en yakın bir davranış gösterdiği görülebilir. Şekil 4.9'un incelenmesinden Kohler modelinin ekzotermik bir duruma en yakın bir davranış gösterdiği görülebilir. Şekil 4.11'in incelenmesinden Toop modelinin ekzotermik bir duruma en yakın bir davranış gösterdiği görülebilir. Yedi bileşenli Ni-Cr-Co-Al-Mo-Ti-Cu alaşımının enerjisinin 2000 K' de $x_{Ni} = x_{Cu}, x_{Cr} = x_{Ti}, x_{Co} = x_{Ti}, x_{Al} = x_{Ti}, x_{Mo} = r x_{Ti}, x_{Ti} = (1- x_{Cu})/(r+5)$ ve $r = 0.1$ için Çizelge 4. 14' te verilmiş ve tüm modeller için Cu kompozisyonuna göre çizimi ise Şekil 4.12' de sunulmuştur. Şekil 4.12 incelenirse, Kohler modelinin ekzotermik bir duruma en yakın bir davranış gösterdiği görülürken, tüm modellerin karşılıklı bir uyum içinde oldukları görülebilir. Entalpinin ekzotermikliğinin büyük olması Co-Sb-Sn alaşım sistemini meydana getiren Co, Sb ve Sn elementleri arasındaki etkileşmenin olacağı

şeklinde yorumlanabilirken, entalpinin endotermikliğinin büyük olması söz konusu elementler arasındaki etkileşmenin zayıf olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Diğer taraftan, Çizelge 4.15' in incelenmesinden, $Ag_{10}-In_{80}-Pd-Sn_{10}$ ve $Ag_{20}-In_{60}-Pd-Sn_{20}$ alaşımlarında 1173 K'de hesaplanan integral entalpi için, bütün modellerin aralarında karşılıklı bir uyum olduğu görülmekle birlikte, Muggianu modelinin deneysel sonuçlarla en iyi uyumu gösteren model olduğu anlaşılmaktadır. Çizelge 4.17, 4.18 ve 4.19' un incelenmesinden, sırasıyla üçlü alaşımlara ait $x_{Sb} / x_{Sn} = 1/3$, $x_{Co} / x_{Sb} = 1/5$ ve $x_{Co} / x_{Sn} = 1/4$ atomca oranları için Chou, Kohler, ($x_{Sb} / x_{Sn} = 1/3$), Toop ($x_{Co} / x_{Sb} = 1/5$), Muggianu ($x_{Co} / x_{Sn} = 1/4$) modellerinin deneysel sonuçlarla en iyi uyumu gösteren modeller oldukları anlaşılmaktadır. Çizelge 4.15, ve 4.16' nın incelenmesinden ise, sırasıyla dördü alaşımlara ait $Ag_{10}-In_{80}-Pd-Sn_{10}$ ve $Ag_{20}-In_{60}-Pd-Sn_{20}$ kesitleri için Muggianu modelinin deneysel sonuçlarla en iyi uyumu gösteren modeller oldukları anlaşılmaktadır.

Çizelge 4. 14. Ni-Cr-Co-Al-Mo-Ti-Cu alaşımı için Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, de $x_{Ni} = x_{Cu}, x_{Cr} = x_{Ti}, x_{Co} = x_{Ti}, x_{Al} = x_{Ti}, x_{Mo} = r x_{Ti}, x_{Ti} = (1x_{Cu})/(r+5)$ ve $r = 0.1$ kesiti için 2000 K' de hesaplanan karışımın Gibbs enerjilerinin Cu kompozisyonlarına karşılık gelen değerleri.

	Chou modeli	Kohler modeli	Muggianu modeli	Toop modeli
x_{Cu}	G^{exc} (J/Mol)	G^{exc} (J/Mol)	G^{exc} (J/Mol)	Den. (J/Mol)
0	-14039	-14232.7	-14235.3	-12327
0.1	-11802.1	-11372.6	-11510.7	-9744.97
0.2	-9805.69	-9320.92	-9223.4	-7970.21
0.3	-8032.08	-7668.15	-7319.5	-6585.73
0.4	-6461.73	-6249.93	-5744.29	-5420.08
0.5	-5073.42	-4987.57	-4441.98	-4387.86
0.6	-3844.22	-3838.72	-3355.77	-3440.31
0.7	-2749.49	-2778.59	-2427.81	-2546.48
0.8	-1762.87	-1791.67	-1599.28	-1685.05
0.9	-856.299	-867.792	-810.304	-840.296
1	0	0	0	0



Şekil 4.12. Ni-Cr-Co-Al-Mo-Ti-Cu alaşımı için Chou, Muggianu, Kohler ve Toop modelleri kullanılarak, $x_{Ni} = x_{Cu}$, $x_{Cr} = x_{Ti}$, $x_{Co} = x_{Ti}$, $x_{Al} = x_{Ti}$, $x_{Mo} = r x_{Ti}$, $x_{Ti} = (1 - x_{Cu})/(r+5)$ ve $r = 0.1$ kesiti için 2000 K' de hesaplanan karışımın Gibbs enerjilerinin, G^{exc} (J/Mol), Cu kompozisyonuna göre değişimi.

Çizelge 4.15. Her model için $Ag_{10}-In_{80}-Pd-Sn_{10}$ alaşımında 1173 K' de hesaplanan integral entalpi için, standart sapma değerleri.

Chou modeli	Kohler modeli	Muggianu modeli	Toop modeli
658.7104	672.4004	604.3643	668.0801

Çizelge 4.16. Seçilen her model için $Ag_{20}-In_{60}-Pd-Sn_{20}$ alaşımında 1173 K' de hesaplanan integral entalpi için, standart sapma değerleri.

Chou modeli	Kohler modeli	Muggianu modeli	Toop modeli
1456.602	503.843	269.0509	563.5834

Çizelge 4.17. Seçilen her model için Co-Sb-Sn alaşım sisteminin $x_{Sb} / x_{Sn}=1/3$ alaşım oranında 1173 K'de hesaplanan integral entalpi için, standart sapma değerleri.

Chou modeli	Kohler modeli	Muggianu modeli	Toop modeli
81.496	81.401	95.4331	94.468

Çizelge 4.18. Seçilen her model için Co-Sb-Sn alaşım sisteminin $x_{Co}/x_{Sb}=1/5$ alaşım oranında 1173 K'de hesaplanan integral entalpi için, standart sapma değerleri.

Chou modeli	Kohler modeli	Muggianu modeli	Toop modeli
173.7661	122.3205	337.4868	118.5806

Çizelge 4.19. Seçilen her model için Co-Sb-Sn alaşım sisteminin $x_{Co}/x_{Sn}=1/4$ alaşım oranında 1173 K'de hesaplanan integral entalpi için elde edilen standart sapma değerleri.

Chou modeli	Kohler modeli	Muggianu modeli	Toop modeli
109.3786	88.60345	42.70951	151.5212

Alaşımın Gibbs serbest enerjisini belirlemede genellikle deneylerden faydalanılmaktadır. İki ve üç bileşenli alaşımların Gibbs serbest enerjisinin belirlenmesi konusunda çok sayıda deney yapılmıştır. Ancak alaşımlarda kullanılan eleman sayısının artırılması durumunda deney sırasında ortaya oldukça fazla zorluk çıkmasının yanında yapılan deneylerin maliyeti de o kadar fazla olmaktadır. Bu maliyetlerden kurtulmak için teknolojik olarak ileri ülkelerde de deney yapmak yerine yapılan deneylerde kullanılan parametreleri teorik olarak tespit etme yoluna gidilmektedir. Söz konusu parametrelerin hesaplanması için ise bilgisayar programları gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan bazı hesaplama yaklaşımları kullanılarak, sonuçların basit analitik ifadelerle sahip olmasının sağlanması nedeniyle bilgisayar programlarına gerek kalmamaktadır. Yapılan bu çalışma, ayrıca aynı bileşen sayısına sahip çok sayıda alaşımda gözlenen Gibbs serbest enerjisine

eşlik eden termodinamik parametreleri başarı ile hesaplayabilmek için teorik bir temel oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ansara, I., 1972. Thermochemistry in Metallurgical Chemistry, ed. Kubaschewski, (Editors: Kubaschewski, O.) H.M.S.O., London, s. 403-430.
- Ansara, I., Intern. Metals Reviews, Comparison of Methods for Thermodynamic Calculation of Phase Diagrams 1979., 1, 20-5 I.
- Ansara, I., Dupin, N., Lukas, H. L., Sundman, B., 1997 .An Assessment of the Al-Ni System, J. of Alloys and Comps., 247, 20-30.
- Ansara, I, Dinsdale, A. T., Rand M. H., 1998, Thermochemical Database for Light metal Alloys, Cost 507.
- Boinnier, E., Caboz, R., 1960. Sur L'estimation de L'enthalpie Libre de Melange De Certains Alliages Metalliques Liquides Ternaires, Compt. Rend., 250, 527-29.
- Cacciamani, G., Ferro, R., .Ansara, I., .Dupin, N., 2000. Thermodynamic Modeling of the Co- Ti system, Intermetallics, 8, 213-222.
- Chen, S-L., Chou, K-C., 1989a. Rare Metals, 8, 4, 22-26.
- Chen, S-L., Chou, K-C., 1989b. Calphad, 13, 1, 79-82.
- Chen, S-L., Cui, J-Q., Chen, T-K., Chou, K-C., 1989c. Calphad, 13, (3), 225-230.
- Arroyave, R.T., . Eager, W., Kaufman, L., 2003. Thermodynamic Assessment of the Cu-Ti- Zr system, J. of Alloys and Comps., 351, 158-170.
- Chou, K-C., 1987a, Proceeding of the Fourth National Molten Chemistry and Electrochem. Conference, Zhengzhou, China, April.
- Chou, K-C., 1987b. A new solution model for predicting ternary thermodynamic properties A New Solution Model for Predicting Ternary Thermodynamic Properties, Calphad, 11, 3, 293-300.
- Chou, K-C., Li, R-Q., 1989a, Rare Metals., 8, No.4, 12-17.
- Chou, K-C., Chang, Y.A., 1989b. A Study of Ternary Geometrical Models Ber. Bunsenges, Phys. Chem., 93 (6), 735-741.
- Chou, K-C., Wei, S.K., 1997. A New Generation Solution Model for Predicting Thermodynamic Properties of a Multicomponent System from Binaries, Metall. Mater. Trans. B., 28, 439-445.
- Chou., K. C., Li, W. C., Li, F., He, M., 1966, Formalism of New Ternary Model Expressed in Terms of Binary Regular-Solution Type Parameters, 20 (4), Calphad, 395-406 .
- Colinet, C., 1967. D.E.S., Fat. Sci., Univ. Grenoble, France.

- Dogan, A., Arslan, H., 2015a. Comparative Thermodynamic Prediction of Integral Properties of Six Component, Quaternary, and Ternary Systems, *Metall. Mater. Trans. A*, Volume 46A, 3753-3760.
- Dogan, A., Arslan, H., 2015b., Estimation of Excess Energies and Activity Coefficients for the Penternary Ni–Cr–Co–Al– Mo System and Its Subsystems, *The Physics of Metals and Metallography*, Vol. 116, No. 6, 544–551.
- Elmahfoudi, A., Sabbar, A., Flandorfer, H., 2012. Enthalpies of Mixing of Liquid Systems for Lead Free Soldering: Co-Sb-Sn, *Intermetallics* 23, 128-133.
- H. Flandorfer ve ark., 2004, Institut für Anorganische Chemie, Universität Wien, Vienna, Austria, unpublished research,.
- M. Hillert, 1980, *CALPHAD*, 4, No.1, 1-1.
- M. Hillert, 1983, *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 87. 762-76.
- L. Kaufman and H. Nesor, 1973, *Z. Metallkd.*, , 64, 249–57.L.
- Kaufman and H. Nesor, 1978, *CALPHAD*, 2, 325. 48.
- F. Kohler, 1960, *Monatsh. Chem.*, 91, 738-740.
- R-Q. Li, MS. Thesis, University of Science & Technology Beijing, China, 1988.
- R-Q. Li, 1989, *Calphad*, 13 (1), 67-69.
- X. J. Liu, Z. P. Jiang, C. P. Wang, K. Ishida, 2009, Experimental Determination and Thermodynamic Calculation of Phase Equilibria in the Cu-Cr-Nb and Cu-Cr-Co Systems, *J. of Alloys and Comps.*, 478, 287-296.
- Luef, C., Flandorfer, H., Ipser, H., 2005. Lead-Free Solder Materials: Experimental Enthalpies of Mixing of Liquid Ag-In-Pd-Sn Alloys, *Metall. and Mater. Trans. A* 36A, 1273-1277.
- C. Luef, H. Flandorfer, and H. Ipser: *Z. Metallkd.*, 2004a, 95, 151-163.
- C. Luef, H. Flandorfer, and H. Ipser: *Thermochim. Acta*, 2004b, 417, 47-57.
- S. an Mey, 1992, *Termodinamik Re-evaluation of the Cu-Ni System*, 16, (3), 255-260.
- Y.M. Muggianu, M. Gambino and J. -P. Bras., 1975, *J. Chim. Phys. (Paris)* 72, 83-88.
- M. Rechchach, A Sabbar, H. Flandorfer, H. Ipser, 2010, Enthalpies of mixing of liquid In–Sn and In–Sn–Zn alloys, *Thermochim. Acta*, 502, 66-72.
- K. Santy, K. C. H. Kumar, 2010, Thermodynamic Assessment of Mo-Ni-Ti Ternary Sistem by Coupling First Principle Calculation with Calphad, *Intermetallics*, 18 (9), 1713– 1721.

- Sommer, F., Luck, R., Rupfholz, N., Predel, B., 1983. Chemical Short-Range Order in Liquid Sb-Sn Alloys Proved with the Aid of the Dependence of the Mixing Enthalpies on Temperature. *Mater. Res. Bull.*, 18, 621-629.
- K. Sukanuma, S. –J. Kim, K. –S. Kim, 2009, High-Temperature Lead-Free Solders: Properties and Possibilities, . *JOM*, 61 (2) 64-71.
- T. Tokunaga, K. Hasima, H. Ohtani, M. Hasebe, 2004, Thermodynamic analysis of the Ni-Si- Ti System Using Thermochemical Properties Determined From Ab Initio Calculations, *Mater. Trans.*, 45, 1507-1514.
- G.W. Toop, *Trans. AIME*, 1965, Predicting Ternary Activities Using Binary Data, 233, 85.
- C. P. Wang, X. J. Liu, I. Ohnuma, R. Kainuma, S. M. Hao, K. Ishida, 2000, Phase Equilibria in the Cu-Fe-Mo and Cu-Fe-Nb Systems, *J. Phase Equilibria*, 21 (1), 54-62.
- W. T. Witusiewicz, U. Hecht, S. Rex, F. Sommer, 2002, Partial and integral Enthalpies of Mixing of Liquid Ag-Al-Cu and Ag-Cu-Zn Alloys, *J. of Alloys and Comps.*, 337, 189-201.
- G.H. Zhang, and K.C. Chou, 2010, General Formalism for New Generation Geometrical Model, Application to the Thermodyn. of Liquid Mixtures, *J. Solution Chem.*, 39, 1200–1212.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgileri

Adı, Soyadı : Fırat DOĞAN
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.07.1982 - Adana
Medeni hali : Evli
Telefon : 0505 667 58 41
e-posta : firatdogan56@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet
Yüksek Lisans	KSÜ Fizik Bölümü (Devam Ediyor)	
Lisans	Selçuk Üniversitesi Fizik Öğretmenliği	2006
Lise	Düziçi Anadolu Öğretmen Lisesi	2000

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2014-	MEB	Fizik Öğretmeni

Yabancı Dil

İngilizce Seviye :[Başlangıç]

Hobiler

Film arşivi yapmak
Kitap okumak,
Bisiklete binmek