

Türkiye Jeofizikçiler Derneği Yayınları C V 1.S 1 S(7–30) Nisan 1977

Publications of Geophysicists Association of Turkey V. VI.N. 1 P (7–30) April 1977

**ELEKTRİK ÖLÇÜLERİN SÜLFÜRLÜ MİNERALLERİN ÇEŞİDİNİ AYIRT ET-
MEDE KULLANILMASI**

Use of Electrical Measurements in Distinguishing
Types of sulfide mineralizations

Ahmet ERCAN *

Ö Z

Dissemine mineral dağılımını içeren kayaçların simgesel saçılma frekans yanıt eğrilerinin biçiminden, kayacın içerdiği mineralin türünü saptama olasılığı, laboratuvar çalışmaları sonucu doğmuştur. Ayrıca bu çalışmada doygunluğun, saçılma (yitik tanjant), spesifik empedans ve polarizasyon değerinin frekansa göre değişimi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Küçük ve orta frekanslarda (10^{-2} – 10 Hz) yitik tanjant değeri büyük olsada, yüksek frekanslarda polarizasyon kapasitesi belirginleştiğinden ve kontak rezistans düştüğünden her nümune için hızlı bir sönüm gözlenmiştir.

A B S T R A C T

Identification of mineral types in rocks has appeared to be possible by means of the loss tangent measurements in frequency. In these laboratory experiments a detailed study has been made to determine the frequency variation of dissipation (loss tangent), specific impedance, and polarization of sulphide minerals disseminated in saturated or in desiccated rock samples. Information on variation of loss tangent with frequency also affords an insight into the complex mechanism of current conduction in rocks and how these parameters are affected by mineral content, moisture, saturation and other factors.

* İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fak. Jeofizik Kürsüsü—İSTANBUL

GİRİŞ

Son 30 yıl içinde yapılan çalışmalar Etkiyle Polarizasyon (IP) yöntemlerinin sülfid minerallerinin aranmasında kullanılabilecek en geçerli yöntem olduğunu kanıtlamıştır. Fakat IP yöntemlerinin bu başarısının yanısıra pirit, grafit ve kil gibi minerallerinde diğer tutumsal değer içeren minerallere benzer anomaliler göstermesi, bu yöntemin güvenilirliğini kısıtlayan bir unsur olmuştur. Yöntemin uygulamadaki verimini arttırmak ve sülfidli minerallerin türlerini ayırd edebilmede kullanılmasını sağlamak amacıyla, aranan sülfidli mineralin frekans özelliğinin seçilen frekans aralığında incelenmesi düşünülmüştür. (Katsube ve Collett, 1973 ; Verma, 1973). Bir kayacın sinagesel frekans özelliği, o kayacı oluşturan minerallerin çeşidine, içerdiği suya ve nemliliğe göre değişir. İncelenen kayacın türünü frekans ortamında simgeleyen en belirgin elektrik özelliğinin ise yitik tanjant açısı değişiminin olduğu bir çok araştırmacı tarafınca belirtilmiştir. (Voorbis ve diğ., 1973 ; Verma, 1973 ; Bodmer, 1963).

Yitik tanjant, başka bir deyişle saçılma (dissipation) değeri o kayacın dielektrik katsayısına bağlı bir değerdir. O halde yitik tanjant diğer bir deyişle saçılma, bir kayacın elektrik alandaki polarize olma ölçüsünü yada kayaç yapısını oluşturan minerallerin etkin kapasitansını ve bunun sonucu olarakta salınımsız (DC) ya da salınımlı (AC) akımla yaratılan bir elektrik alanına karşı, içerilen minerallerin duruk karşı koyumunun ölçüsünü verir. Polarizasyon ölçüsünün kayaç içinde minerallerin dağılımıyla, kayacın doygunluğuyla, elektrik suseptibilitesi ile, uygulanan elektrik alanla ve mineral türüyle dolaysız bir bağıntısı olduğundan yararlanarak, saçılmanın frekans değişiminin incelenmesiyle kayacın oluşturduğu mineralin türü açığa çıkarılabilir.

ELEKTRİK ÖLÇÜ DİZGESİ VE ÖLÇÜ ALMA YÖNTEMİ

a– Evri okuma devresinin içerikleri ve kurulması:

Stanford Üniversitesi Elektrik Fakültesi ERL laboratuvarında 10^{-2} ile 10 hertz frekans aralığında çalışacak nitelikte kurulmuş bu dizge (Bak Görü 1.) empedans ölçü dizgesi diye adlandırılır. Empedans ölçü dizgesi; bir alçak ve bir yüksek frekans üreticisi, bir yükseltici, bir gerilim ölçeri, bir osiloskopu yada X – Y alıcısını ve yalıtkan bir nümune tutucusunu içeren yalın bir kuruluştur (Bak Görü 2). 5 cm çapı ve 15 cm uzunluğu olan kayaç nünuneleri devreye seri olarak bağlanmıştır. Elektrik akımının nünuneden geçişini kolaylaştırmak için silindirin iki yanına üzer-

ELEKTRİK ÖLÇÜLERİN SÜLFÜRLÜ MİNERALLERDE KULLANILMASI

lerine gümüşlü bir karışım (silverprint) sürülen bakın plâkalar elektrod olarak kullanılmıştır. Temel olarak bu dizge verilen akımla dizgeden çıkan akım farkını, yani yitirilen I_y ve deplasman akımı I_d 'yi ölçmek için kullanılır. Bu iki akım değeri üreticinin çıkış gerilimi V_g ve devreye bağlanan ek bir direncin iki ucundaki gerilimin ölçülmesiyle belirlenir.

$$I_d = \frac{V_c}{R} \quad (1)$$

- I_d = Deplasman akımı
 V_c = Dizgenin çıkış gerilimi
 V_g = Üreticinin çıkış gerilimi (uygulanan gerilim)
 R = Çıkışa bağlanan direnç (Kilo Ohm.)

Yitirilen akım değeri ise,

$$I_y = I - I_d \quad (2)$$

bağıntısından bulunabilir. Böylece ölçülen giriş-çıkış gerilimlerinin oranından özempedansın değeri frekansın değişimi olarak elde edilebilir.

$$Z = \frac{V_c}{V_g} \text{ .1 K } \Omega \quad (3)$$

Kurulan devrede yer alan Katod Ray Osiloskop ekranından Lissajous biçiminde elde edilen V_c ve V_g gerilim değerlerini izleyen bağıntıda yerine koyarak o frekansdaki yitik tanjant yada saçılgenlik değeri bulunabilir. (Bak Görü 3).

$$D = \tan \delta = \tan \left[\frac{11}{2} - \arcsin \left(\frac{V_g \theta}{V_g} \right) \right] \quad (4)$$

yada

$$D = \tan \delta = \tan \left[\frac{11}{2} - \arcsin \left(\frac{V_c \theta}{V_c} \right) \right] \quad (5)$$

Evri (Phase) açısı okumaları isteğe göre ya düşey eksenden (V_g , V_{g0}) yada yatay eksenden (V_c , V_{c0}) okunabilir. Kuramsal olarak her iki eksen okumalarının sonuçlarının aynı olması gerekmektedir. Dolayısıyla iki eksenli ölçümler, sonuçlardaki yanılğı ve duyarlığı arttırması nedeniyle tek eksenli ölçümlere yeğlenmelidir. ϵ nin varlığının göz önüne alınması, elektriksel birimlerin karmaşık olarak tanımlanmasına yol açar. Nitekim, ölçülen saçılgenlik karmaşık iletkenliğin gerçek ve sanal bileşenlerinin oranlarından başka bir şey değildir. (Bak Görü 4).

A. ERCAN

$$\begin{aligned}
\sigma_k &= \sigma_g + j\sigma_s & \sigma_s &= \mu\omega k_g \epsilon_0 \\
k &= k_g - jk_s & k_s &= \sigma_g / \omega \\
\rho_k &= \frac{\rho_g}{|\sigma_k|} - j\frac{\rho_s}{|\sigma_k|} & & \\
&= \frac{1}{|\sigma_k|} (\sigma_g - j\sigma_s) & &
\end{aligned} \tag{6}$$

yada

$$\sigma_k = \frac{d}{A} Y - \frac{dq}{A} (G + jB) \text{ ve } \sigma_k = -\frac{A}{d} Z = -\frac{A}{d} (R - jX) \tag{7}$$

(Collett, 1973)

d = Nümunenin kalınlığı

A = Nümunenin yüzeyi

G = Kayaç nümunesinin kondaktansı

B = Kayaç nümunesinin permitansı

R = Kayaç nümunesinin rezistansı

X = Kayaç nümunesinin reaktansıdır.

Bu koşullar altında yalıtkanlığın, gerçek bileşeni iletkenliğin gerçek bileşenin tersine eşit değildir. Tanımlardan da anlaşılacağı üzere yitlik akımın, deplasman akımına oranının tanjantı saçılma katsayısını verecektir.

$$D = \tan \delta = \frac{I_y}{I_\phi} = \frac{\sigma_g}{\sigma_s} = \frac{\sigma_g}{\omega k_g \epsilon_0} \tag{8}$$

8 nolu denklem 5 nolu denklemle karşılaştırılırsa sonuçtan elde edilen değer fiziksel olarak neye karşılık olduğunu göstermektedir. Deneylerden anlaşılacağı üzere D = 1'e karşılık olan kritik frekans değerinden küçük frekanslarda karmaşık iletkenlik daha çok kayacın iletkenliğine, büyük frekanslarda ise daha çok yol verme değerine bağlıdır. Buna göre $\ln(\sigma_k)$ nin $\ln(w)$ ya göre düşsel değişimi ayrı özellikli kayalar için aşağıdaki gibi verilmiştir, (Bak Görü 5). Labaratuvarında kullanılan bazı nünuneler birden çok tür mineral çeşidini içerdiklerinden bu gibi durumlarda Collet ve Katsube'nin (1973) sundukları logaritmik karışım denklemi kullanılmıştır.

$$\text{Log} \epsilon = V_1 \text{log} \epsilon_1 + V_2 \text{log} \epsilon_2$$

$$D = \frac{\sigma_k}{w k \left(\frac{\sigma_{k1}}{w_1 k_1 (1 + D_1^2)^{1/2}} V_1 \left(\frac{\sigma_{k2}}{w_1 k (1 + D_2^2)^{1/2}} \right) V_2 \right) - 1}$$

ELEKTRİK ÖLÇÜLERİN SÜLFÜRLÜ MİNERALLERDE KULLANILMASI

D	Ortalama saçılgenlik
σ_k	Karmaşık iletkenlik
w	Frekans ($2 \pi f$)
k	Gerçek ilişkili yol verimlilik (real relative permittivity)
ϵ	Dielektrik durağanı ($\sigma_k / wk\sqrt{1 + D^2}$)
V	Mineralin oylum içindeki oranı

b– Nümune seçimi ve hazırlanması:

Stanford Üniversitesi Yer Bilimleri Fakültesi Maden Yatakları labratuvarından sağlanan nümunelerde mineralleşmenin her yönde aynı derecede dissemine olmuş olmasına ve nümunelerin mineralleşme damarlarını ve çatlakları bulundurmamasına özen gösterilmiştir. Bu arada birkaç masif mineral de deneye sokulmuş fakat masif mineralleşme durumunda ohmik akım varlığı dolayısıyla giriş–çıkış voltajları aynı evride olacaklarından (In–phase), doğrusal bir Lissajous biçimi ve her frekansta sıfır yitik tanjant değeri elde edilmiştir. (Bak Görü 6). O halde şunu kolayca söyleyebiliriz ki, bu labratuvar çalışmalarına dayanarak bulunabilecek bir jeofiziksel yöntem masif mineral oluşumlarının türlerini saptamada kullanılamaz. Dissemine mineralleşme içeren nümunelerdeki metal iletkenliği incelemek ve nemin elektrik özelliklere ne ölçüde etki ettiğini anlamak amacıyla nümuneler hem olağan nem koşulları altında ve hemde kısmen nemden arındırılarak incelenmiştir. Nem arıtma işlemi için basınçlı hava ile işleyen bir yüksek fırın kullanılmış ve nümuneler bu fırın içinde 200°C de yaklaşık 280 saat tutulmuşlardır. Bu işlem sonucunda nümunelerin tüm nemliliklerini, göz eneklerindeki suları yitirdikleri söylenemez, kurutma işleminin yitik tanjant değeri üzerinde büyük bir değişime neden olduğunu savlanabiliriz (Bak Görü 7 ve 8, Görü 9 ve 10). Bu görülerden gözlemlendiği üzere olağan suyundan arındırılan nümuneler herhangi bir simgesel frekans özelliğini de içermezler. Bunun tersine nümunelerin doygunluğu arttırıldıkça, küçük biçim değişikliğinin yanısıra, simgesel frekans genliğinde orantılı olarak arttığı gözlenmiştir, (Bak Görü 9,11). Nem ve gözenek suyunun frekans eğrileri üzerinde yaptığı bu etkinin incelenmesinden sonra, aynı türde dissemine mineral içeren diğer nümuneler üzerinde yapılan çalışmalarla, o minerale özgü simgesel frekans yanıt eğrileri elde edilmiştir.

c– Dissemine mineral oluşumu içeren nümunelerin yitik tanjant değerinin incelenmesi:

Galenit

Dissemine galenit diğer minerallere kıyasla 10^{-2} ile 10 hz arasında, daha büyük yitik tanjant değerini içerir. Kayaç içindeki dissemine galenit minerallerinin

A. ERCAN

varlığını imleyen frekans yanıtı 10^{-2} ile 10 Hz arasında simgeseldir. (Bak görü 12). Görüde görüldüğü gibi frekans yanıt eğrisi 10^{-2} Hz ve $5 \cdot 10^{-1}$ Hz konumlu iki doruk arasında, yaklaşık $1 \cdot 10^{-1}$ Hz çevresinde, DC düzeyine dek inen bir düşme (minimumu) gösterir. Kayaçtaki pirit oranının artması bu simgesel değişimin biçimini hemen hemen hiç bir değişikliğe uğratmaz. Uğratılan tek değişiklik sağda yer alan ikinci doruğu yüksek frekansa doğru yer değiştirmesidir. (Bak Görü 7).

Yitik tanjant eğrisi, eğer kayaçtaki galent ölçüsü içerilen pirit ölçüsünden fazla ise 1 Hz den büyük frekans değerlerinde hemen hiç bir değişikliğe uğramadan aynı düzeyde kalır. Kayacın daha çok pirit mineraline içermesi durumunda ise yitik tanjant değeri sağdaki ikinci doruktan hemen sonra (1 Hz) çevresinde üçüncü bir doruk değeri ne ulaşır. 2 Hz den büyük frekanslarda ise sürekli olarak artan bir sönümü içerir (Bak Görü 7) Görü 12 ve 13 de, 100 Hz çevresinde görülen ikincil doruk ise tümüyle kayacın sıya doygunluk ölçüsüyle ilgilidir. Doygunluk arttıkça doruk değerinde de bir büyüme görülür.

Pirit

Piritin yitik tanjant değişimi küçük frekanslarda galenitinkine kıyasla daha düzgündür (Bak Görü 9,11,14) Bu minerallerin simgesel eğrisi galenitinki gibi 0,1 Hz çevresinde düşük bir değeri içermez. Fakat bu düşük değer 1 ile 10 Hz arasında görülür. 10 ile 2000 Hz arasında beliren ani doruk değeri simgesel görünüşlüdür ve büyüklüğü doygunlukla pek az değişir. Buna neden, yüksek frekanslardaki iyonik iletkenlikte olabilir. Doygunluk etkisini 0,05 Hz den küçük ve 1 ile 10 Hz arasındaki değerlerde gösterir. Bu durumda 0,05 Hz den küçük değerlerde eğri düşük bir başlangıca iyedir. 1 ile 10 Hz arasında yer alan düşük değer içindeki bombe ise doygunluk artımıyla birlikte hızlı bir büyüme gösterir. (Bak Görü 11) Pirit ile ilgili diğer değerinilmesi gereken bir nokta en sağda yer alan sivri doruğun doygunlukla orantılı olarak sağa doğru kaymasıdır. Görü 14 de değişimin başlangıcında görülen büyük değer in yapısal bir nedenle oluştuğu sanılmaktadır.

Kalkopirit

Kalkopirit oldukça yalın biçimli basamak görünüşlü bir yitik tanjant değişimine iyedir. 0.01 Hz den 50 Hz'e dek eğride herhangi önemli bir salınım izlenmesede 50 Hz den büyük değerler için ani bir düşüşün izlenmesi ilginçtir (Bak Görü 15). Kayaçtaki demir oksit, pirit ve malakit ölçüsünün artmasıyla bu tekdüzeliğin küçük salınımlarla bozulması, kayaçtaki mineral karışımını simgeleyecek biçimdedir. (Bak Görü 16). Bununla birlikte hem kalkopiritli ve hemde piritli kayaçların 10^{-2} ile 1 Hz arasında

ELEKTRİK ÖLÇÜLERİN SÜLFÜRLÜ MİNERALLERDE KULLANILMASI

plâtoya benzer yitik tanjant değer değişimi göstermesi mineralizasyon türünün ayrılmasında bir güçlüğü doğurur. Fakat piritin diğer iletken minerallerle bulunduğu zaman 50 Hz çevresinde içerdiği sivri doruğu göstermesi ilginçtir.

SONUÇLARIN ELEŞTİRİSİ

Labratuvar çalışması kapsamında olan bu çalışmada daha çok sülfidli dissemine mineraller üzerine çalışılmıştır. Görülmüştür ki polarizasyona etki eden en önemli olgular; kayacın nemliliği, yarı iletken minerallerin tane büyüklükleri ve bu tanelerin birbirleriyle bağlantılarıdır. Bunlardan ilkinin kayaç içindeki oranının arttırılmasıyla frekans yanıt eğrisinin biçimi değişmesede, genlikte bir büyüme ve biçimde yüksek frekanslara doğru yer değiştirme olur. Dissemine yapıdan masifliğe doğru gidildikçe ise ohmik akım indüktif ve kapasitif akımlara üstün geleceğinden dizgeye giren akımla dizgeden çıkan gerilim arasında bir evri farkı ölçülmesi beklenemez. Çünkü masif ve porfirik yapılarda kayacın yüzey alanının sülfidli tane oylumuna oranı küçüktür. Polarizasyon, elektrolitik sıvıya açılan tane yüzeylerinin çokluğuna bağlı olduğundan böyle kayaçların toplam polarizasyonu, ya çok küçük olacak yada ölçülemeyecektir. Bu nedenle, çok yüksek frekanslar dışında, porfirik ve masif yapıli kayaçların saçılmalığının ölçülmesi olasılığı yoktur. Diğer yandan, eğer tane büyüklüğü dissemine tür kayaçlar gibi küçültülürse, aynı oylum için kayaç içinde iletken yada yarı iletken minerallerin elektrolitik sıvılara açılan yüzey alanı büyüyecektir. Dolayısıyla polarizasyon ölçülebilecek ölçüde büyük olacağından giren akımla çıkan akım arasında bir evri ayrıcalığı bulunacaktır. Ayrıca polarizasyon etkisi frekansın değişkeni olduğundan, yüksek frekanslarda polarizasyon direncini gölgeleyen polarizasyon kapasitesi ve artan frekansla küçülen, kontak rezistans nedeniyle sülfidli gözeneklerin empedansı, küçülecek ve reaktif güç büyüyecektir, (Bak Görü 7). Bu nedenle yüksek frekanslarda saçılmalılıkta hızlı bir sönüm gözlenecektir. Bir oranla doyunluğ u azaltılmış kayaçlarda alçak frekanslarda oldukça yüksek spesifik empedansı, küçük reaktif güç ve çok küçük saçılmalığın ölçülmesinin nedeni ise, gözenek direncinin artmasıdır. Fakat böyle bir durumda polarizasyon direnci ve mineral tanecikleri boyunca iletkenlikte bir değişim olmaz. Bu nedenle doyunluğ u oldukça azaltılmış (empedansı oldukça yükseltilmiş) nünuneler yada kayaçlar üzerinde bu frekanslarda evri açısı ölçümü yapılamayacaktır.

Kayacın içerdiği su azaltıldıkça sülfidle kapatılmış gözeneklerin toplam direnci, susuz gözeneklerin direncinden daha yavaş olarak azalacağından, toplam akımın büyük bir oranı sülfidle kapatılmış gözenekler boyunca akacak ve böylelikle polarizasyonun ölçüsü artacaktır.

A. ERCAN

Yapılan bu labratuvar çalışmaları sonucu demirce zengin sülfid minerallerin n kurşunca zengin sülfid minerallerinden ayrılabilceği ümidi doğmuştur. Sülfürlü minerallerin oluşum türlerinin tam olarak birbirlerinden ayırd edilebilmesi, ve bu konunun daha belirgin bir biçimde sınırlarının saptanabilmesi için daha çok sayıda nümune üzerinde çalışma yapılmasına gerek vardır. Bundan öte nünuneler dissemine mineralleşme içeren kayaçları içinden seçileceğini yapay olarak yapılmalıdır. Bu durumda kayaç içindeki disseminasyonun, mineralin yada mineral karışımlarının oranı tümüyle denetim altında olacağından sonuçlar daha sıhhatli olarak elde edilebilecektir.

Aynı ümitli sonuçların arazidede elde edilip edilemeyeceği henüz bilinmemektedir. Çünkü labratuvar çalışmalarında ele alınan nünuneler her nedenle ayrı yönlerde ve boydan boya aynı sülfürlü mineral dağılımını içerselerde, arazide benzer koşullar sağlanmayabilir. Söz gelimi yarı ortamda mineralleşme düzgün bir dağılım göstersedeyse, elektrodlar arasında yer alabilecek sülfürlü bir damarlaşıma ohmik akımı diğerlerine üstün getireceğinden frekans yanıt eğrileri yanıtıcı olabilecektir. Diğer bir sorunda madenin yarı ortamdaki süreksizliğidir. Şöyle ki; Mineralleşmenin $(h, h + \Delta h)$ aralığında yer aldığı tasarlıyalım. Elektrik erkin yere dalımı uygulanan frekansın değışkeni olduğundan mineralleşmenin yer aldığı derinliklerde kalabilmek için uygulanan frekans $(w_h, w_h + \Delta w_h)$ aralığı için sınırlanacaktır. Bu durum frekans yanıt eğrisinin bir bant-geçişli filtreden geçirilmiş olacağı anlamına özdeştir. Böyle durumlarda Δw_h genişliğindeki pencere içinde yer alan frekans yanıt eğrisinden mineral çeşidini anlamak kuşkusuz hele yüksek frekanslarda oldukça güç olacaktır. Deneysel eğrilerden görüldüğü gibi sülfürlü minerallerin simgesel frekans yanıtları küçük frekanslarda yer almaktadır. Bu nedenle yukarıda sözü edilen bütün olumsuz olasılıklara karşın yöntemin derinlerde oluşmuş minerallerin türünü saptamada kullanılması olasılığı vardır. Böyle bir durumda alçak geçişli bir süzgeç ile yüzeye yakın olan yerlerdeki etkiler süzülebilir.

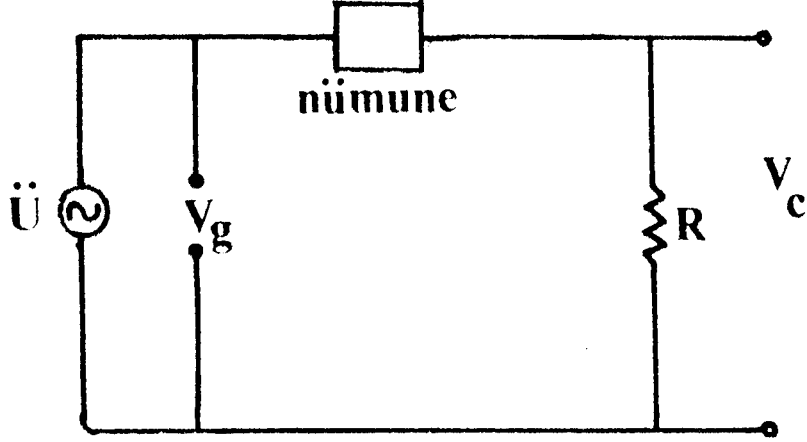
Yeni yöntemin arazide uygulanması için, taşınabilir bir aletin yapımı sürdürülmektedir.

DEĞİNİMLER

Çalışmalar sırasında labratuvar gereçlerini sağliyan, her zaman bilgisel dayanimada bulunduğum Prof. Dr. M.M. Mc Whorter ve Prof. Dr. George Thompson'a teşekkür ederim.

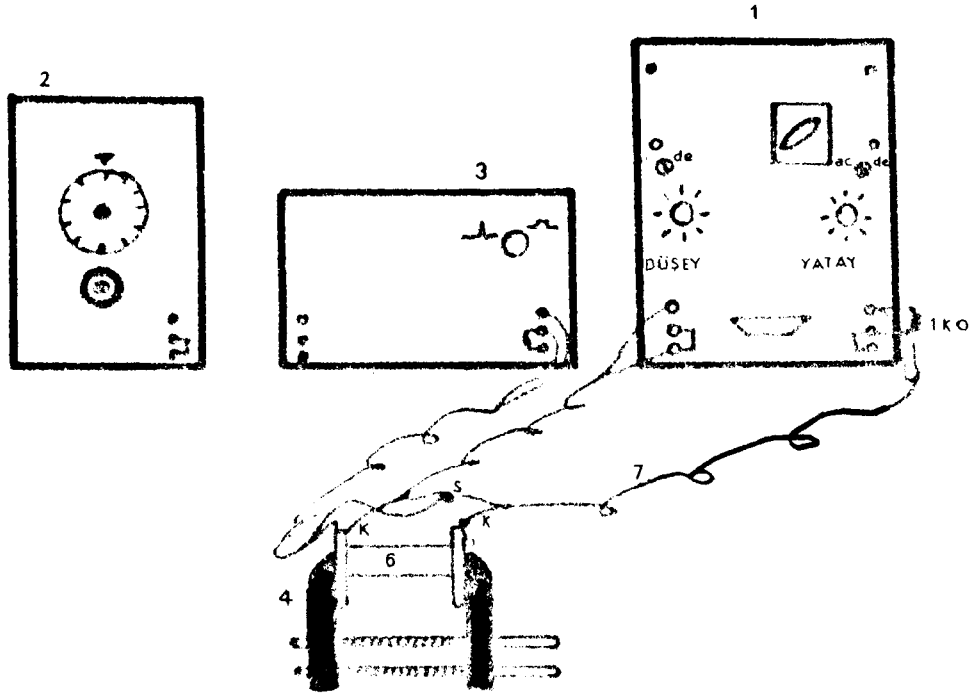
YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Alvarez, Roman., 1973, Effects of Atmospheric Moisture on Rock Resistivity. J.G.R., vol. 78 no; 11, 1973.
- Bodmer R., Ward, S.H., and Morrison, H.F., 1968, On Induced Electrical Polarization and Groundwater, Geophysics, vol. 33, 1968.
- Collet, L.S. and T.J. Katsube, 1973; Electrical Parameters of Rocks in Developing Geophysical Techniques., vol. 38, no.1, Geoph, 1973.
- Dey, Abhijit and H. Frank Morrison, 1973., Electromagnetic coupling in frequency and Time-Domain Induced-Polarization Surveys over a multilayered Earth. Geophysics, vol, 38, no;2, 1973.
- Dobrin, Milton B., 1960 Introduction to Geophysical Prospecting Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- Geyer, G. Richard, 1972., The Effect of dipping contact on the behavior of the Electromagnetic field. Geophysics, vol. 37,no;2, 1972.
- Grant, F.S., and G.F. West., 1965., Interpretation Theory in Applied Geophysics. Mc Graw-Hill Book Company New York.
- Katsube, T.J and L.S. Collett, 1973., Measuring techniques for rocks with high permittivity and high loss, vol. 38, no;1, 1973 Geoph.
- Keller, George V. and Frank C. Frischknecht., 1970., Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergoman press inc. New York.
- Ryu, Jisoo and H. Frank Morrison and Stanley H. Ward., 1972; Electromagnetic Depth Sounding Experiment Across Santa Clare Valley. Geophysics, vol. 37.no; 2.
- Smith, Ralph., Circuits Devices and systems. John Wiley Sons Inc. New York. 1971;
- Verma, K. Saurabh., 1973; Time-Dependent Electromagnetic Fields Of An Infinite Conducting Cylinder Excited By a Long Current-Carrying Cable. Geophysics, vol. 38, no; 2.
- Voorbis, G.D. Van and P.H. Nelson and T.L. Drake., 1973; Complex Resistivity Spectra of Porphyry Copper Mineralization. Geophysics, vol. 38, no;1.
- Ward, S.H.: 1967., Electromagnetic Method, in Mining Geophysics, Tulsa, SEG.



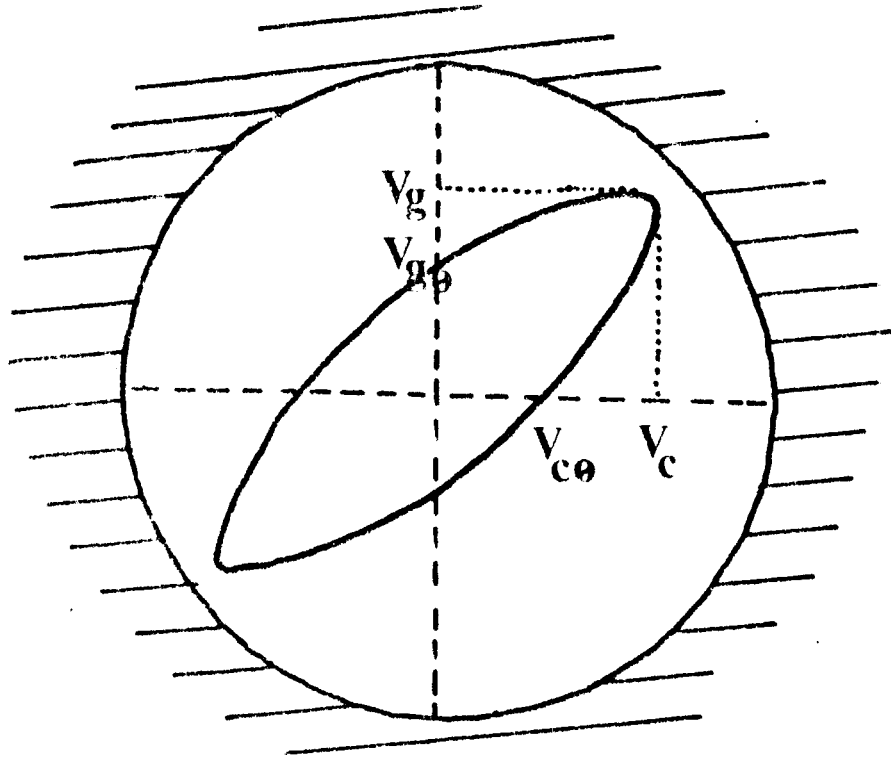
Görü- 1 Yitik tanjant ölçmelerinde kullanılan empedans ölçü dizgesi.

Figure- 1 Impedance measuring circuit used in lost tangent measurements.



Görü- 2 Labaratuvar çalışmalarında kullanılan elektrik devre birimleri; 1. Katod Ray Osiloskopu, 2. Yüksek frekans üretici, 3. Alçak frekans üretici, 4. Tah-ta nümune tucusu, 5. Bakın Plâka elektrodlar, 6. Nümune, 7. Kablo.

Figure- 2 Electrical circuit units used in laboratory work 1. Cathode ray oscilloscope 2. High frequency Generator 3. Low frequency generator 4. Wooden sample Holder 5. Copper Plate Electrodes 6. Sample 7. Cable



Görü- 3 Osiloskop ekranında bir Lissajous görüntüsü ve bu görüntüden evri açısının saptanmasında kullanılacak birimlerin okunması.

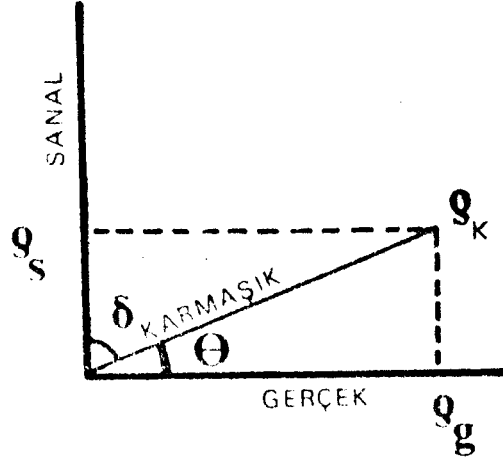
$$\text{Evri açısı} = \theta \sin^{-1} V_{c\theta} / V_c = \sin V_{g\theta} / V_g$$

$$\text{Yitik açı} = \delta = 90^\circ - \theta \text{ saçılgenlik (yitik tanjant) ise } \tan \delta = \tan (\pi/2 - \sin^{-1} V_{c\theta} / V_c)$$

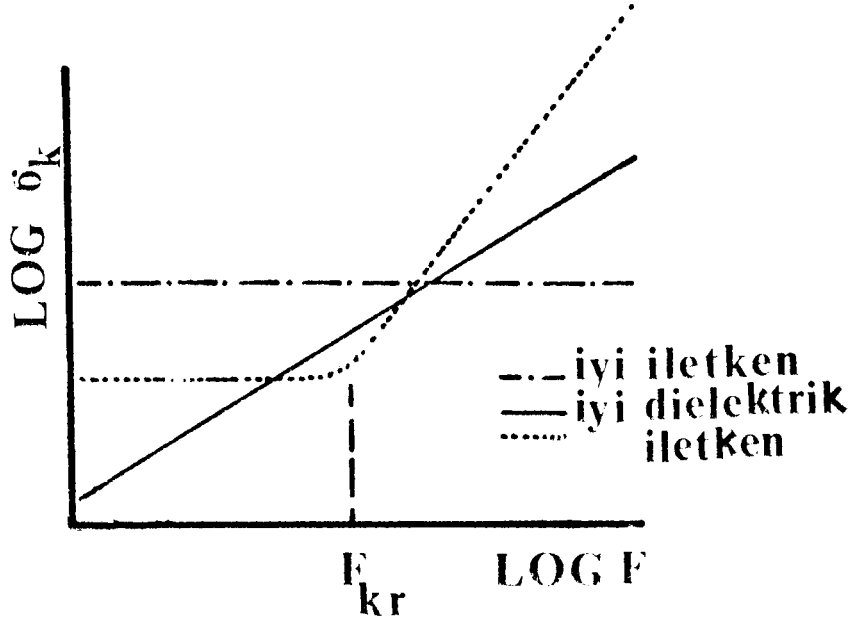
Figure- 3 A Lissajous view on oscilloscope screen and measurement of the quantities to be used in phase angle determination from this view Phase

$$\text{Angle} = \theta$$

$$\text{Lost Angle} = \delta = 90^\circ - \theta, \text{dispersion} = \tan \delta = \tan (\pi/2 - \sin V_{c\theta} / V_c)$$

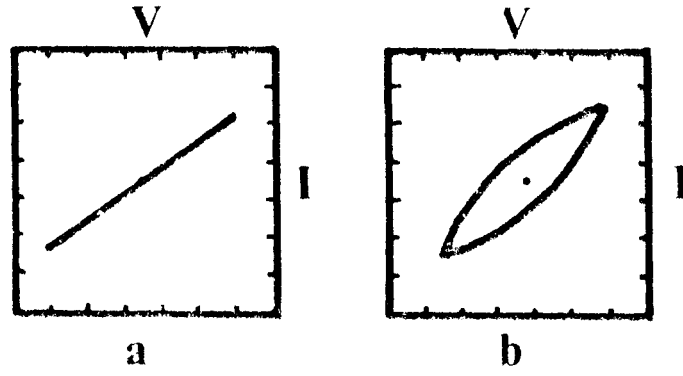


Görü- 4 Karmaşık yalıtkanlık – yitik açı bağıntısı
Figure- 4 Relation between Complex and lost angle.



Görü- 5 Karmaşık iletkenlik ve frekans arasındaki düşsel bağıntı (Collet ve Katsube'den, 1973)

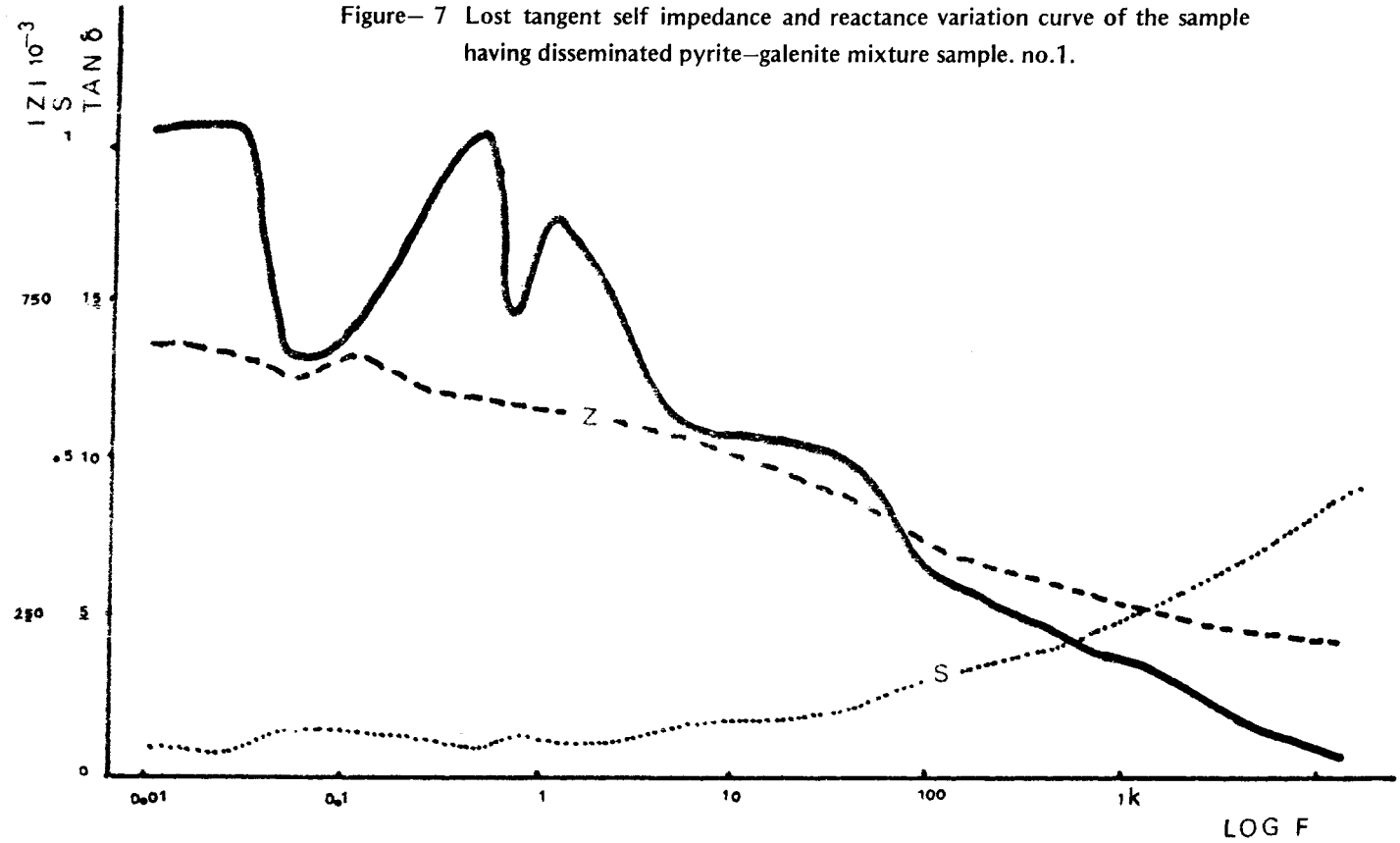
Figure- 5 Imaginary relation between complex conductivity and frequency (From Collet and Katsube 1973)

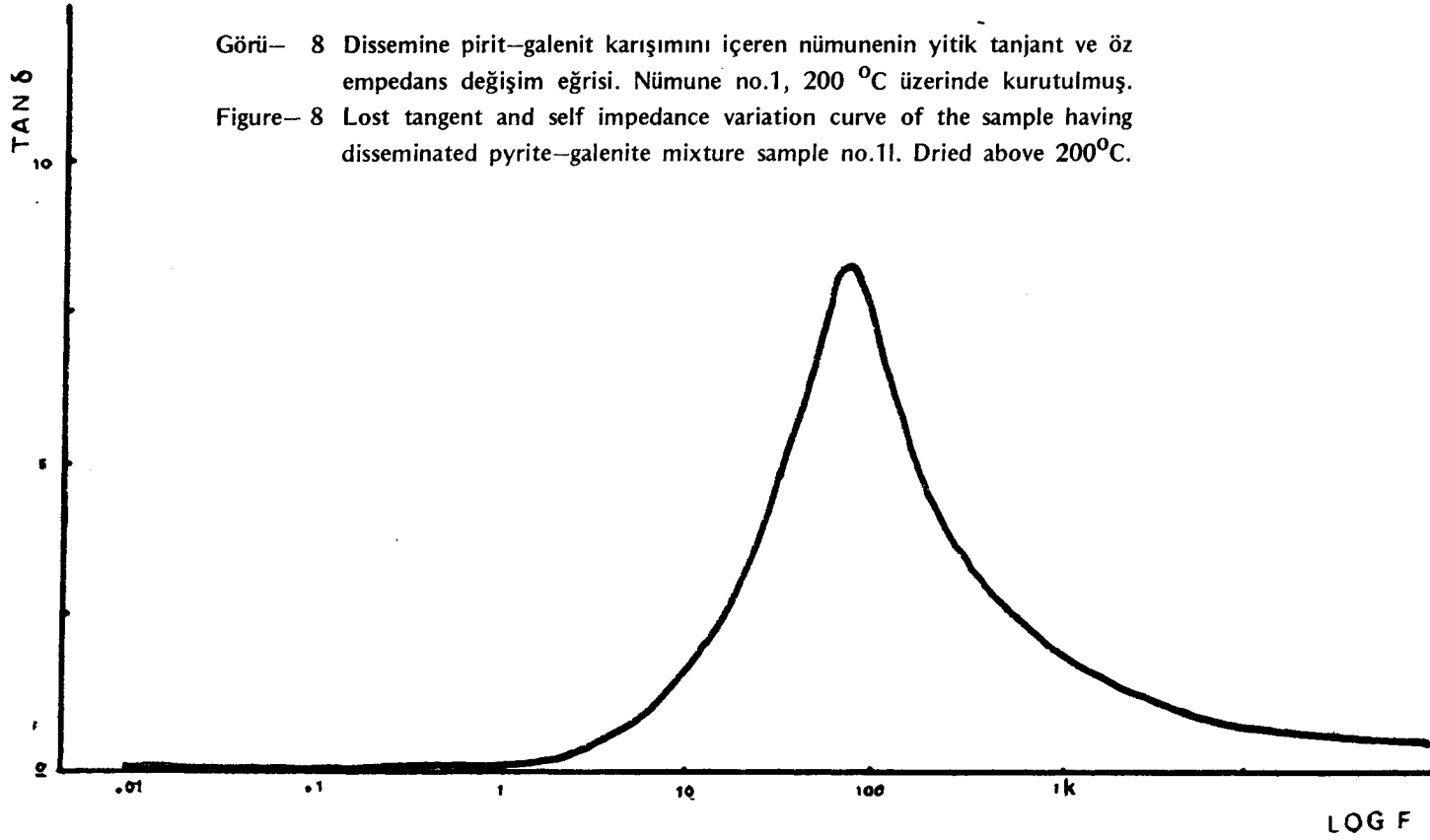


Görü— 6 Masif ve dissemine mineralleşmeyi içeren nünunelerin simgesel Lissajous görüntüleri a—Bütün frekanslarda doğrusal (Masif mineralleşmeyi simgeler), b—Frekanslara göre değişik elipsler (dissemine mineralleşmeyi simgeler).

Figure— 6 Symbolic Lissajous forms of samples having massive and disseminated crystallisation a—linear in all Frequencies (Corresponds to Massive crystallisation) b— Ellipses varying according to Frequencies (Represent disseminated crystallisation)

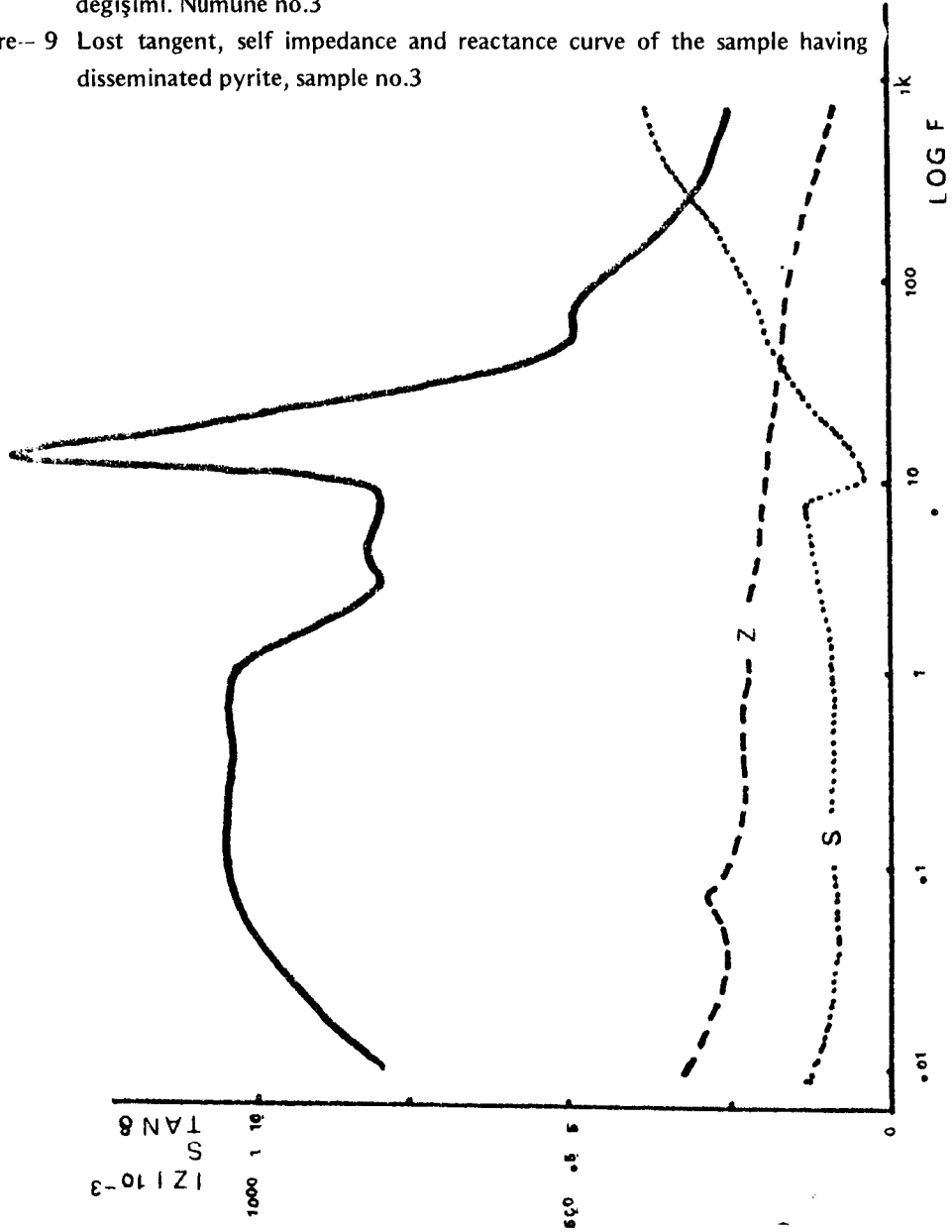
Görü- 7 Dissemine Pirit galenit karışımını içeren nümunenin yitik tanjant öz empedans ve reaktans değişim eğrisi. Numune no.1,
Figure- 7 Lost tangent self impedance and reactance variation curve of the sample having disseminated pyrite-galenite mixture sample. no.1.

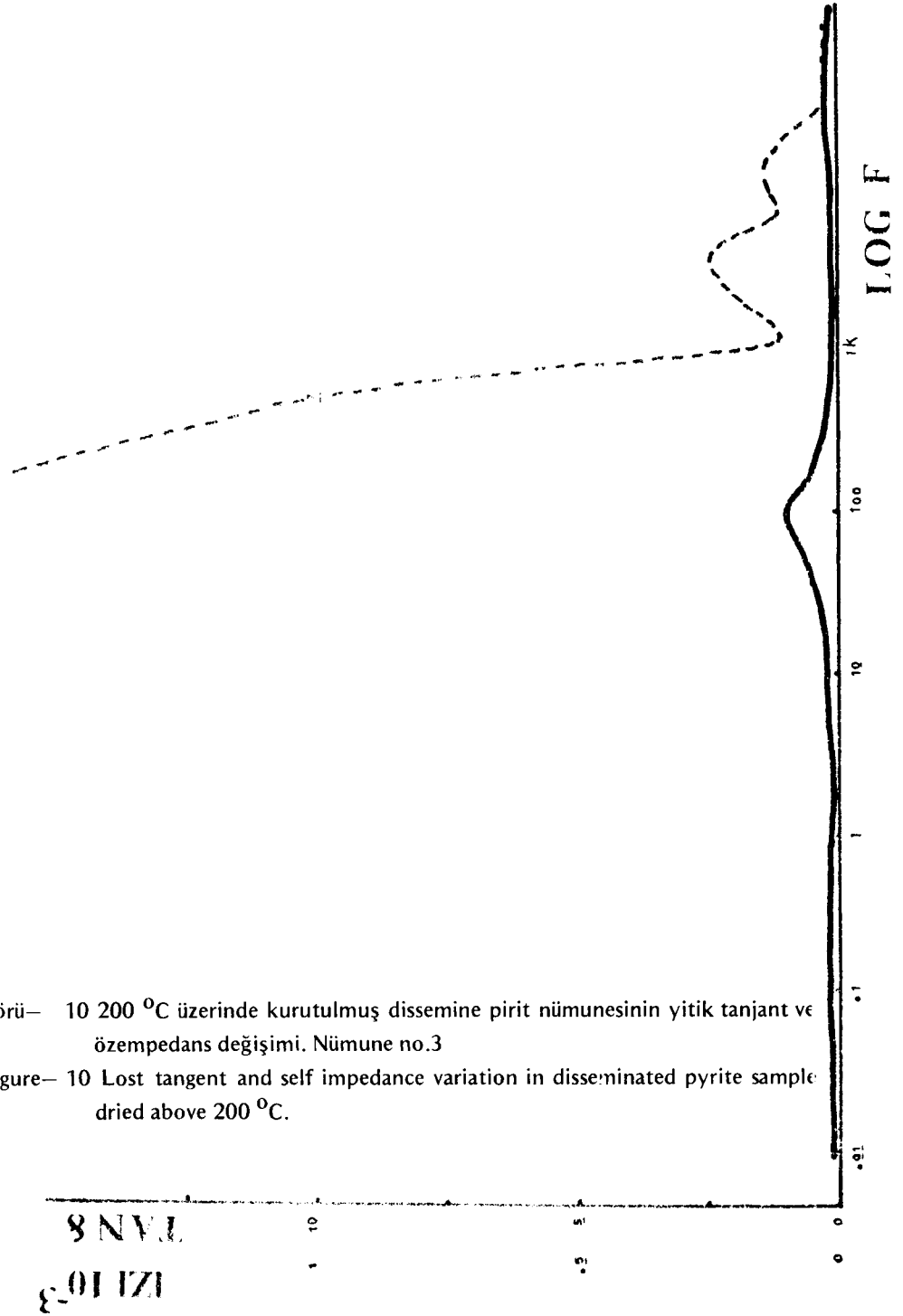




Görü- 9 Dissemine piriti içeren nümunenin yitik tanjant, özempedans ve reaktans değişimi. Nümune no.3

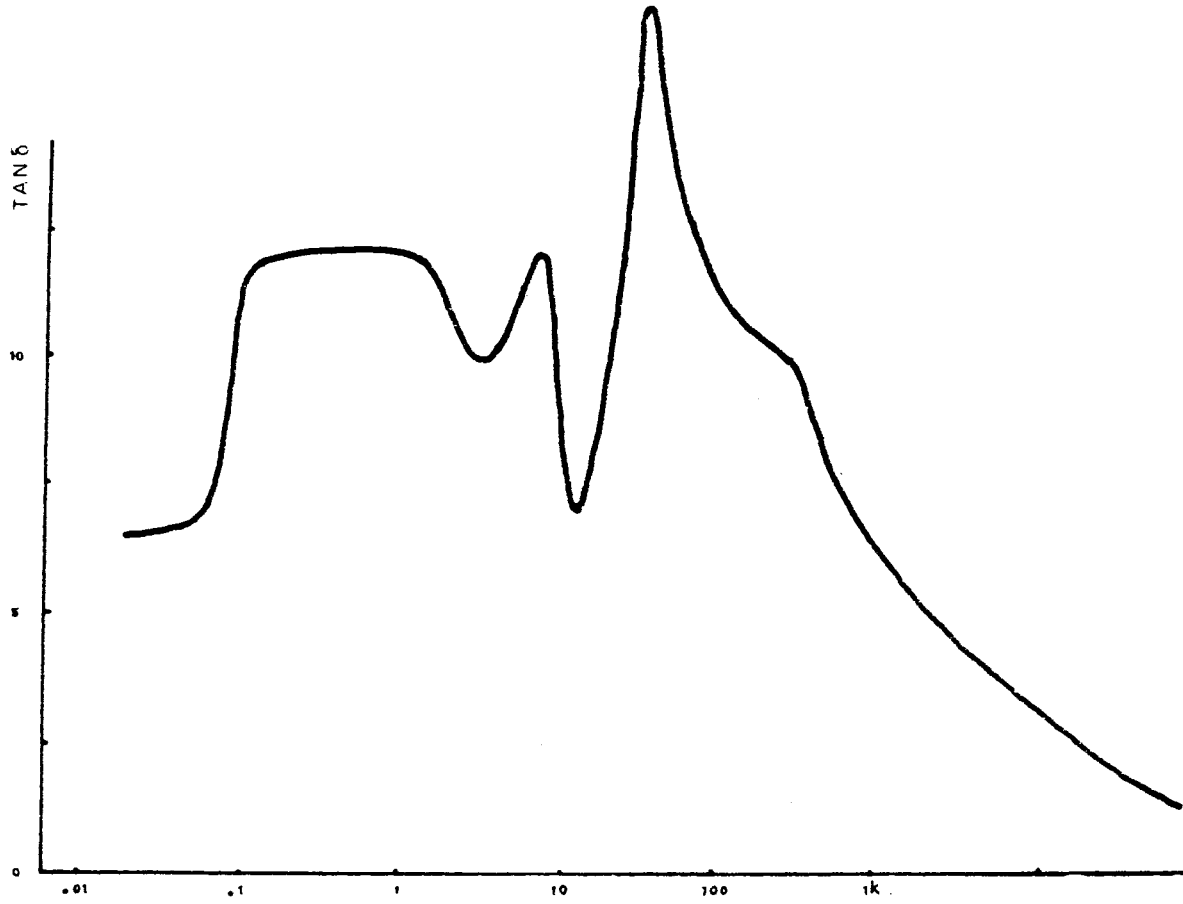
Figure- 9 Lost tangent, self impedance and reactance curve of the sample having disseminated pyrite, sample no.3





Görü— 10 200 °C üzerinde kurutulmuş dissemine pirit nümunesinin yitik tanjant ve özempedans değişimi. Nümune no.3

Figure— 10 Lost tangent and self impedance variation in disseminated pyrite sample dried above 200 °C.

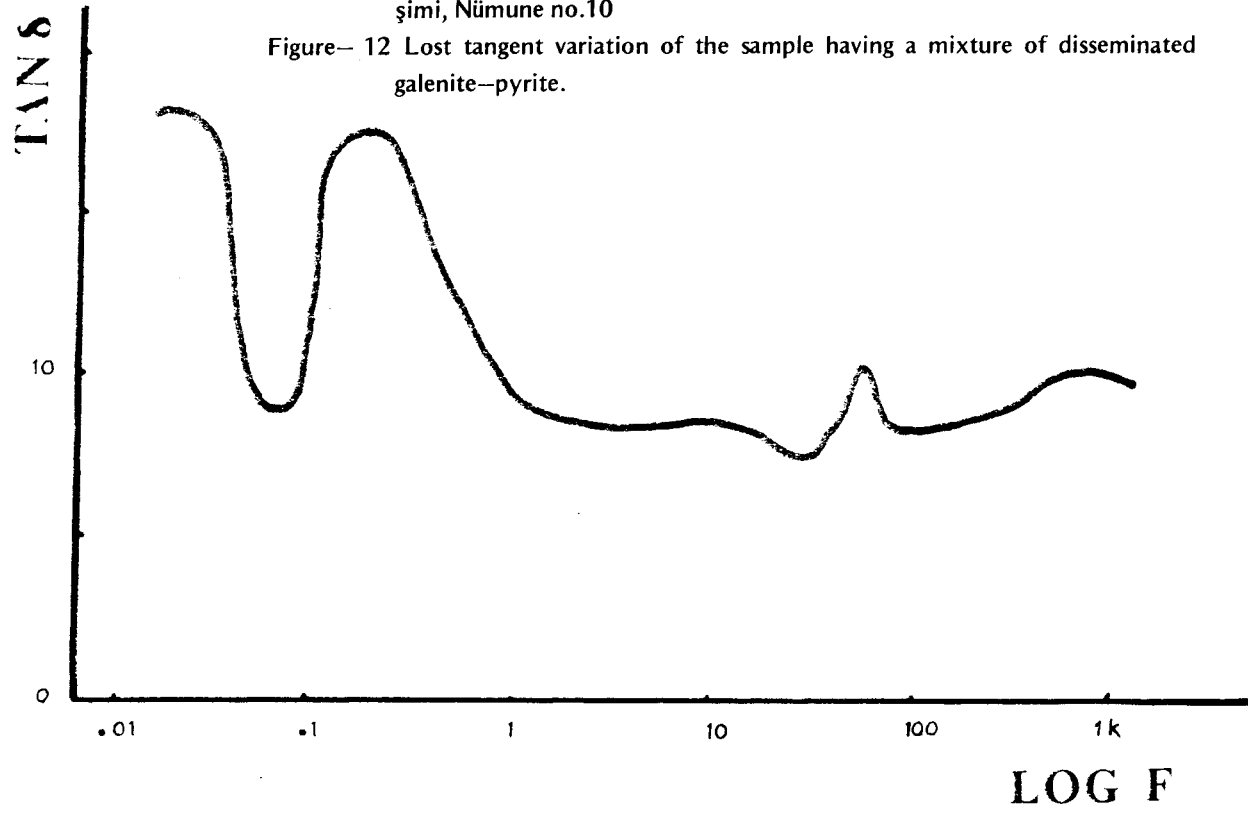


Görü- 11 Nümunenin suya doyunluğunun arttırılmasıyla elde edilen yitik tanjant değışim eğrisi. Nümune no.3.

Figure- 11 Lost tangent variation curve obtained by increasing the water saturation of the sample no.3.

Görü- 12 Dissemine galenit-pirit karışımını içeren nümunenin yitik tanjant değışimi, Nümune no.10

Figure- 12 Lost tangent variation of the sample having a mixture of disseminated galenite-pyrite.



Görü- 13 Dissemine galenit-pirit karışımını içeren nümunenin doygunluğu (48 saat) arttırıldıktan sonraki yitik tanjant değişimi. Nümune no.10.

Figure- 13 Lost tangent curve of sample having disseminated galenite-Pyrite mixture after its water saturation is increased (For 48 hours) sample no.10.

