

yönünde değiştirir. Örneğin  $\rho_0 > \rho$  ise, ölçülen  $GÖ-\rho_a > \rho$  olur. Tersi durumda, yani  $\rho_0 < \rho$  ise, ölçülen  $GÖ-\rho_a < \rho$  olur.

Bu nedenle birbirine yakın bir akım ve bir gerilim elektodu arasında kalan bölge "**Negatif Katkı Bölgesi**", iki gerilim veya iki akım elektodu arasında kalan bölge ise "**Pozitif Katkı Bölgesi**" olarak isimlendirilebilir.

Bu kavramları daha açık anlatmak için Şekil 4.4c' deki gibi bir model ele alınsın. Burada  $\rho=100\text{ohm-m}$  öz direncinde tekdüze bir ortam içinde yeryüzünden 0.25 m. derinlikte  $0.5 \times 0.75$  m boyutunda, ve  $\rho_0=10\text{ohm-m}$  öz dirençli bir cisim konsun. Bu model için Wenner, yarım-Wenner ve İYÜE dizilimine göre 2-B modelleme yapıldığında GÖ profil eğrilerinde cisim negatif katkı bölgesinde iken ortamdaki öz dirençten büyük GÖ' lerin hesaplandığı, pozitif katkı bölgesinde iken ortamdaki öz dirençten küçük öz direnç değerinin hesaplandığı görülmektedir (bkz. Şekil 4.4). Yine aynı model için tekdüze ortamın öz direnci  $\rho=10\text{ohm-m}$  ve cismin öz direnci  $\rho_0=100\text{ohm-m}$  alındığında ise bu olayın tam tersi gözlenmektedir (Şekil 4.4).

Bu modele göre elektrodlar arasındaki mesafeden küçük ve yüzeye yakın bir kütle, negatif veya pozitif katkı bölgesinde olmasına göre ölçülen  $\Delta V'$  'nı, artıracak veya azaltacak yönde bir etkisi olur.

DAÖ yönteminin başlıca sorunu elektrodlar ile çevre jeolojisi arasındaki kontak sorunudur. Bu sorun Şekil 4.1-3' deki SKK' inde görülmektedir. Burada, ölçülen toplam  $\Delta V'$  'na en çok elektrodların yakınındaki noktaların katkısı olmaktadır. Bu nedenle yüzeye yakın ve küçük cisimler eğer elektrodlara yakın ise ölçülen toplam  $\Delta V'$  'na büyük oranda bu cismin katkısı olacaktır. Eğer amaç derin araştırmalar ise yüzeye yakın gömülü kütlelerin sinyale katkısı gürültü olarak değerlendirilecektir ve bu etki giderilmeye çalışılacaktır. Bu gürültüyü gidermek için Barker (1981) offset-Wenner elektrod dizilimini önermiştir. Fakat arkeolojik amaçlı jeofizik çalışmalarda amaç daha çok yüzeye yakın gömülü kütlelerin araştırılması olduğundan, bu kütlelerin ölçülen toplam  $\Delta V'$  'na katkısı sinyal olarak değerlendirilir. Bu nedenle bu kütleyi en iyi temsil eden belirtiyi verecek elektrod dizilimi araştırılmalıdır.

#### 4.1. Schlumberger elektrod dizilimi sinyal katkı kesiti

Bu dizilim için SKK, Şekil 4.1' de görülmektedir. Burada, pozitif katkı bölgesi olan M ve N elektrodları arası, sinyale katkısı en çok olan bölgedir. Küçük ölçekli bir cisim bu bölge arasında olursa, ölçülen sinyal büyük oranda bu cisimden etkilenecektir. Eğer DES yöntemi ile veri ölçülüyor ise, bu etki yüzünden veri çok yanlış yorumlanabilir. Yanal süreksizliklerin belirlenmesinde, bu yöntem yerine yarım-Schlumberger ve iki-yönlü üç-elektrod dizilimleri önerilebilir.

#### 4.2. Wenner ve yarım-Wenner elektrod dizilimi sinyal katkı kesiti

Şekil 4.1' de Wenner ve Şekil 4.3' de yarım-Wenner elektrod dizilimi sinyal katkı kesitleri görülmektedir. Burada sinyale en çok elektrodlara yakın noktaların katkısı vardır. Pozitif katkı bölgesi

ve negatif katkı bölgeleri ise eşit hacimli ve yaklaşık eşit değerlerde sinyale katkısı vardır. Şekil 4.4c' de görülen model için Wenner elektrod dizilimine göre 2-B modelleme yapıldığında, cisim negatif ve pozitif katkı bölgesinde iken, genel olarak bütün AB/3 seviyelerinde ortamın özdirencinden küçük GÖ değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.4b3). Yarım-Wenner dizilimi için ise cisim negatif katkı bölgesinde iken ortamın özdirencinden biraz büyük GÖ değerleri hesaplanmıştır. Cisim pozitif katkı bölgesinde iken ise, ortamın özdirencinden biraz küçük GÖ değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.4b1, b2). Genel olarak GÖ seviye eğrilerinde cisimden dolayı ani bir sıçrama görülmemektedir. Cismin etkisi tüm eğrilerde; genel bir azalma veya artma şeklinde görülmektedir. Buna göre, Wenner ve yarım-Wenner elektrod dizilimi ile yanal ayrımlılığın iyi incelenemeyeceği söylenebilir. Tabakalı bir ortamda (1-B) ise bu dizilimin düşey ayrımlılığı büyüktür (Barker, 1981).

### 4.3. Dipol-dipol elektrod dizilimi sinyal katkı kesiti

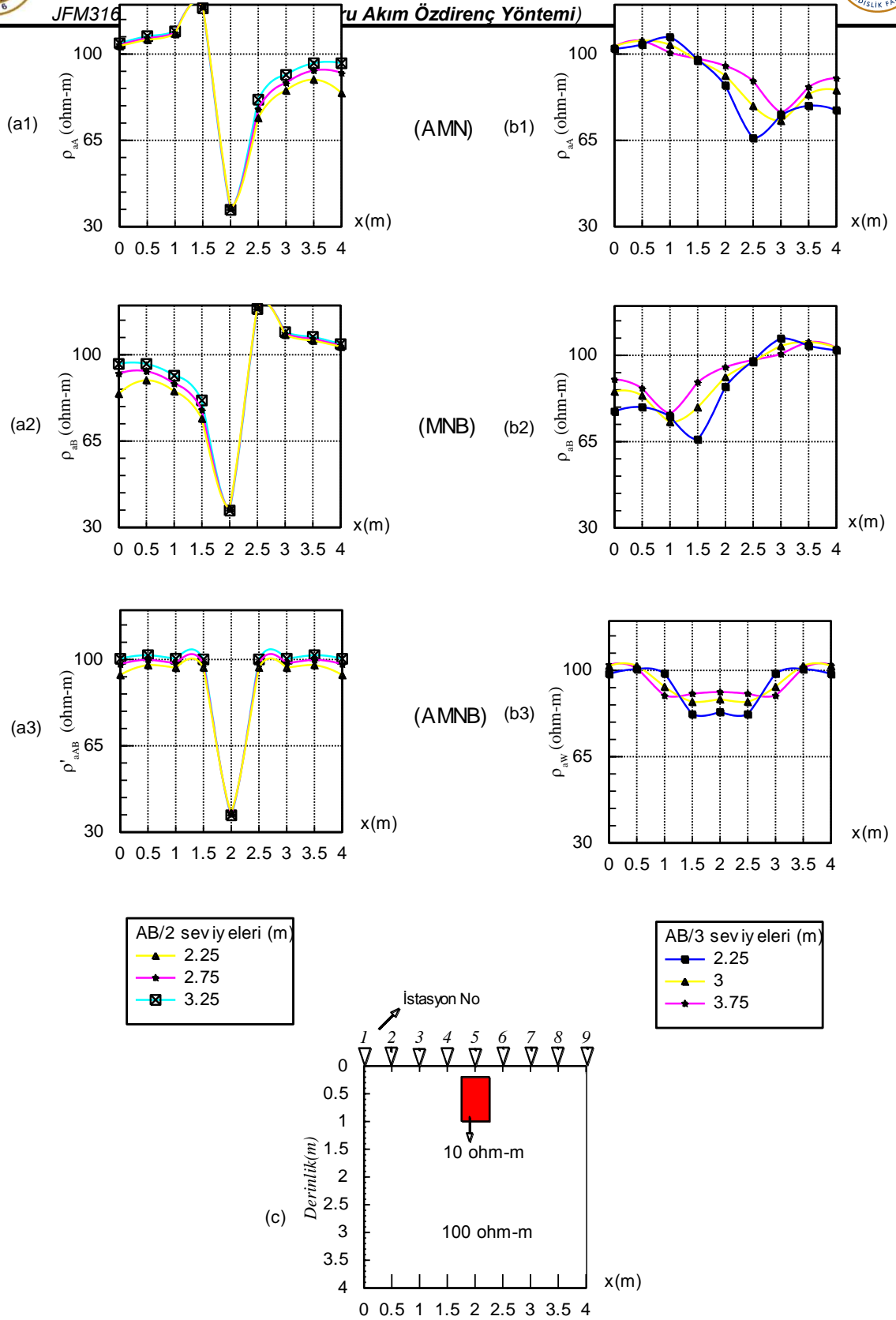
Bu dizilimde akım elektrodları ve gerilim elektrodları arasındaki bölgeler pozitif katkı bölgesidir. Sinyale en çok bu bölgelerin katkısı olmaktadır. Eğer, bu dizilim ile DES ölçüsü alınmıyor ise, akım veya gerilim elektrodları arasındaki gömülü bir cismin sinyale katkısı büyük olacaktır. Amaç, yerininin 1-B özdirenç yapısını incelemek ise, bu cismin etkisi gürültü olacaktır ve yanlış yorumlara sebep olacaktır.

Dipol-dipol elektrod dizilimi ile ölçülen GÖ değerleri, AB-akım ve MN-gerilim elektrodu çiftlerinin orta noktasından,  $45^\circ$  açı ile inilen doğruların kesim noktasına konur. Bu nokta N ve B elektrodları arasında bir noktadır. Eğer yanal yöndeki süreksizlikler inceleniyor ise, en fazla pozitif katkı bölgesindeki cisimlerin, sinyale katkısı olacaktır. Ancak ölçülen GÖ B ve N arasına yazıldığından, cismin yeri doğru bulunamayacaktır. Bu açıklamalara göre, dipol-dipol elektrod diziliminin pek kullanışlı olduğu söylenemez.

### 4.4. İki-yönlü üç elektrod dizilimi sinyal katkı kesiti

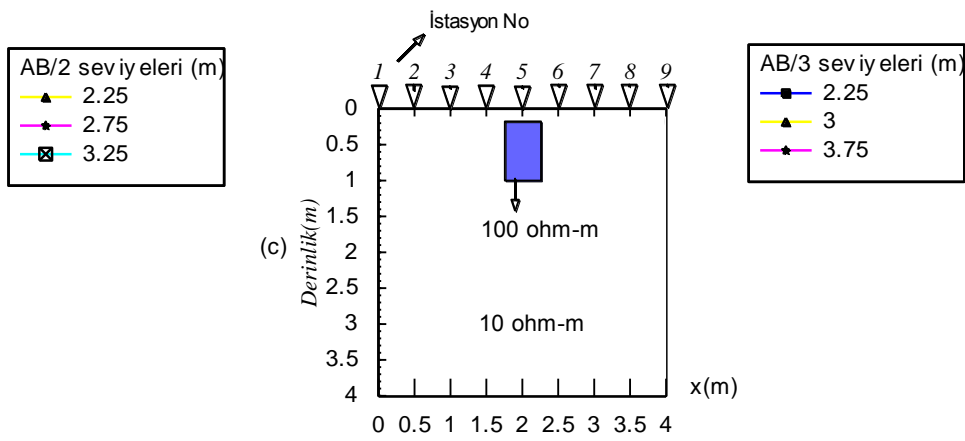
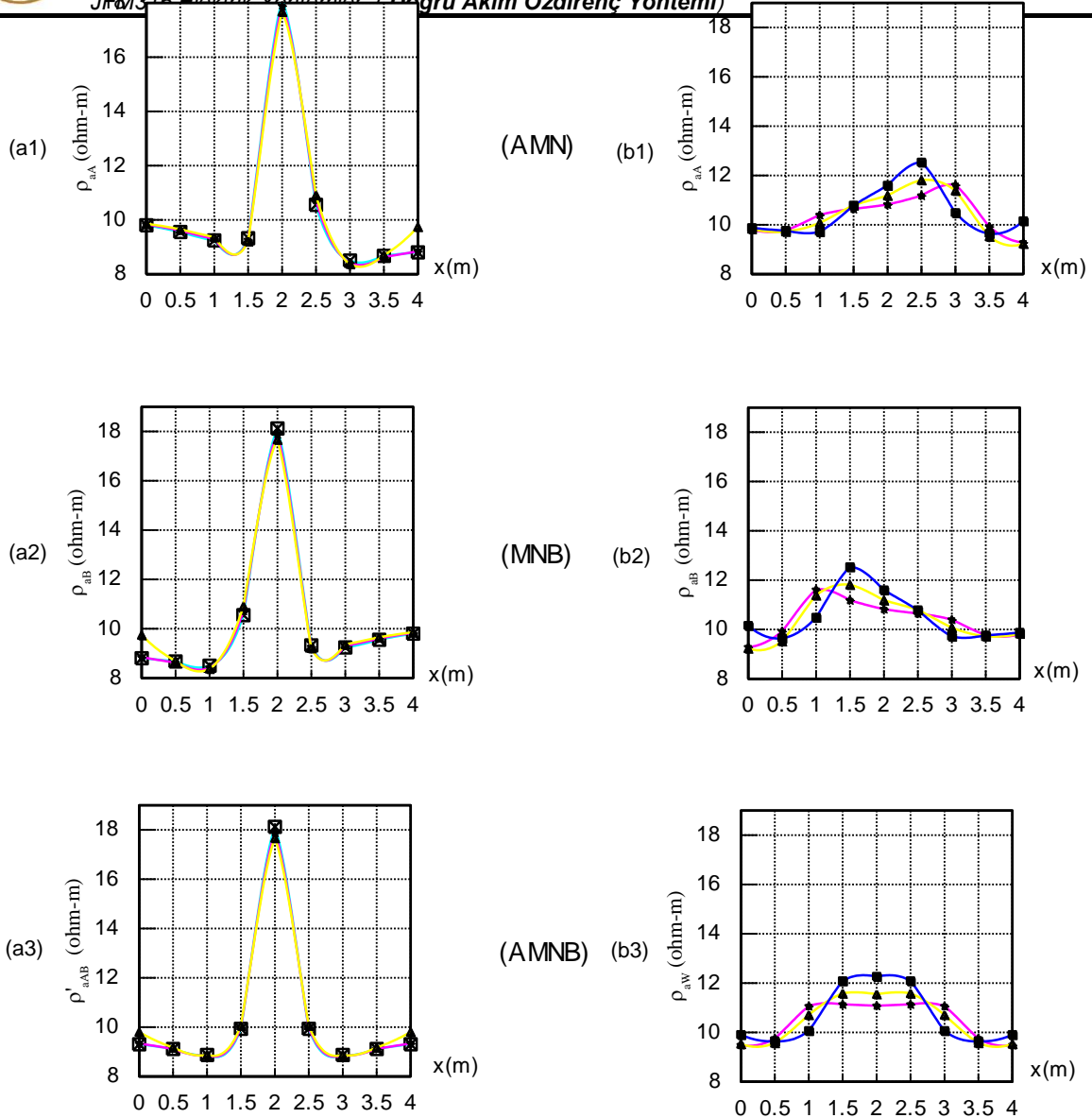
İYÜE dizilim için sinyal katkı kesiti Şekil 4.2 de görülmektedir. Burada, sinyale en çok pozitif katkı bölgesindeki noktaların katkısı olduğu görülmektedir. Derin amaçlı DES ölçüsü alınıyorsa pozitif katkı bölgesindeki yüzeye yakın gömülü bir kütlelerin sinyale katkısı çok büyük (veya küçük) değerli gürültü olacaktır (Şekil 4.4a1,a2). Fakat yüzeye yakın gömülü kütlelerin araştırılması amaçlı profil ölçüsü alınıyorsa, aynı cisim negatif katkı bölgesinde ise sinyale katkısı az görülecektir. Cisim pozitif katkı bölgesinde iken ise sinyale katkısı çok büyük olacaktır.

İYÜE diziliminde ölçülen GÖ değeri M ve N elektrodlarının orta noktasının altına yerleştirilmektedir. Buna göre pozitif katkı bölgesindeki bir cismin yeri doğru olarak belirlenmiş olacaktır. Ayrıca cisim negatif katkı bölgesinde iken sinyale katkısı az olmaktadır ve bu etki İYÜE dizilimi ile ölçülen GÖ değerlerine uygulanan iki-yönlü gradyan dönüşümü (Candansayar ve diğ., 1999) ile giderilebilir.



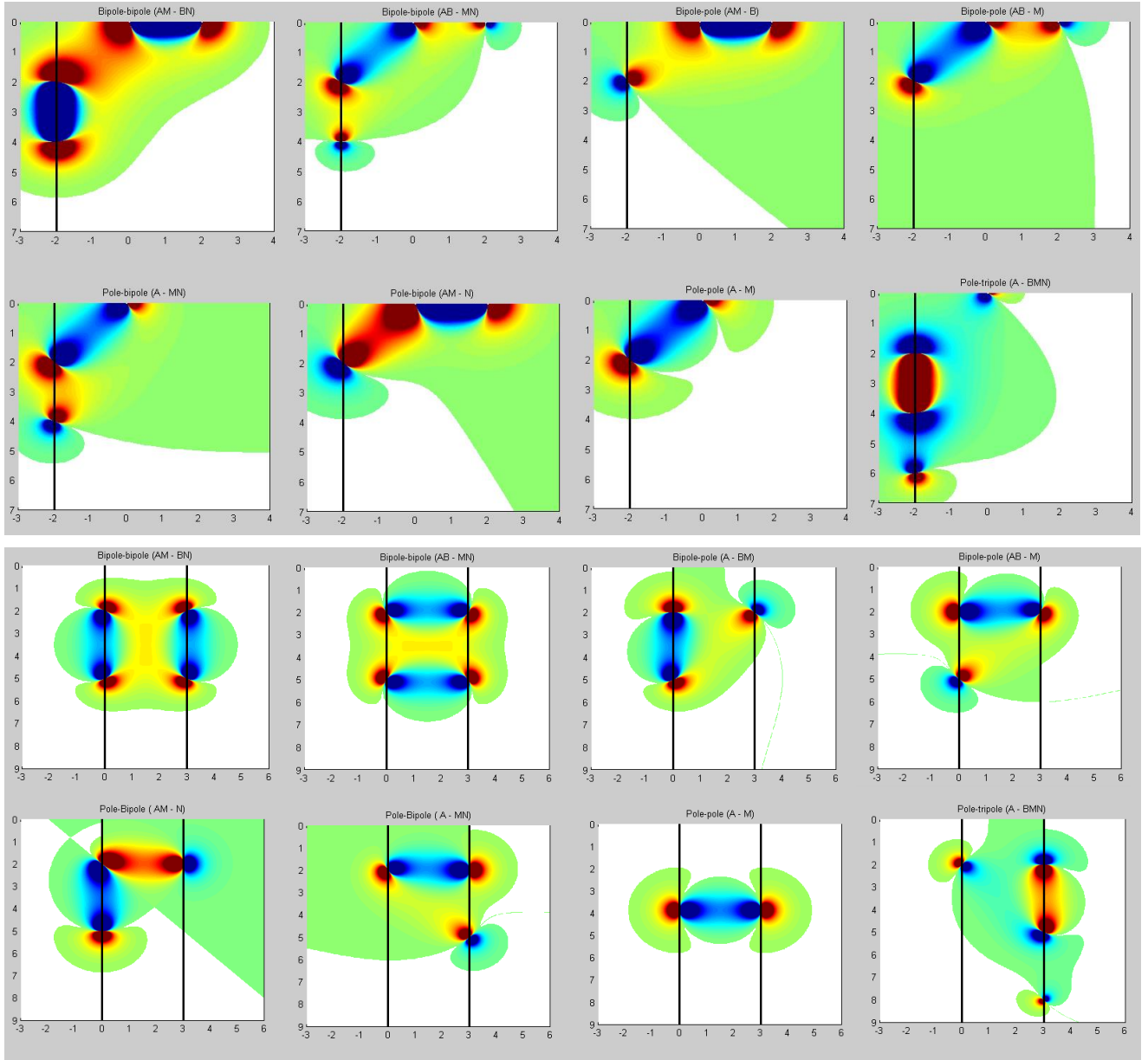
Şekil 4.4. İki-yönlü üç-elektrod dizilimi için; AMN (a1), MNB (a2) ve AMNB (a3) profil eğrisi  
İki-yönlü yarım-Wenner dizilimi için; AMN (b1), MNB (b2), Wenner dizilimi (AMNB)  
(b3) GÖ profil eğrileri ve 2-B model (c).

JFM316 Elektrik Yöntemler / Doğru Akım Özdirenç Yöntemi



Şekil 4.5. İki-yönlü üç-elektrod dizilimi için; AMN (a1), MNB (a2) ve AMNB (a3) profil eğri; İki-yönlü yarım-Wenner dizilimi için; AMN (b1), MNB (b2), Wenner dizilimi (AMNE (b3)) GÖ profil eğrileri ve 2-B model (c).

#### 4.4. Kuyu-Kuyu elektrod Dizimleri Sinyal Katkı Kesitleri



Şekil 2.7. Kuyu İçi Elektrod Dizimlerinin sinyal katkı kesitleri

#### 4.5. İYÜE Dizilimi Profil Verilerinin İki-Yönlü Gradient (TSG) Dönüşümü

İYÜE dizilimi ile sabit bir "n" değeri için profil ölçüsü alındığında iki farklı GÖ profil eğrisi elde edilir. Bunlardan birisi A ve C akım elektrodları ile M ve N gerilim elektrodları kullanılarak ölçülen  $\rho_{aAMN}$  (veya AMN) GÖ profil eğrisi, diğeri ise B ve C akım elektrodları ile M ve N gerilim elektrodları kullanılarak ölçülen  $\rho_{aMNB}$  (veya MNB) GÖ profil eğrisidir.  $\rho_{aAMN}$  ve  $\rho_{aMNB}$  profil eğrileri homojen ve izotrop katmanlardan oluşan yeraltı yapılarında üst üste çakışır. Yeraltındaki yanal süreksizliklerden dolayı bu eğriler farklı davranış gösterebilirler. Eğrilerin birbirlerine göre davranışları yeraltı hakkında

daha fazla bilgi edinmemizi sağlar.  $\rho_{aAMN}$  ve  $\rho_{aMNB}$  değerlerini kullanarak yeraltının yanal yöndeki değişimi incelenebilir. Bu amaç için, her iki GÖ profil eğrisi verisini kullanarak TSG dönüşümü aşağıdaki gibi yazılabilir (Candansayar, 1997; Candansayar ve diğ. 1999)

$$TSG^i(a) = \frac{\rho_{aAMN}^i(a)}{\rho_{aAMN}^{i-1}(a)} + \frac{\rho_{aAMN}^i(a)}{\rho_{aAMN}^{i+1}(a)} + \frac{\rho_{aMNB}^i(a)}{\rho_{aMNB}^{i-1}(a)} + \frac{\rho_{aMNB}^i(a)}{\rho_{aMNB}^{i+1}(a)} - 4, \quad i = 2, 3, \dots, J-1. \quad (4.1)$$

Burada  $a$ , elektrodlar arası uzaklığı,  $J$  ise profil boyunca toplam istasyon sayısını göstermektedir.  $J$ -adet istasyon için ( $J-2$ ) adet TSG değeri hesaplanabilmektedir. Bu dönüşümün başarısını göstermek için Şekil 2c' deki gibi, homojen bir ortam içinde özdirenç yüksek gömülü bir yapı ele alınmıştır. Ortamın ve cismin özdirenç ve boyutları şekil üzerinde görülmektedir. Bu modelin İYÜE dizilimi tepkisini 2-B modelleme ile hesaplandığında Şekil 2a' daki profil eğrileri elde edilmektedir. Bu GÖ profil eğrileri verilerinin TSG dönüşümü ise Şekil 2b' de görülmektedir. Burada görüldüğü gibi yapı üzerinde TSG değeri büyük genlikli bir belirti vermektedir.

TSG dönüşümünün yapı üzerinde büyük genlik vermesinin sebebini açıklayabilmek için Şekil 2c' de görülen model üstündeki 6 nolu istasyon için (1) denklemi yeniden

$$TSG^6(a) = \frac{\rho_{aAMN}^6(a)}{\rho_{aAMN}^5(a)} + \frac{\rho_{aAMN}^6(a)}{\rho_{aAMN}^7(a)} + \frac{\rho_{aMNB}^6(a)}{\rho_{aMNB}^5(a)} + \frac{\rho_{aMNB}^6(a)}{\rho_{aMNB}^7(a)} - 4 \quad (4.2)$$

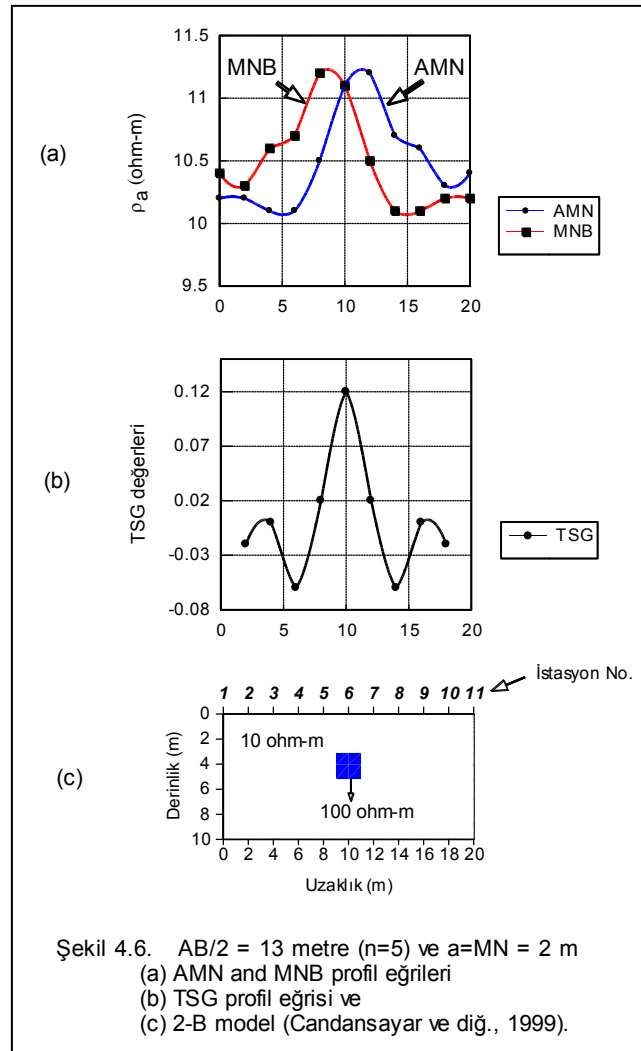
şeklinde yazılabilir. Bu denklem, sinyal katkı kesitlerindeki (signal contribution section), pozitif katkı bölgesi ve negatif katkı bölgesi kavramları kullanılarak şu şekilde açıklanabilir (Candansayar ve diğ. 1999). Şekil 4.6c, deki gibi, 10 ohm-m özdirençli homojen bir ortamda 6 numaralı ölçü noktası altında 100 ohm-m özdirençli küçük bir cisim olsun. Altı numaralı ölçü noktasında cisim pozitif katkı bölgesinde (MN arasında) olduğundan ortamda olmayan yüksek bir özdirenç değeri ölçülecektir. Beş ve yedi numaralı ölçü noktalarında ise cisim negatif katkı bölgesinde (sırasıyla A-M ve M-B arasında) kalacak ve buralarda ortamda olmayan küçük değerler ölçülecektir. Bu durumda (4.2) denklemindeki tüm oran değerleri birden büyük olacak  $TSG^6(a)$  değeri sıfırdan büyük hesaplanacaktır.

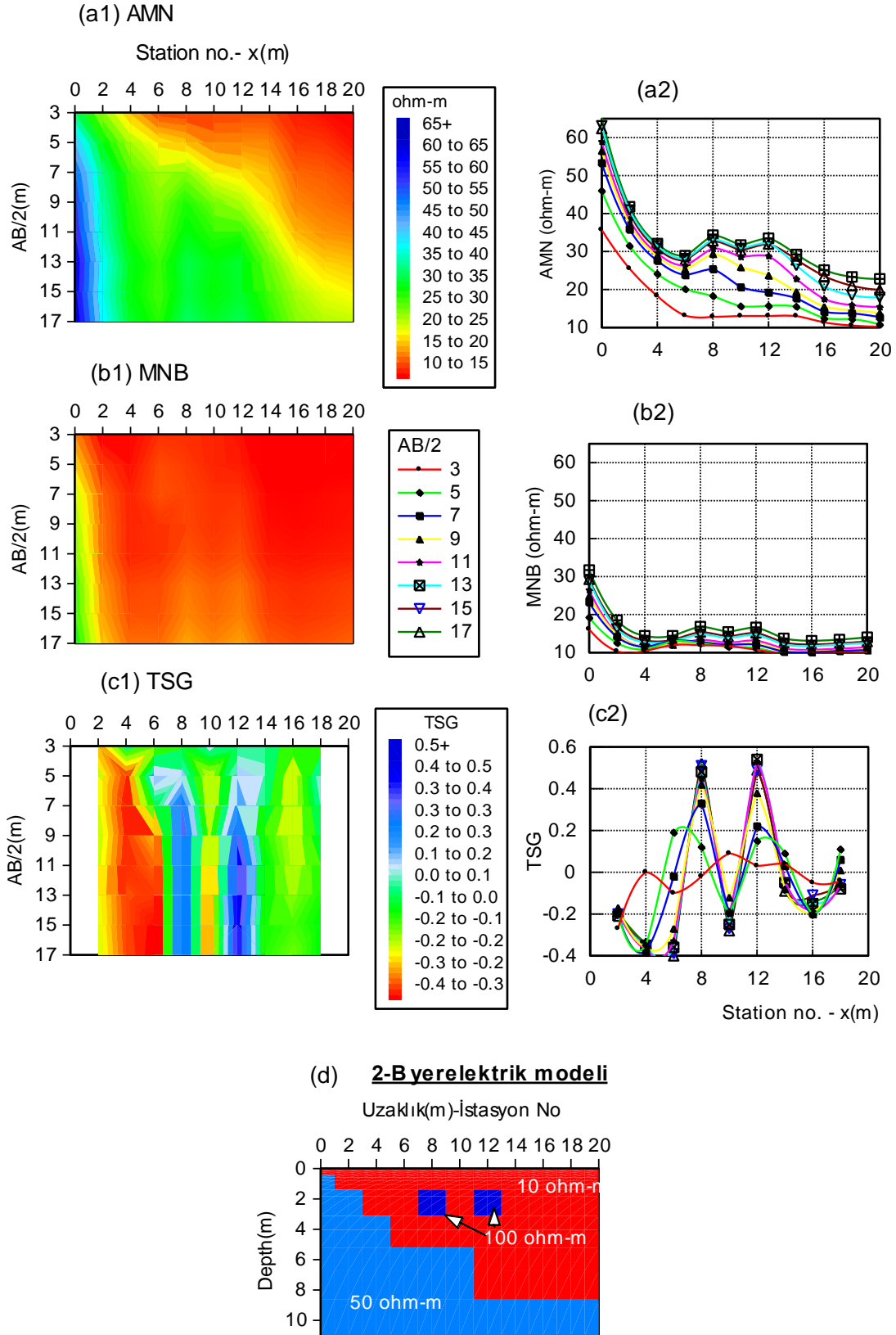
Bu dönüşümün başarısını göstermek için Şekil 4.7.d' deki modeli ele alalım. Eğimli arayüzeyi olan iki tabakalı bir ortamda özdirenç çevresinden büyük iki gömülü yapı görülmektedir. Bu modele benzer yapılara daha önce yapılan birkaç arkeolojik sahada raslanmıştır (Candansayar ve Başokur 2001). Gömülü cisimlerin boyutları, özdirençleri ve tabakaların özdirençleri şekil üzerinde görülmektedir. İki metre aralıklı toplam 11 istasyonda ve her istasyonda toplam  $n=8$  ( $a=MN=2m$ ,  $AB/2 = 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17$ ) seviye için bu modelin İYÜE dizilimine göre 2-B tepkisi Şekil 4.7.a1,a2 ve 4.7.b1,b2' de görülmektedir. GÖ yapma-kesitleri (Şekil 4.7.a1, b1) ve profil eğrilerine (Şekil 4.7.a2,b2) bakarak

gömülü yapılar ayırt edilememektedir. AMN ve MNB GÖ değerlerinden elde edilen TSG yapma-kesitlerine bakıldığında (Şekil 4.7.c1), her iki yapıda kolayca belirlenmektedir. Farklı AB/2 değerleri için çizilmiş TSG profil eğrilerinden de bu iki yapıyı belirlemek mümkündür (Şekil 4.7.c2).

Diğer bir model, yine arazi çalışmalarımızda rastladığımız yapılara benzer, özdirenci sırasıyla 100 ohm-m ve 10 ohm-m olan iki tabakalı bir ortamda, özdirenci 1000 ohm-m olan ve ikinci tabakada gömülü bir yapı ele alınmıştır. Bu modelde de, istasyon sayısı, istasyon aralıkları ve elektrod açıklıkları bir önceki modelde kullanılanlar ile aynı seçilmiştir. Bu modelin İYÜE dizilimine göre 2-B tepkisi Şekil 4.a1,a2 ve 4.b1,b2' de görülmektedir. GÖ yapma-kesitleri ve profil eğrilerine bakıldığında, yüzeydeki yüksek özdirençli tabakanın, altındaki gömülü yapıyı maskeleyiği görülmektedir. TSG yapma-kesit ve profil eğrilerine bakıldığında ise, yüzeydeki yüksek özdirençli tabakanın maskeleye etkisinin ortadan kalktığı görülmektedir (Şekil 4.c1, c2). TSG grafiklerinden, gömülü yapı kolayca ayırt edilmektedir.

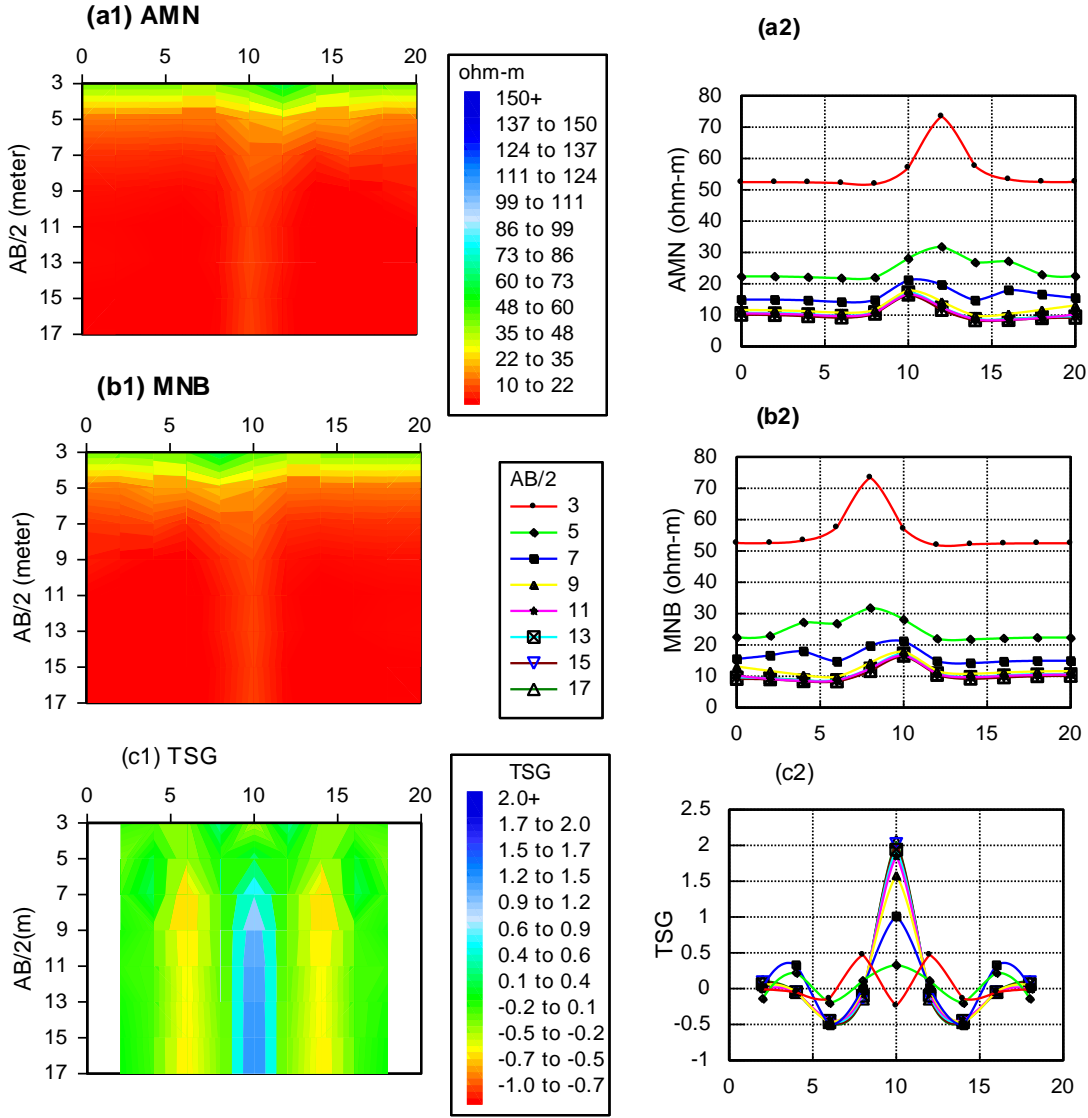
Şekil 4.8' de de benzer şekilde yüzeydeki yalıtkan yapı (100 ohm-m) nedeni ile altındaki 10 ohm-m özdirençli temelde gömülü 1000 ohm-m özdirençli yapının etkisi görülememektedir. TSG dönüşümü ise buy yapının konumunu tam olarak göstermektedir (bkz.Şekil 4.8.c1 ve c2).



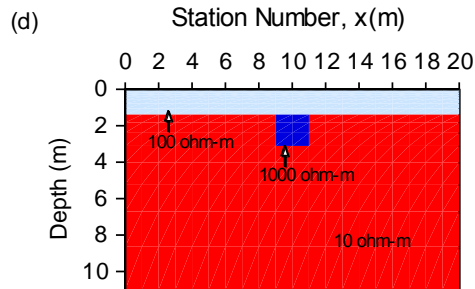


Şekil 4.7. GÖ yapma kesitleri; AMN (a1) ve MNB (b1), GÖ profil eğrileri; AMN (a2) ve MNB (b2), TSG dönüşümü verilerinin yapma kestileri (c1) ve profil eğrileri (c2) ve 2B özdirenç modeli (d). (Candansayar ve diğ. 2001)





### 2-D model



Şekil 4.8. GÖ yapma kesitleri; AMN (a1) ve MNB (b1), GÖ profil eğrileri; AMN (a2) ve MNB (b2), TSG dönüşümü verilerinin yapma kesitleri (c1) ve profil eğrileri (c2) ve 2B özdirenç modeli (d) (Candansayar ve diğ. 2001)

## 5. VERİ YORUMU

DAÖ yönteminde veriler, 1-B, 2-B ve 3-B olarak yorumlanabilir. Veriler nitel ve nicel olarak iki farklı şekilde yorumlanır. Nitel yorum, doğrudan Jeofizik veri üzerinden yapılan yorumdur. DAÖ yönteminde, jeofizik veri arazide ölçülmüş gerilim farklarından elde edilen GÖ değerleridir. Bu tip yorum jeolojik yapı hakkında kabaca bir bilgi verir. DAÖ yönteminin ilk uygulanmaya başladığı yıllarda bu tip yorum yapılırdı.

Nicel yorum ise jeofizik verilerin (görünür özdirenc), bir matematiksel işleç' ten geçirildikten sonra elde edilen yerelektrik parametreler (özdirenc) ile yapılan yorumdur. Jeofizik veriden, tanımlanan bir modeli fiziksel parametrelerinin elde edilmesi işlemine "**Ters Çözüm**" (inversion) denmektedir. Jeofizik' te ters çözüm konusunda ayrıntılı bilgi için Tarantola(1987), Menke(1989), Parker(1994) ve Meju(1994)' ya bakılabilir. Bu konuda yazılmış tek Türkçe kitap ise Başokur (1999) tarafından yazılmıştır. Ters çözüm, günümüzde kullanılan tüm jeofizik yöntemlerde temel veri işlem tekniğidir. DAÖ yönteminde de verilerin nicel yorumunu yapabilmek için, ters çözüm veri işlemi standart olmuştur.

Günümüzde ölçülen DAÖ verilerinin, uygunluğuna göre 1-B, 2-B ve 3-B ters çözüm yapılmaktadır. Sonuçta elde edilen modellere bakılarak yorum yapılmaktadır. Ters çözüm işleminde, kuramsal verilerin ve kısmi türevleri içeren dizeyin (Jacobian matrix) hesaplanması için düz çözüm yapmak gerekir. Yapılan ters çözümde, düz çözüm için oluşturulan modelin boyutu ters çözümün boyutunu belirtir. Başka bir deyişle, ters çözümün 1B, 2B veya 3B olması demek, oluşturulan modelin bu boyutlardan birisi olması demektir. Örneğin, 1B ters çözüm ile 2B ters çözüm arasındaki fark; 1B ters çözümde kuramsal veri ve kısmi türevler dizeyin 1B modelleme ile elde edilmesi, 2B ters çözümde ise 2B modelleme ile elde edilmesidir. Dolayısıyla önce modelleme kavramını bilmek gerekir.

### 5.1. DAÖ Yönteminde Modelleme

Modelleme, varsayılan bir modelin fiziksel parametreleri ile jeofizik tepkisini ilişkilendiren matematiksel bir bağıntı ile tanımlanması ve bu bağıntı yardımıyla modelin jeofizik tepkisini sayısal olarak hesaplamak şeklinde tanımlanabilir.

Ölçülen jeofizik verilerin yeterliliğine göre nitel yorum yapılırken yeriçi 1-B, 2-B veya 3-B bir model ile ifade edilir. Bu modelin jeofizik tepkisi ise ters çözümde kuramsal veri olarak kullanılır. DAÖ verilerinin 1-B modellemesinde, iletkenlik dağılımına göre yeriçinin homojen ve izotrop katmanlardan oluştuğu varsayılır (Şekil 5.1.1.a). Tanımlanan bu modelde fiziksel parametreler olan her tabakanın kalınlık ve özdirenclerine istenilen değerler atanır. Oluşturulan bu 1B model için istenilen elektrod dizilimi için GÖ düşey elektrik sondajı verileri hesaplanır. 2-B modellemede ise yeriçinin iletkenliğinin x ve z yönünde değişen y yönünde sabit kalan bloklardan oluştuğu varsayılır (Şekil 5.1.1.b). Oluşturulan bu modelde her bloğun x- ve z-yönünde kalınlıkları kullanıcı tarafından belirlenir. Her bloğa ise istenilen özdirenc değerleri atanır ve sonuçta istenilen elektrod dizilimi için GÖ yapma-kesit verileri hesaplanır. 3-B modellemede ise yeriçi, iletkenliğe göre kendi içinde homojen ve izotrop küpler' den oluştuğu varsayılır