

AŞAĞIYA VE YUKARI GİDEN DALGA ALANLARININ MEDIAN SÜZGEÇLERİ İLE BİRBİRİNDEN AYRILMASI

Separation of Up and Downgoing Wavefields by Median Filtering

Aybige AKINCI* ve A. Güngör TAKTAK*

ÖZET

Düsey sismik profillemeye (VSP), yeryüzünde yaratılan bir sinyalin, kuyu içerisinde farklı derinliklere yerleştirilmiş jeofonlar tarafından kaydedildiği, bir sismik ölçme tekniğidir. Yeryüzünde yapılan sismik araştırmalarda kullanılan jeofonların yerleştirildiği doğrultu ile VSP'de kullanılan jeofon yerleşim doğrultusu arasında 90°'lik fark vardır. Böylece kuyu içine yerleştirilmiş olan jeofon, kayıt esnasında hem aşağıya, hemde yukarıya giden dalga modlarını birlikte kaydeder. VSP çalışmalarında özellikle yukarıya giden dalga modları yüzey dalga modlarında da kaydedilir. Dolayısı ile bu olay, VSP yansıma kesitlerini yüzey yansıma kesitleri ile karşılaştırma olanağını ortaya çıkarttığından çok önemlidir. Ancak VSP verilerinde yukarıya giden dalga modları aşağıya giden dalga modları tarafından örtüldüğünden, yorumlarının yapılabilmesi oldukça güçtür. Bu nedenle yukarıya giden dalga modlarının diğerlerinden ayrılması, VSP veri işlem uygulamasının en önemli bölümüdür.

VSP'de aşağıya ve yukarıya giden dalga modlarını birbirinden ayırmak için, genellikle frekans dalga sayısı ortamında hız süzgeçleri kullanılır. Hız, belirli yönü ve büyüklüğü olan vektörel bir değişken olduğundan, yukarıya ve aşağıya giden dalgalar, frekans ortamında karşıt bölgelerde yer alırlar. Böylece seçilen bölgeye ağırlık verilerek ters Fourier dönüşümü, yalnızca istenen dalga modlarının görüntülenmesini sağlar.

Aşağıya ve yukarıya giden dalga modlarının ayrılması için hız süzgeçlerinden başka birde median süzgeçlerinden yararlanılır. Median süzgeçleri süzgeç işlemlerindeki değerlerin büyükten küçüğe doğru sıralanması sonucunda oluşan dizinin orta değerinin seçilmesi ile oluşturulur. Seçilen değerler işleme girecek verideki hareketli bir pencereden alınır. Bu işlem sismik veri işleminde doğrusal olayları artırmak ve gürültüleri sönmülemek için kullanılır. Median süzgeçlerinin önemli bir özelliğide doğrusal bir işleç olmasıdır. Bundan dolayı VSP de okunan ilk verilerin zamanları, dolayısı ile genlik bilgileri geciktirilebilir. Median süzgeçlerinin verilen bir izdeki iğnecikleri ortadan kaldıran ve daha öncede bahsedildiği gibi doğrusal olayları artıran bir özelliğe sahip olması, onu VSP'deki dalga modlarının seçiminde kullanılmasını olanaklı hale getirir.

Bu çalışmada oluşturulan sıfır açılımlı yapay VSP verisi üzerine çeşitli uzunlukta median süzgeçleri uygulanmıştır. Sonuçta median süzgeçlerinin hız süzgeçlerinden daha ekonomik daha etkili ve daha hızlı bir şekilde çalıştığı gözlenmiştir.

ABSTRACT

A vertical seismic profile (VSP) is a measurement procedure in which a seismic signal generated at surface of the earth is recorded by geophones secured at various depths to the wall of drilled well. The direction that geophones are deployed during the data acquisition thus differs by 90 degrees relative to the lateral geophone placement used when recording seismic reflection data at the earth's surface. The analysis of upgoing wave fields in VSP data is particularly important since these events are recorded in conventional seismic measurement. However, in VSP data downgoing wave field is always dominant so that any interpretation involving primary reflections is difficult from a raw VSP data set. Therefore separation of wave fields becomes necessary if the analysis of upgoing primary wave fields is the goal.

The most common and well established method to the removal of selected wave fields is the velocity filtering in the frequency wave (f-k) domain. Velocity is a vector, and direction and magnitude of it are different for different wave modes and hence up and downgoing waves will be in opposite quadrant in the f-k domain. Weighting of the selected quadrant and taking the inverse transform yield the desired result.

Median filters operate by selecting the middle value of ascending ordered sequence of numbers. A median extracted and placed on output trace at the middle of the window. Median filters enhance the linear events and remove the spikes from a given sequence.

The other important mathematical property of a median filter is that median filtering is a nonlinear process. As noted previously, median filters enhance the linear events and remove the spikes from a given sequence. This property of median filtering makes possible removing the selected mode of wave fields on VSP data. Median filters at various lengths have been applied on calculated synthetic zero offset VSP data through this study. Consequently, it can easily be observed that median filters have more effective, faster and more economic system than velocity filters.

GİRİŞ

Kaydedilmiş sismik izlerdeki bazı olayları gözlenebilir hale getirmek, yani istenmeyen olayları ortadan kaldırmak sismik veri işleminin amaçlarından biridir. Median süzgeçleri de aynı amaçla, özellikle VSP'de süreksizliklerin korunması ve gürültülerin yuvarlatılması temeline göre geliştirilmiştir.

İlk kez Rabiner ve diğ. (1975) ve Joyant (1976) median süzgeçlerinin sayısal gürültü gidermede ne şekilde kullanılabilirliğini tanımlamıştır. Çeşitli işlemler için median süzgeçlerinin algoritmaları Huang ve diğ. (1979) ve Evans (1981) tarafından verilmiştir. Bednar (1983), sismik veri işleminde median süzgeçlerinin bir kaç uygulamasını başarılı bir şekilde ortaya koymuştur. Hardage (1983) VSP'de median süzgeçlerinin önemini ve gözlenmek istenen olayların gözlenebilir bir duruma getirilmesinde bu yöntemin ne gibi üstünlükleri olduğunu vermiştir.

Eğer N tane istatistiksel veri, küçükten büyüğe doğru sıralanmış ise dizideki median değeri $(N + 1)/2$ bağıntısını sağlayan veri örneğidir. Buradaki N veri sayısı tek olduğunda median değeri düzenlenmiş veri grubunun ortasındaki değeridir. Buna karşın N çift ise median değeri düzenlenmiş veri grubunun ortasındaki iki terimin ortalamasına eşittir. Median süzgeçleri bir tür veri yuvarlatma işlemi yaparlar. Örneğin;

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$$

şeklindeki bir veri grubu küçükten büyüğe doğru sıralandığında;

$$X_3, X_5, X_2, X_4, X_1$$

şeklini alsın. Böylece yeni düzenlenen dizideki median değeri X_2 olacaktır.

$$(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) \rightarrow \text{Median süzgeci} \rightarrow X_2$$

Bu örnek doğrusal bir işlem olmayan median süzgecinin önemli bir özelliğini gösterir. Süzgeç çıktısı X_2 , ne giriş verisi ile evrıştırilen süzgeç katsayılarının doğrusal bir kombinasyonu ne de giriş veri vektörünün frekans spektrumunu ile bir süzgeç spektrumunun çarpımı şeklinde tanımlanmaktadır. Eğer birkaç doğrusal işlev $a(t)$, $b(t)$, $c(t)$,... bir giriş veri vektörü $x(t)$ 'ye uygulanırsa, aşağıdaki gibi evrişim işleminin değişme özelliği kullanılarak,

$$y(t) = a(t) * x(t) * b(t) * c(t)$$

veya

$$y(t) = b(t) * a(t) * x(t) * c(t)$$

şeklinde yazılabilir. Ancak, doğrusal olmayan matematiksel bir işlev veriye uygulanırsa, bu işlemin uygulandığı dizide her basamakta aynı başarı ile elde edilemez. Örneğin \emptyset doğrusal olmayan bir işlev ise;

$$y(t) = \emptyset(t) * a(t) * x(t)$$

ile

$$y(t) = a(t) * \emptyset(t) * x(t)$$

işlemleri aynı sonucu vermez. Bu nedenle, eğim iki ayrı VSP veri grubu median süzgeçleri ile işleme alınıp karşılaştırılmak isteniyorsa, süzgeçlemedeki aynı doğrusal işlemler her iki ayrı olay için de aynı şekilde kullanılmalıdır. Aksi takdirde doğrusal olmayan süzgeç etkileri ortaya çıkar ve sonuçta yanlış yorumlara gidilebilir.

Median süzgeçlerinin özellikle VSP verilerinde kullanılmasının iki önemli nedeni vardır. Birincisi median süzgeçlerinin istenmeyen gürültüleri sönmülmesi ve ikincisi bunların dışındaki basamak fonksiyonlarını değiştirmeden geçirmesidir. Birinci tanımlama Şekil 1'de verilmiştir. Normal veri içinden seçilen bir veri penceresindeki değerler a_1, a_2, B, a_3, a_4 şeklinde olsun. Bunlar küçükten büyüğe doğru sıralandığında yeniden oluşan veri grubu a_3, a_4, a_2, a_1, B şekline dönüşür. Böylece yeni dizideki median, a_2 değerini alır ve B büyüklüğündeki gürültü ortadan kalkar. İkinci tanımlama, median süzgeçlerinin önemli bir özelliğini göstermektedir. Çünkü VSP

verisinde gözlenen dalga modlarındaki ani süreksizlikler, örneğin; bir ara yüzeyde oluşan tekrarlı yansıma olayları (1. özellik) ve faylanma olayları (2. özellik) belli bir derinlikte başlayan ve biten bir olay şeklindeki bir basamak fonksiyonu gibi görülebilmektedir. VSP uygulamalarında ve veri - işleminde söz konusu basamak fonksiyonlarının zaman - uzaklık konumlarının değiştirilmeden elde edilmesi çok önemlidir. Bir basamak fonksiyonunun median süzgeçlemesi Şekil 2'de verilmiştir. Bu özel basamak fonksiyonu sabit bir zamanda kaydedilmiş bir derinlik fonksiyonu şeklinde, düşey olarak örneklenmiş bir VSP olayının davranışı gibi tasarlanır. Düşey olarak aynı hizaya getirilmiş yukarı giden yansımaların yüksek genlikli bir bölümünden geçen ve sabit bir zaman hattı boyunca daha aşağı derinliklere doğru hareket eden bir median süzgecinin süzgeçleme işlemi Şekil 3'de gösterilmektedir. Bu işlem derinlik eksenini boyunca basamak değişimini bozmuş ve basamak fonksiyonundaki genlik azalmasını olduğu gibi geçirmiştir. Böylece median süzgeci veri vektöründe varolması istenen yuvarlatma özelliğine sahip olduğu gibi, yine aynı vektör üzerindeki bütün basamak fonksiyonlarını koruma özelliğine de sahiptir.

"Yuvarlatma" terimi, median süzgecinin süzgeçleme işlemini açıklamak amacı ile kullanıldığında bazı önlemlerin alınması gerekir. Aksi takdirde, median süzgecinin çıktısında gelişigüzel bölgelerde küçük genlikli iğnecikler oluşur. Bu iğneciklere genellikle "whisker" adı verilir. Bunlar küçük genlikli olmalarına rağmen süzgecin çıktısında düzgün olmayan bir gürültü oluştururlar. Bundan dolayı median süzgeci uygulanmış veriye "whisker"ları ortadan kaldırmak amacıyla band geçişli süzgeçlerin uygulanması gerekir.

Median süzgeçlerinin başka bir özelliğinde üçgen ve dikdörtgen şeklindeki fonksiyonları VSP veri-işlem sonucunda yuvarlatmasıdır. Değişik uzunluklardaki median süzgecinin bir üçgen dalgacık üzerindeki etkisi Çizelge 1 ve Şekil 4'te gösterilmektedir. Burada 5 noktalı olarak verilen median süzgeci şeklindeki üçgen dalgacığın sadece üst noktasını yuvarlatır. Fakat şekilde de görüldüğü gibi süzgeç boyunun artması ile yuvarlatma miktarı da artar. Onbeş ya da daha fazla noktalı bir median süzgeci bu üçgen dalgacığı birim genlikli düz bir iz döndürür.

Dikdörtgen şeklindeki bir fonksiyon üzerinde çeşitli uzunluklardaki median süzgecinin davranışı da Çizelge 2 ve Şekil 5'de gösterilmektedir. Median süzgeç boyu yeterince uzun seçildiğinde dikdörtgen dalgacığın tümüyle ortadan kalktığı gözlenmektedir. Bu nedenle, N noktalı bir dikdörtgen dalgacığın süzülebilmesi için uzunluğu $(2N + 1)$ veya daha fazla olan bir median süzgeci gereklidir.

MEDIAN SÜZGEÇİNİN ÖZELLİKLERİ

Bilindiği gibi median, küçükten büyüğe doğru sıralanmış sayı dizisinin ortasındaki değerdir. Örneğin;

$$(5, 1000, 6, +1, -1, 7, 9)$$

dizisi düzenlendiğinde,

$$(-1, +1, 5, 6, 7, 9, 1000)$$

median 6 olarak bulunur. Burada median tek sayılı dizinin gerçek değeridir, yani 6'dır. Ayrıca dizide bulunan sayılar arasındaki büyük sapmalar örneğin 1000 değeri median seçimine çok az etki eder. Eğer bu değer diziden çıkartılırsa median önemsiz derecede değişime uğrar. Bu özellikler uygulamalarda isteğe bağlı olarak değiştirilebilir (Stewart 1985). Median değerinin başka bir özelliğinde dizinin diğer noktalarından minimum uzaklıkta bulunmasıdır (Clearbout ve Muir 1973, Clearbout 1976). Böylece median değeri, dizinin ilk noktaları ile kendisi arasındaki farkların toplamının mutlak değeri şeklinde en az indirilebilir, $(I_1 \text{ normu, Stewart 1985})$. Bu olay matematiksel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanır. Bir x dizisi verildiğinde, aşağıdaki koşulları sağlayan bir \hat{x} değeri olsun.

$$J = \sum_{i=1}^N \left| \left(\hat{x} - x_i \right) \right| = \sum_{i=1}^N \left(\hat{x} - x_i \right) \text{Sgn} \left(\hat{x} - x_i \right)$$

$$\frac{dJ}{d\hat{x}} = \sum_{i=1}^N \text{Sgn} \left(\hat{x} - x_i \right)$$

$$\frac{dJ}{d\hat{x}} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^N \text{Sgn} \left(\hat{x} - x_i \right) = 0$$

Fakat bu işlem $(\hat{x} - x_i)$ farkının eşit sayıda artı ve eksi işaretine sahip olması, ya da x değerinin her iki yanındaki nokta sayısının eşit olması durumunda gerçekleştirilir. Bu şekilde tanımlanan x değeride mediantır.

Median seçimi ölçeklemede de sabittir. Dizideki bütün değerler kuvvetlendirilerek ölçeklenmiş ise ölçeklemeden önce ya da sonra median değeri konumunu değiştirmeden aynı yerini koruyacaktır. Örneğin; pozitif bir sayı dizisindeki x_m median ise dizinin değerlerinin kareleri alındığında yeni median x_m olacak ancak konumunu ve yerini değiştirmeyecektir. Ancak median süzgeci aşağıdaki doğrusallık tanımlamasına uymayan yani doğrusal olmayan bir işleçtir. Doğrusallık tanımlaması

$$F(aX + b) = aF(X) + F(b)$$

şeklinde verilir. Örneğin;

$$\vec{x} = (1, 2, 3), \quad \vec{b} = (2, 3, 4), \quad a = 2$$

alındığında, M median süzgecini göstermek üzere;

$$M(\vec{x}) = 2$$

$$M(\vec{b}) = 3$$

$$aM(\vec{x}) + M(\vec{b}) = 3$$

$$aM(x) + M(b) = 7$$

$$a\vec{x} + \vec{b} = (2, 4, 6) + (2, 4, 3) = (4, 8, 9)$$

$$M(a\vec{x}) + M(\vec{b}) = 8$$

$$8 \neq 7$$

sonucu doğrusallık tanımlamasına uymadığı gözlenir.

Birçok süzgeç belli bir sayı dizisi boyunca hareket eder. Sismik veri işlemde bu sayılar sismogramı oluşturmaktadır. Hareketli bir median süzgeci verilen bir iz boyunca ya da sismik izler boyunca uygulanabilir. Uygulamada değerler bir veri penceresi şeklinde kullanılır. Pencerenin orta noktası median olarak seçilir. Daha sonra veri boyunca pencerinin birer değeri kaydırılması ile median değeri seçilir. Bu işlem her iz için veri boyunca tekrarlanarak süzgeç kullanımı gerçekleştirilir.

Kuram, şematik olarak 5 noktalı bir median süzgeci kullanılarak Şekil 6'da verilmiştir. Görüldüğü gibi olay bir kaç örnek sonucunda ortaya çıkmaktadır. Median süzgeci, iğnecik şeklindeki sinyali ortadan kaldırmış, dikdörtgen fonksiyonu ise olduğu gibi geçirmiştir. Dalgacığın kenar ya da basamak kısımları yuvarlatılmamış, sıfır örneklemeden birim örnekleme sığrayış tümüyle korunmuştur. Bu özellik VSP veri işlemde çok kullanışlıdır. Ayrıca median süzgeci zaman ortamındaki bir izin süzgeçlenmesinde kullanıldığı gibi frekans içerikli bir veri üzerinde de aynı şekilde kullanılır.

Genellikle $N/2$ boyundan daha az uzunluğu olan her izdeki iğnecik şekilli girişler bu sistem ile ortadan kaldırılır. Bu özelliğinden dolayı median süzgeci bazı yönleri ile yüksek geçişli bir süzgece benzemektedir. DT örnekleme aralığı ile örnekleme M nokta sayısına sahip dikdörtgen şeklindeki bir dalgacığın frekans içeriği $1/M \cdot DT$ 'den oldukça azdır. Eğer N

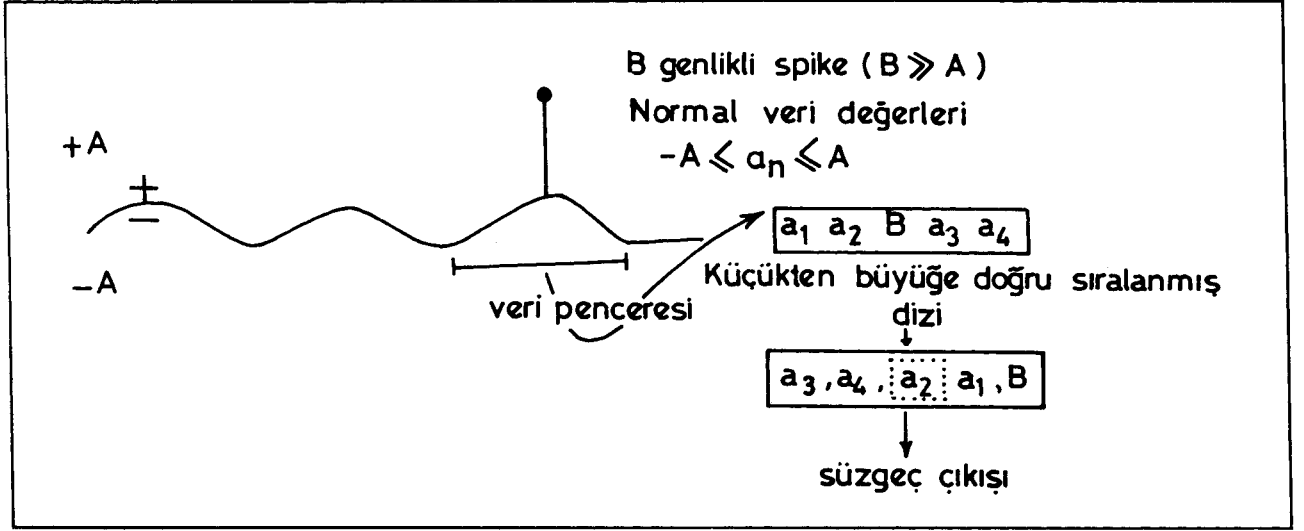
uzunluğundaki bir median süzgeci dikdörtgen dalgacığı ortadan kaldırıyorsa $M < N/2$ 'dir. Böylece belli uzunlukta bir dikdörtgen dalgacığı, yaklaşık $2/N \cdot DT$ 'nin üzerinde bir gücü olduğunda, dalgacık N uzunluğundaki bir median süzgeci ile ortadan kaldırılacaktır. Daha karmaşık dalga şekillerinde süzgecin ortadan kaldırma karakteristiği değişiktir. Örneğin $N \cdot DT$ periyodunda bir sinüs dalgası $1/N \cdot DT$ civarında maksimum frekanstadır. Böyle bir sinüs dalgası ise N uzunluğundaki bir median süzgeci ile ortadan kaldırılabilir.

MEDIAN SÜZGEÇLERİNİN VSP VERİSİNE UYGULANIŞI

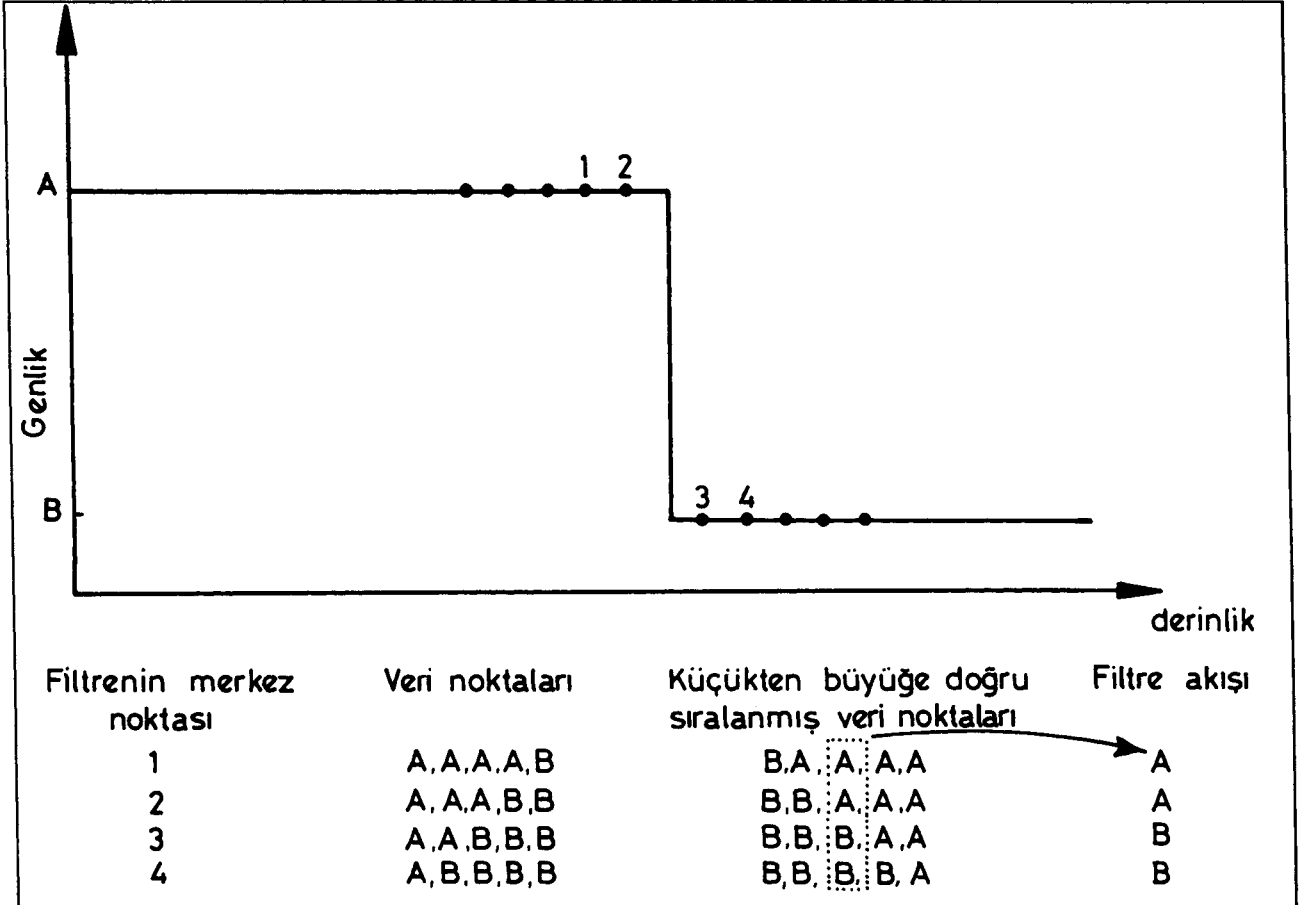
Median süzgeçlerinin verilen bir dizideki doğrusal olayları arttıran, iğnecik şeklindeki sinyalleri ise ortadan kaldırma ya yönelik olarak çalıştığı daha önce açıklanmıştır. Median süzgeçleri VSP verisindeki istenmeyen dalga modlarının ortadan kaldırılması uygulamalarında bu özelliği nedeniyle başarılı olarak kullanılabilir. Bu uygulama şu şekilde yapılmaktadır; VSP kesitleri üzerinde aşağıya giden dalga modları dikkatli bir şekilde elde edilebilirse, toplam VSP verisinden çıkartılarak yukarı giden dalga modları elde edilebilir. Çıkartma işleminin tekniği Şekil 7'de görüldüğü gibi dört basamakta görüntülenebilir. (A)'daki veri grubunda aşağı ve yukarı giden dalga modları gerçek bir VSP kaydı gibi verilmiştir. İşlemin birinci basamağı verinin negatif zaman kaydırılması, yani aşağıya giden tüm dalga modlarının düşey olarak aynı hizaya getirilmesidir. Bu işlem, (B) veri grubunda gösterildiği gibidir ve ilk varış zamanına eşit miktarda bir zaman ile her izin sola kaydırılması sonucu oluşturulur. Bu zaman kaydırma işleminin ölçülmüş bir veri üzerindeki örneği Şekil 8'de verilmiştir.

Median süzgeci, derinlik doğrultusunda uzanan her sabit zaman hattı boyunca bu verilere uygulanır. Bu süzgeçleme basamağı (C) veri grubunda gösterilmektedir. Burada, birincisi yukarıya giden tüm dalgaların şiddetli bir şekilde sönmülmesi; ikincisi, aşağıya giden tüm dalgaların genliğinin artması şeklinde iki olay gözlenmektedir. Sismik dalgacık izden ize dalga formunu koruyor ise yukarıdaki bu iki olay gerçekleşecek ve süzgeçleme işlemi amacına ulaşacaktır. Şekil 7'deki (B) veri grubunun baştan başa sabit bir dalgacık ile oluştuğunu varsayarsak; bir median süzgeci, sabit bir zaman hattı boyunca uzanan verileri yuvarlatarak, (C)'de koyu hatlar ile gösterildiği gibi aşağıya giden olayları kuvvetlendirirken, tüm yukarıya giden olayları sönmülendirecektir.

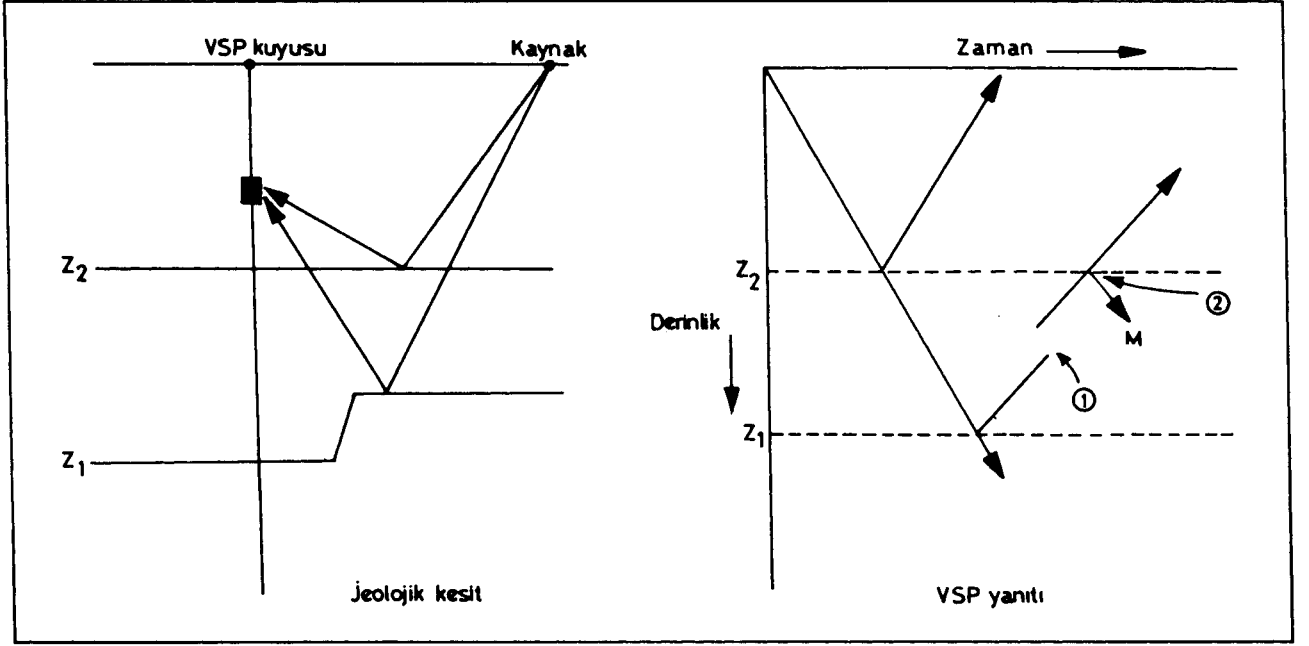
Aynen (B) veri grubunda da aşağıya giden olaylar düşey olarak Şekil 9'da görüldüğü gibi aynı hizaya getirilmiş ve yukarıya giden olaylar da sağ tarafa doğru zaman basamakları şeklinde düzenlenmiştir. Aynı hizaya getirilmiş aşağıya giden olaylar üzerine uygulanan bir median süzgeçleme işlemi (T1 hattı boyunca), aşağı giden olayları dalga şekilleri sabit ve T1 zaman hattını dalgacığın eşit faz durumlarından geçene kadar yuvarlatır ve kuvvetlendirir. Dalgacıkların sabit bir şekli olduğunda, dalgacıklardaki eşit faz noktalarının yaklaşık olarak aynı genlikte olacağı varsayılır. Median süzgeci T2 zaman hattı boyunca uygulandığında, dalga modu düşey olarak aynı hizadaki faz şeklini oluşturana kadar eğimli olayları ortadan kaldırır. T2 zaman hattındaki bu varsayım, Şekil 1'de bir tek iğnecikteki median süzgeçleme işlemi ile benzerdir. Yukarıya giden olay, zaman olarak basamak basamak yükselir, bu nedenle T2 zaman hattı boyunca yüksek genlikli bir dalgacığın aynı hizada bir faz düzeltilmesi 4 veya 5 izden oluşur ise, median süzgecinin girdisi bu durumda Şekil 4'de gösterildiği gibi bir üçgen fonksiyon şeklinde görülür. Eğer süzgeç bu anomaliyi ortadan kaldırırsa, üçgen genlikli anomalinin genişliği arttıkça, median süzgeç boyunun uzunluğunun da artması gerekir. Median süzgeci Şekil 7'deki (B) veri grubunu (C) veri grubuna çevirirken, yukarıya giden dalga alanlarını tümüyle ortadan kaldırmak için 19 veya daha fazla noktalı süzgeç uzunluğuna gerek vardır. Median süzgecinin bu uygulaması aşağıya giden dalga alanlarının elde edilmesinde önemli bir adımdır. Çünkü süzgeçlenmiş



- Şekil 1. Median süzgeçlerinin bir özelliği gürültü sinyallerini ortadan kaldırmasıdır. Büyükten küçüğe doğru sıralanarak düzenlenmiş genlik değerlerindeki B spike değeri, bu yeniden düzenlenmiş veri vektörünün en sonunda yer alır. Böylece median hiçbir zaman iğnecik değerini almaz.
- Fig. 1. One attraction of a median filter is that it absolutely rejects noise spikes. Arranging data values so that they sequentially increase in magnitude will always place the spike value at one end of the rearranged data vector. Thus the median can never be the spike value.

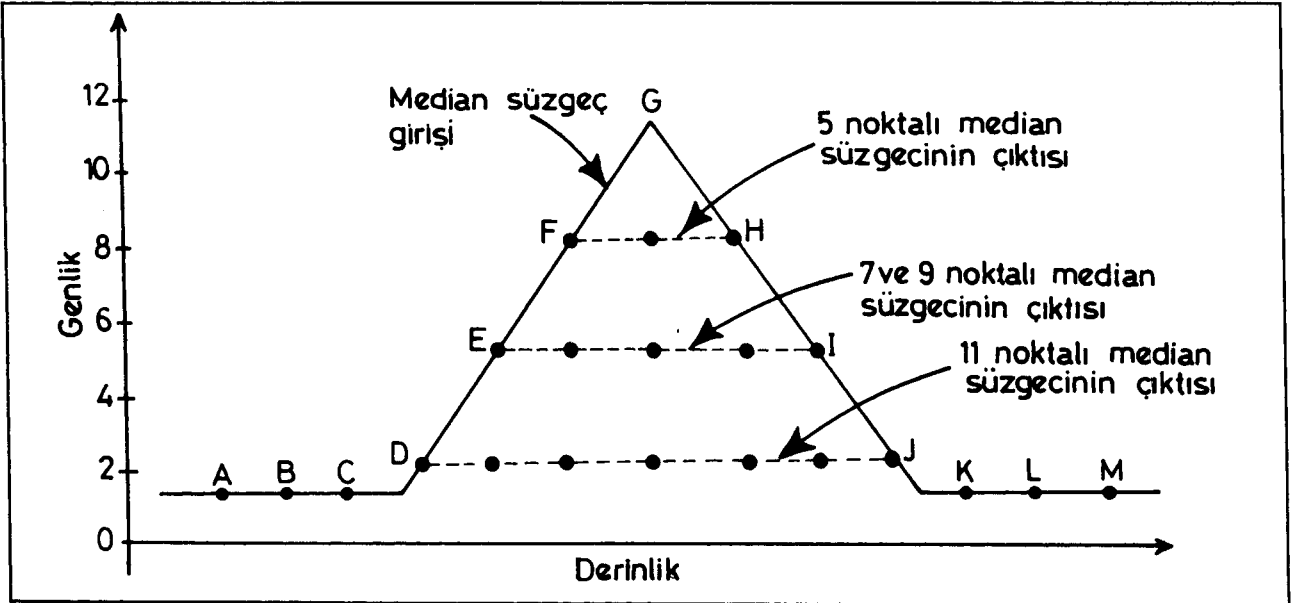


- Şekil 2. Median süzgeci basamak fonksiyonlarında etkili değildir. Bu örnek bir basamak fonksiyonundaki 5 noktalı median süzgeç işlemini gösterir. Sonuçta süzölmüş çıktı yine bir basamak fonksiyonudur.
- Fig. 2. A median filter does not smear step functions. The example shows a five point median filter operating on a step function. The filtered output is again a step function.



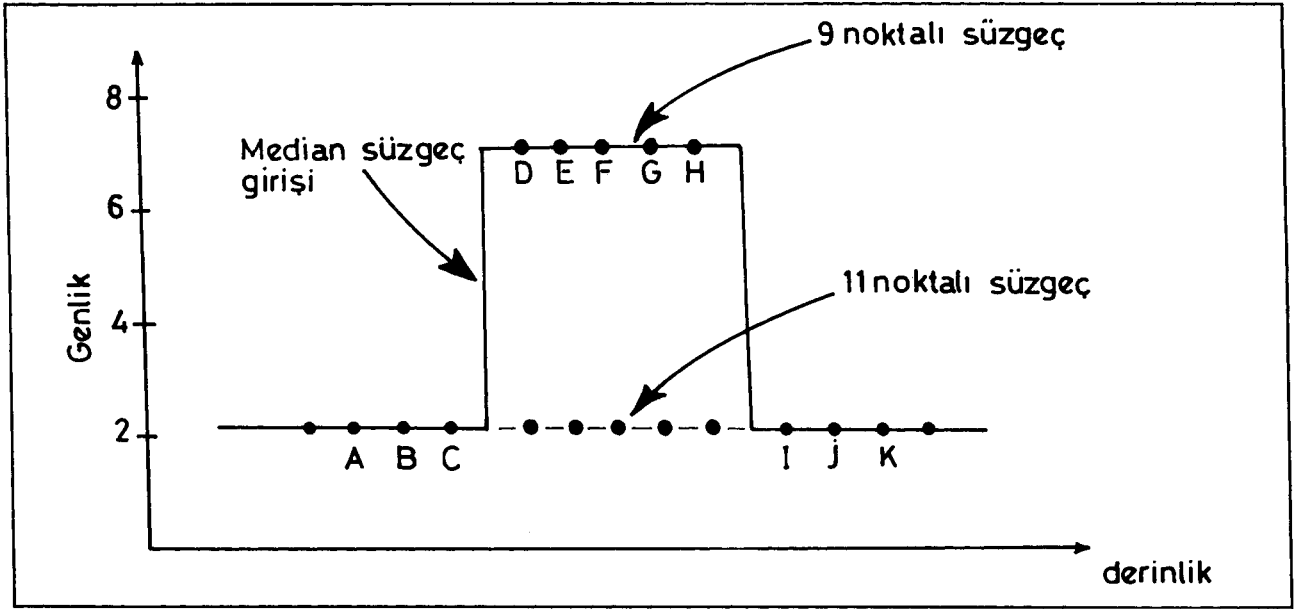
Şekil 3. VSP verisi içerisindeki basamak fonksiyonlarının derinlik ve zaman konumlarının korunması önemlidir. Buradaki VSP yanıtında gözlenen dalga alanları, zaman uzaklık ortamındaki önemli başlangıç ve bitiş noktalarını gösterir. 1 ile gösterilen basamak fonksiyonu yukarı giden yansımadaki bir fayı ifade eder, Z1. 2 ile gösterilen basamak fonksiyonu, aşağıya giden tekrarlı bir yansımadır, Z2.

Fig. 3. It is important to preserve the time and depth locations of the "step function" contained in VSP data. The VSP response shown here indicates several wave modes which originate and terminate at discrete points in time and space. Space function 1 marks the fault in the upgoing reflection, Z1. Step function 2 defines the creation of a downgoing multiple at depth, Z2.



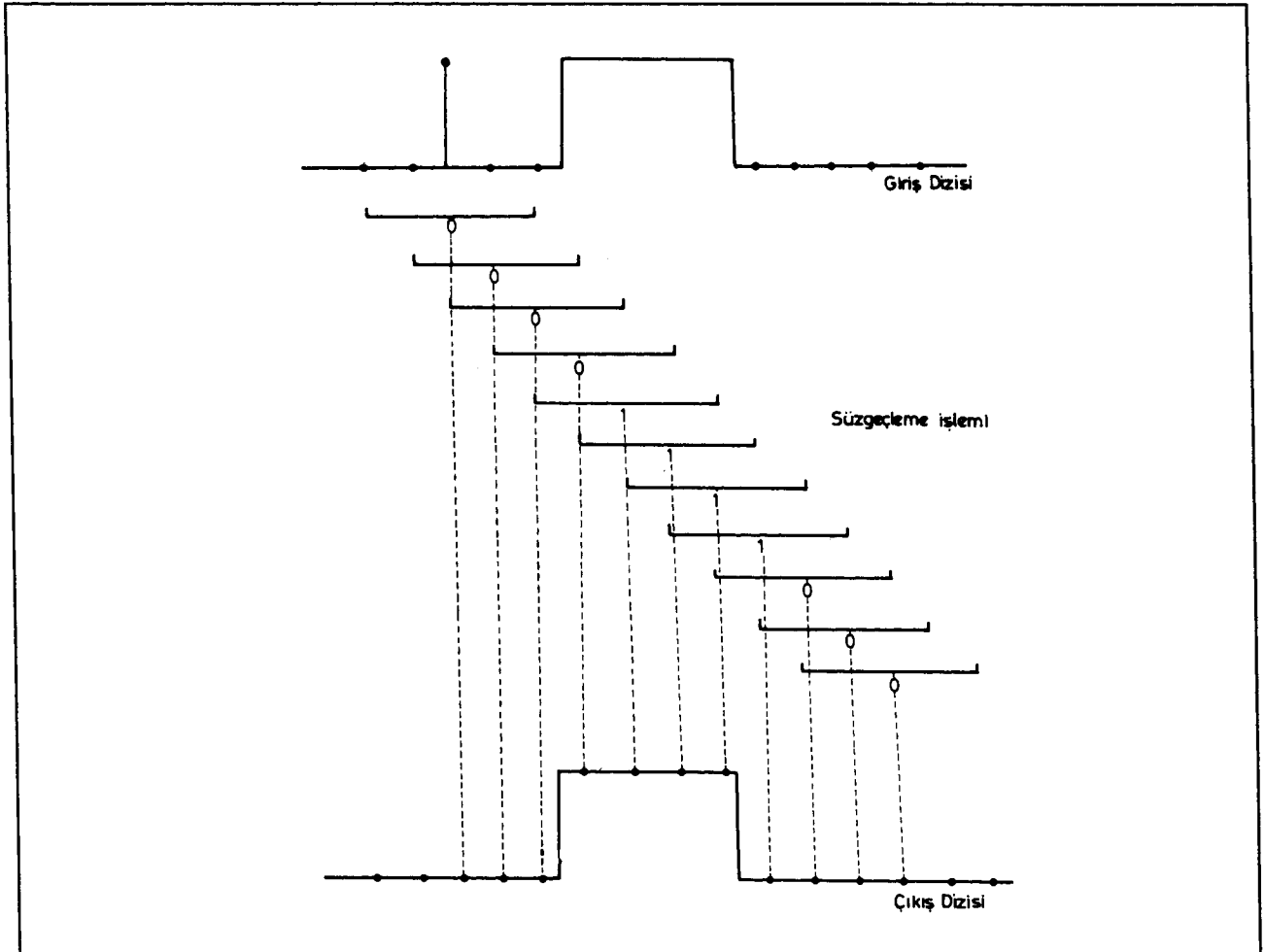
Şekil 4. Bir median süzgecinin yuvarlatma derecesi süzgecin boyu ile kontrol edilir. Bu süzgeçleme sonucu oluşan yeni veri değerlerinin bazıları Çizelge 1'de verilmektedir.

Fig. 4. The smoothing capability of a median filter is controlled largely by the length of the filter. Some of these filters output values are tabulated in Table 1.



Şekil 5. Süzgeç yeterince uzun ise bir median süzgeci dikdörtgen şeklindeki genlik anomalisini tamamı ile ortadan kaldırabilir. Eğer veri N veri noktasından oluşuyor ise, yüksek genlik anomalisini tamamıyla ortadan kaldırmak için median süzgeci en azından $(2N + 1)$ veri noktası kapsamalıdır. Çizelge 2'de 9 ve 11 noktalı süzgeçlerin çıktısı verilmektedir.

Fig. 5. A median filter can completely reject boxcar shaped amplitude anomaly if the filter is sufficiently long. If N data points occur within the box, the median filter must span at least $(2N + 1)$ data points in order to completely reject the high amplitude anomaly. The filter outputs of these 9 and 11 points filters are tabulated in Table 2.



Şekil 6. 5 Noktalı median süzgeç işleminin bir giriş verisine uygulanışının şematik gösterimi.

Fig. 6. Schematic diagram of the median filtering operation. A 5-point filter is used on the input sequence. Note the despiking and step passing effects.

Çizelge 1. İki median süzgeç çıktısının sınıflara ayırımı gösterilmiştir.
Table 1. Tabulation of the two median filter outputs illustrated in figure 4.

Süzgeç Merkezi	5 Noktalı Median Süzgeci			7 Noktalı Median Süzgeci					
	Artan Sıradaki Veri Örneklemeleri			Süzgeç Çıkışı	Artan Sıradaki Veri Örneklemeleri				Süzgeç Çıkışı
A	1	1	1	1	1	1	1	2	1
B	1	1	1	1	2	5	8	11	1
C	1	1	1	2	5	8	11	11	1
D	1	1	2	5	8	11	11	11	2
E	1	2	5	8	11	11	11	11	5
F	2	5	8	8	11	11	11	11	5
G	5	5	8	8	11	11	11	11	5
H	2	5	8	8	11	11	11	11	5
I	1	2	5	8	11	11	11	11	5
J	1	1	2	5	8	11	11	11	2
K	1	1	1	2	5	8	11	11	1
L	1	1	1	1	2	5	8	11	1
M	1	1	1	1	1	1	1	2	1

Çizelge 2. Median süzgeç çıktısının sınıflara ayırımı gösterilmiştir.
Table 2. Tabulation of the median filter outputs illustrated in figure 5.

Süzgeç Merkezi	9 Noktalı Median Süzgeci				11 Noktalı Median Süzgeci								
	Artan Sıradaki Veri Örneklemeleri				Süzgeç Çıkışı	Artan Sıradaki Veri Örneklemeleri					Süzgeç Çıkışı		
A	2	2	2	2	2	2	2	2	2	7	7	7	2
B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	7	7	7	2
C	2	2	2	2	2	7	7	7	7	7	7	7	2
D	2	2	2	2	7	7	7	7	7	7	7	7	2
E	2	2	2	2	7	7	7	7	7	7	7	7	2
E	2	2	2	2	7	7	7	7	7	7	7	7	2
F	2	2	2	2	7	7	7	7	7	7	7	7	2
G	2	2	2	2	7	7	7	7	7	7	7	7	2
H	2	2	2	2	7	7	7	7	7	7	7	7	2
I	2	2	2	2	2	7	7	7	7	7	7	7	2
J	2	2	2	2	2	2	7	7	7	7	7	7	2
K	2	2	2	2	2	2	2	7	7	7	7	7	2

sonucun (Şekil 7, (C) veri grubu) orjinal veriden iz iz çıkartılmış olan aşağıya giden dalga alanları olduğu varsayılar. Bu çıkartma işlemi (A)'dan (B)'ye veri değişiminde kullanılan miktarın tersi ile (C) veri grubunda ilk varış zamanlarının kaydırılması sonucu başarılmıştır. (E) veri grubunu oluşturmak için; yeni ters zaman kaydırması ile oluşturulan yeni veri grubu (D), (A) orjinal verisinden iz iz çıkartılır. Bu çıkartma işlemi (A)'daki aşağıya giden dalga modlarını kuvvetlice sönmüldendirir, fakat yukarıya giden dalga modlarını etkilemez. Aşağıya giden dalga alanlarını ortadan kaldırmak ve yukarıya giden dalga alanlarını koruyabilmek için bir diğer seçenek Mons (1980) tarafından tanımlanmıştır.

Yukarıda anlatılan çıkartma işlemi sırasında, ilk varış zamanlarının son derece dikkatli bir biçimde ve mümkün ise 0.5 m/msec duyarlılıkla saptanması, üzerinde durulması gerekli bir noktadır. Aksi takdirde, Şekil 7'deki (B) veri grubunda oluşan statik zaman kaymaları tam olarak düzenlenemeyecek ve aşağı giden olaylar uygun bir faz ile düşey olarak aynı hizaya gelmeyecektir. Aynı hizaya gelmemiş bir veri median süzgeçlemesi sonucunda aşırı derecede gürültü içerecektir. Aynı şekilde (A) ve (D) dalga alanları birbirinden çıkartıldığında, bunların birbirleri ile ilgili kayıt zamanlarının uyum içinde olması gerekir. Kayıt zamanları uyum içinde değil ise (A) ve (D) dalga alanlarının

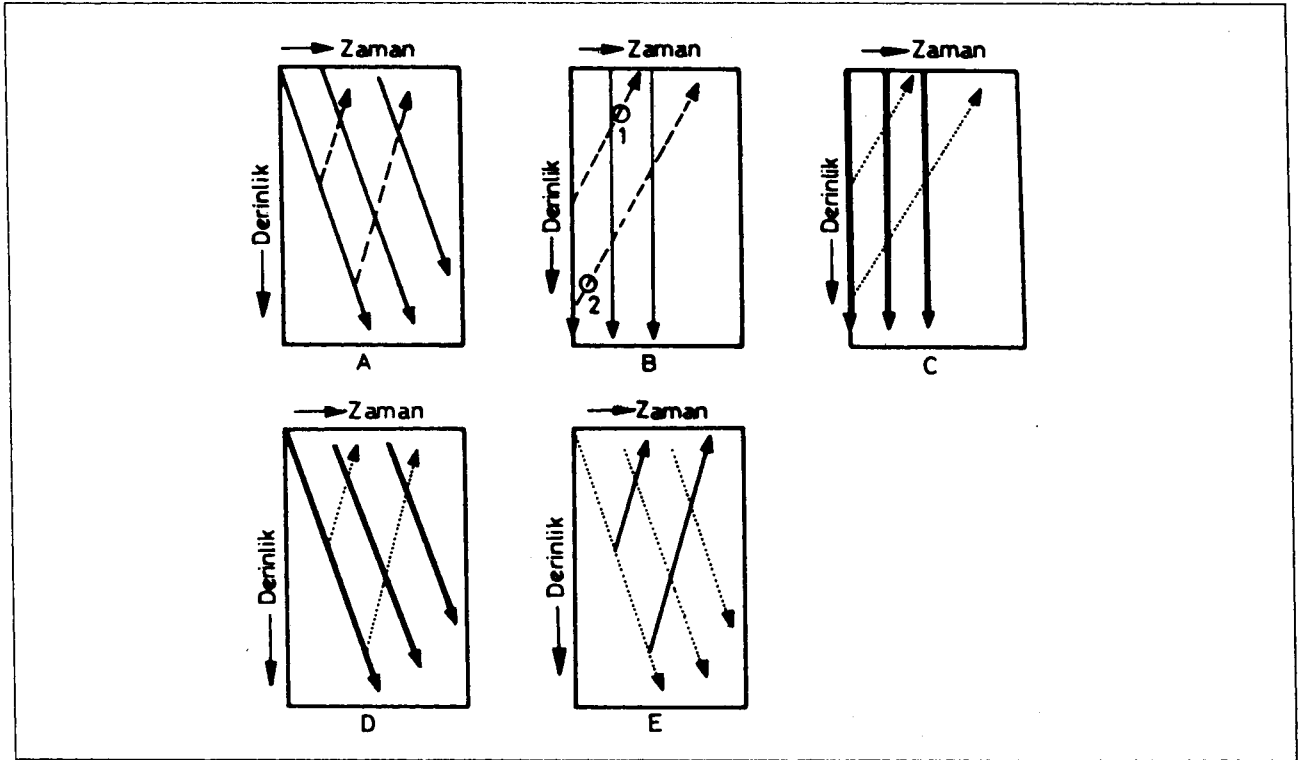
çıkartılması sonucunda oluşacak (E) veri grubunda gürültü baskın olacaktır.

UYGULAMALAR VE SONUÇLAR

Bilindiği gibi VSP verileri bir ortam içinde ilerleyen hem aşağıya hemde yukarıya giden dalga alanlarını içermektedir. VSP verilerinin sağlıklı bir şekilde yorumlanabilmesi için önce veri işlem sırasında bu iki dalga alanının birbirinden ayrılması gerekir. Ancak, aşağıya giden dalga alanları, yukarıya giden dalga alanlarından daha güçlü olduğundan, yukarıya giden dalgalara, aşağıya giden dalga alanlarınınca örtülme ve gözlenmemektedir. Bu nedenle, ayırma işlemi VSP veri işlemin en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Bu işlem genellikle (f-k) hız süzgeçleri ile yapılmaktadır. Ancak son yıllarda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlayan median süzgeçlerinin VSP verileri üzerinde daha etkili ve daha sağlıklı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde üretilen yapay VSP verileri üzerinde farklı uzunluklarda median süzgeçleri uygulanmış ve süzgecin veri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şekil 10'da 4 yatay tabakadan oluşan bir modelden üretilmiş yapay Düşey Sismik Profilleme (VSPs) verisi görülmektedir. Buradaki VSPs verisi hiç bir gürültüyü içermemek-



Şekil 7. Median süzgeçlemesi ve yukarıya giden dalga alanlarının ortadan kaldırılması, matematiksel çıkartma işlemi. Açıklama için metne bakınız.

Fig. 7. The removal of downgoing wave modes by median filtering and arithmetic subtraction.

tedir (tüp ve tekrarlı yansımalar gibi). Kuyu derinliği 1750 m'dir ve 35 m aralıklarla kuyuda 50 jeofon ile kayıt alınmıştır. Kaynak kuyuya çok yakın olduğundan açılım sıfır varsayılmıştır. Giriş sinyali olarak $f = 50$ Hz lik sıfır fazlı bir Gabor dalgacığı kullanılmıştır.

VSPs verisi üzerindeki median süzgeçleme işlemi sırası ile aşağıdaki basamakları içerir;

1. İlk önce her izin ilk kırılma zamanı okunur. İlk iz sabit kalmak koşulu ile her izin ilk kırılma zamanı ile ilk izin ilk kırılma zamanı arasındaki zaman farkı kullanılarak her iz sıfır zamanına kaydırılır. Böylece tüm aşağı giden dalgalar aynı hizaya getirilir (Şekil 11).

2. Düşey olarak aynı hizaya getirilmiş verinin dönüğü bulunur (multiplex olayı). Örneğin; eğer 1000 örnekleme 129 iz varsa, her izin ilk örnekleme alınır ve yeni bir iz elde edilir. Daha sonra her izin ikinci örnekleme alınır ve ikinci bir iz elde edilir. Bu işlem 129. izin 1000. örneklemesine kadar sürer. Yeni veri artık 129 örnekleme 1000 izden oluşmaktadır.

3. Bu yeni veriye median süzgeçleme işlemi aşağıdaki şekilde uygulanır,

i) Önce,

$$M = 2(N/DX - 3/2)$$

şeklinde bir pencere tanımlanır. Burada M pencerenin uzunluğu (örnekleme nokta sayısı), DX örnekleme aralığı (uzunluk birimi), N gürültüsüz sinyalin en kısa dalga boyudur.

ii) Penceredeki örneklenmiş değerler küçükten büyüğe doğru sıralanır ve pencerenin orta noktası median değeri olarak seçilir. Daha sonra pencere bir örnekleme aralığı kaydırılır ve aynı işlem tekrarlanır.

iii) Bir önceki iz ile yeni oluşan iz karşılaştırılır. Eğer yeni iz bir önceki izden farklı ise yeni iz tekrar alınarak ii'deki işlem, bir önceki iz ile yeni iz aynı olana kadar yinelenir.

Bu çalışmada önce 9 noktalı median süzgeç işleci Şekil 11'deki veriye uygulanmıştır. Sonuç Şekil 12'de görülmektedir.

Süzgeç doğrusal olayları arttırmış, eğimli olayları ortadan kaldırmıştır.

4. Süzgeçleme işleminden sonra elde edilen verinin tekrar dönüğü alınır (demultiplex olayı).

5. Aynı hizaya getirilmiş aşağıya giden dalga alanlarının bulunduğu veriden (Şekil 11), süzgeçlenmiş veri (Şekil 12) çıkartılır. Sonuçta sadece yukarıya giden dalga alanları elde edilir ve aşağıya giden dalga alanları çıkartma işlemi sonucunda ortadan kaldırılır (Şekil 13).

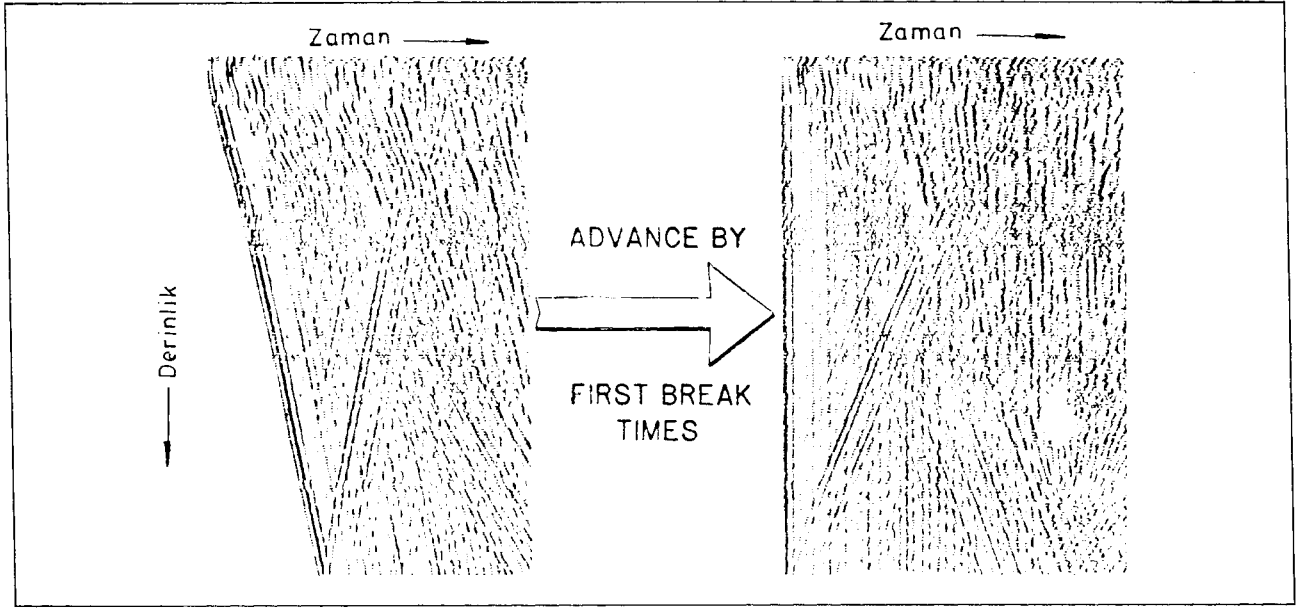
6. Daha sonra Şekil 13'deki veriden her izin gidiş-geliş yol zaman değerleri çıkartılır ve tüm yukarıya giden dalga alanları düşey olarak aynı doğrultuya getirilerek Şekil 14'deki veri elde edilir.

7. (1) ve (4) nolu işlemlerin yinelenmesi ile yukarıya giden dalga alanlarının doğrusallığını arttırmak ve gürültüleri ortadan kaldırmak amacı ile, bu kez aynı doğrultuya getirilmiş veriye 5 noktalı median süzgeci uygulanmıştır. Bu işlem sonucunda, aşağıya ve yukarıya giden dalgalar birbirinden ayrılarak, yukarıya giden dalgalar yoruma hazır bir duruma getirilir (Şekil 15).

Bu kez 11 yatay tabakadan oluşan bir yapı modeli kullanılarak yapay VSPs verisi elde edilmiştir (Şekil 16). Buradaki VSPs verisi de gürültü içermemektedir. Kuyu derinliği 2500 m olmak üzere 50 m aralıklarla kuyuda 50 jeofon ile kayıt alınmıştır. Kaynak kuyuya çok yakın olduğu için açılım sıfır kabul edilmiştir. Giriş sinyali olarak yine Gabor dalgacığı kullanılmıştır. VSPs verisi median süzgeçleme işlemi bir önceki VSPs verisindeki basamakları içermektedir.

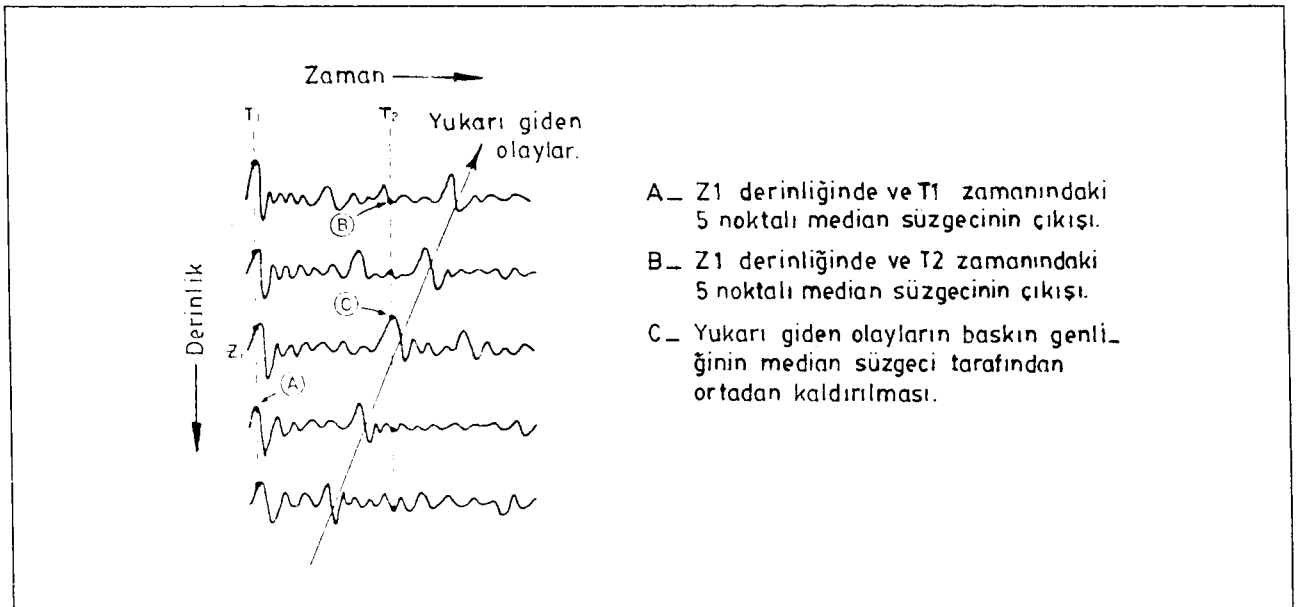
Önce her izin ilk varış zamanı okunarak, her iz sıfır zamanına kaydırılır. Böylece aşağıya giden tüm dalgalar Şekil 17'deki gibi düşey olarak aynı hizaya getirilir. Düşey olarak aynı hizaya getirilmiş verinin dönüğü alınır.

(1) tanımından yararlanarak seçilen bir pencere içerisindeki örneklenmiş veriler, yine median süzgeçleme işlemi gereğince büyükten küçüğe doğru sıralanır ve dizinin orta noktası median değeri olarak seçilir. Pencere tek değer kaydırılarak aynı işlem tekrarlanır.



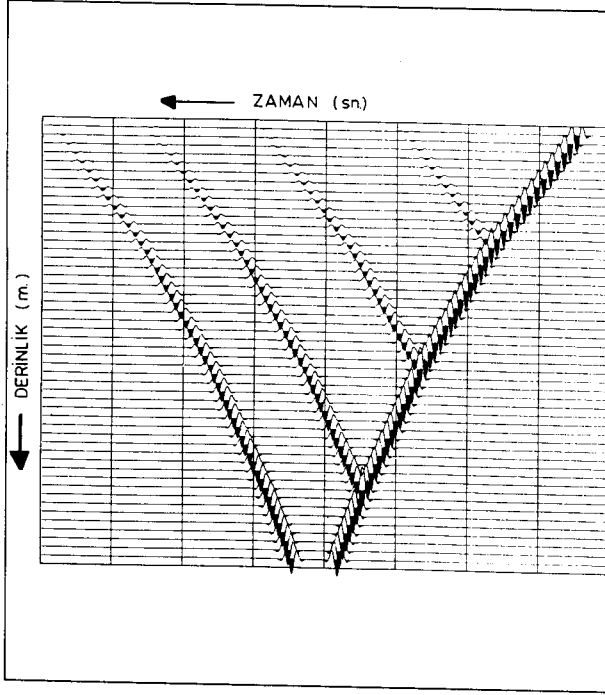
Şekil 8. Küçük bir kaynak-alıcı uzaklığı için, her VSP izine ilk varış süresine eşit bir zaman eklenirse bütün aşağıya giden dalga alanları düşey olarak aynı hizaya getirilmiş olur. İlk varışları uygun bir şekilde aynı hizaya getirmek için bu izlerin bazıları zamanca iyi ayarlanmalıdır.

Fig. 8. For small source offset distances, all downgoing VSP events can be positioned to the two-way times at which they leave the interface where they are generated, irrespective of the depth at which the events are recorded, if each VSP trace is advanced in time by an amount equal to its first break time. Some of these traces need to be better adjusted in time in order to optimally align the first breaks.

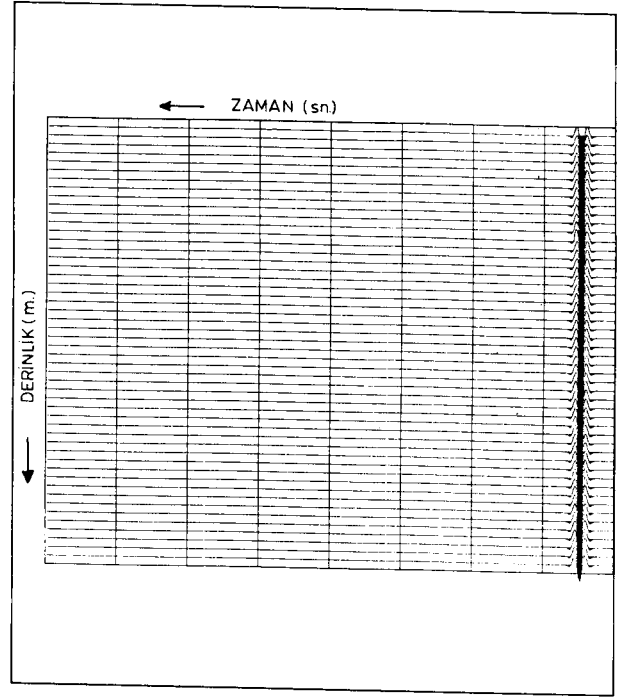


Şekil 9. Bu kuramsal VSP verisindeki aşağı giden dalgalar zaman kaydırması ile düşey olarak aynı hizaya getirilmiştir. Eğer dalgalar yaklaşık olarak aynı şekilde ve aynı fazda bir hizaya getirilmiş ise sabit zaman çizgileri boyunca işlem yapan bir median süzgeci (T1 boyunca) her derinlikte aşağıya giden dalgaları yuvarlatır. Düşey olarak aynı hizaya getirilmemiş olayların fazları ise söndürülmüştür. Buna örnek olarak T2 zaman çizgisi boyunca işlem yapan bir median süzgeci ile yukarıya giden dalganın üçgen şekilli genlik yanıtını söndürmek için median süzgecinin genlik uzunluğunun artırılması gerekir. (Şekil 4'deki gibi).

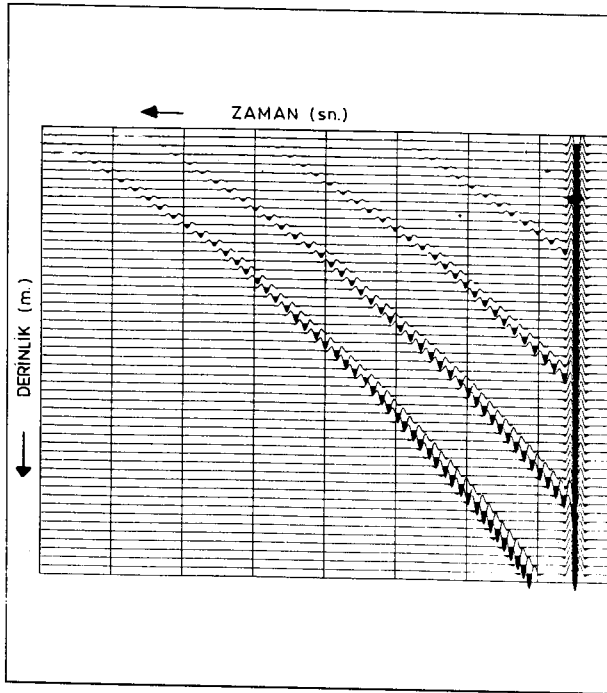
Fig. 9. These hypothetical VSP data are time shifted to vertically align downgoing events. A spatial median filter operating along fixed time lines (such as along T1), generates smoothed versions of downgoing wavelets at each depth if the wavelets are properly phase aligned and approximately the same shape. Events whose phases are not vertically aligned are attenuated. An example should be the rejection of upgoing event C by a median filter operating along time line T2. If the upgoing event is partially in phase over several depth traces, the length of the median filter must be increased (as demonstrated in fig. 4) in order to reject the triangular-shape amplitude response of the upgoing event which occurs along a fixed time line.



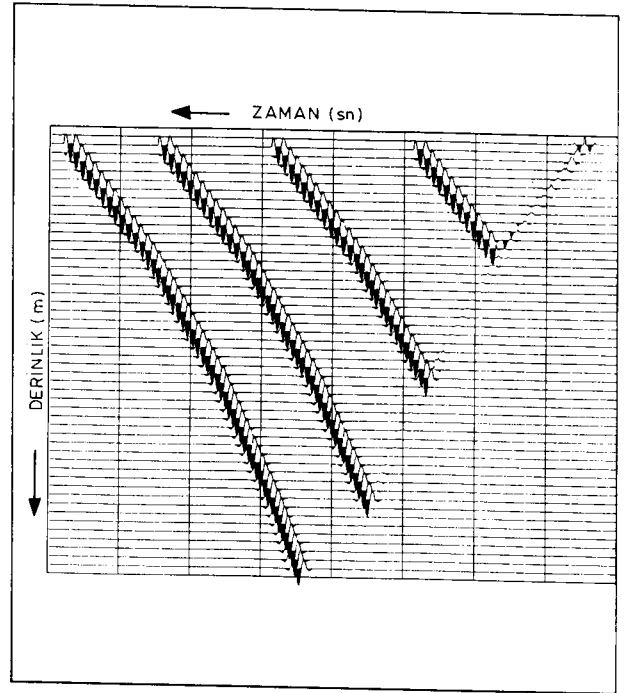
Şekil 10. Dört yatay tabakalı yer modelinden oluşan yapay VSPs kesiti.
Fig. 10. Synthetic VSP cross section produced of using the four layered earth model.



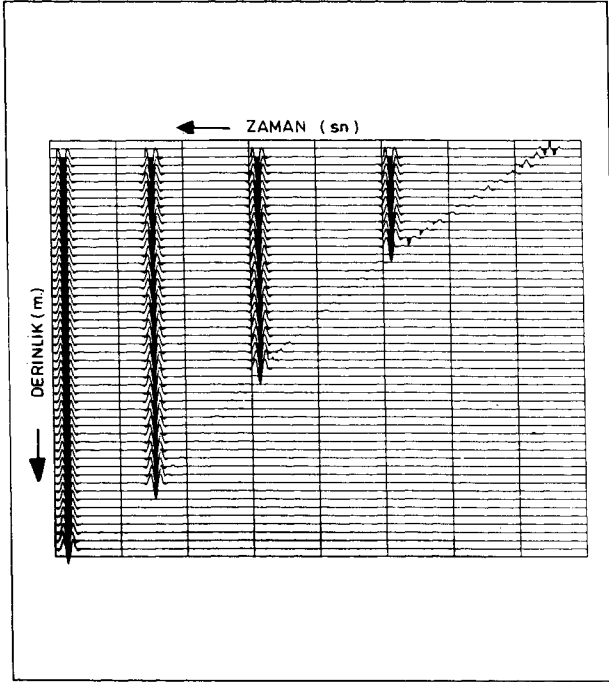
Şekil 12. Derinlik eksenini boyunca 9 noktalı median süzgeci ile doğrusal olmayan yukarıya giden olayların ortadan kaldırılması.
Fig. 12. Applying a 9-point median filter a long the depth axis. Upgoing events are removed.



Şekil 11. Zaman kaydırması ile düşey olarak aynı hizaya getirilen aşağıya giden olaylar.
Fig. 11. VSP data time shifted to vertically align down-going events.

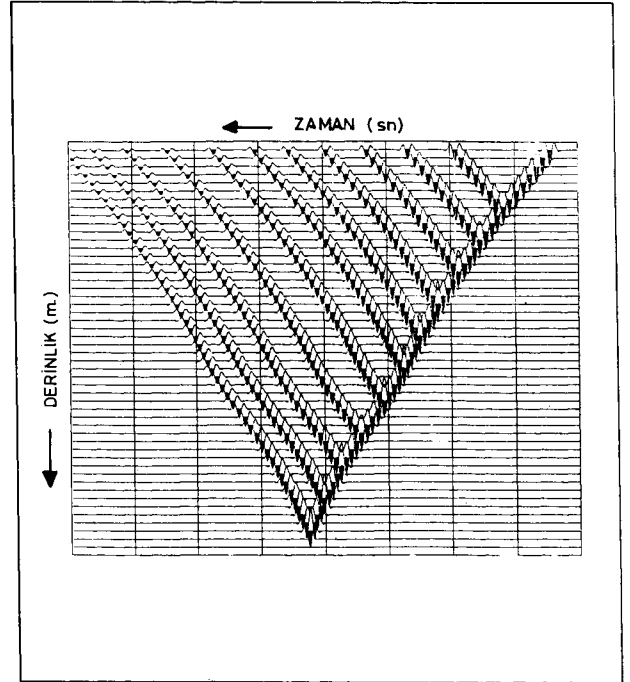


Şekil 13. Şekil 11'deki veri grubundan, Şekil 12'deki veri grubunun çıkartılması ile elde edilen sonuç.
Fig. 13. Result after subtracting data set in Fig. 11 from data set in Fig. 12.



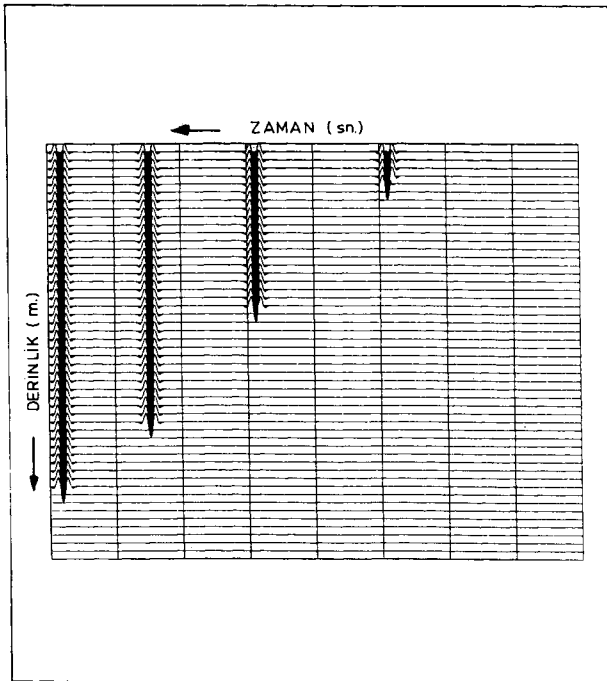
Şekil 14. Şekil 11'deki veri grubu gibi ters zaman kaydırması ile düşey olarak aynı hizaya getirilen yukarıya giden olaylar.

Fig. 14. Upgoing events shifted back to some time alignment as data set in figure 11.



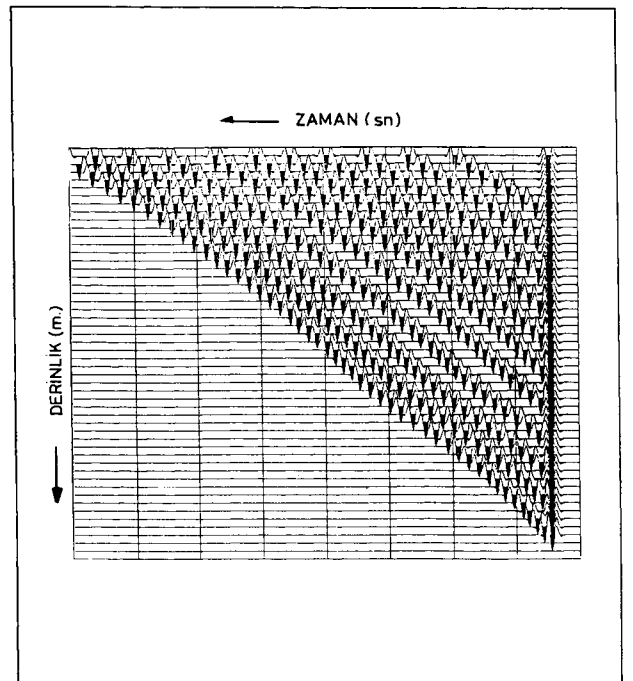
Şekil 16. Onbir yatay tabakalı yer modelinden oluşan yapay VSP kesiti.

Fig. 16. Syntetic VSP cross section produced of using the eleven layered earth model.



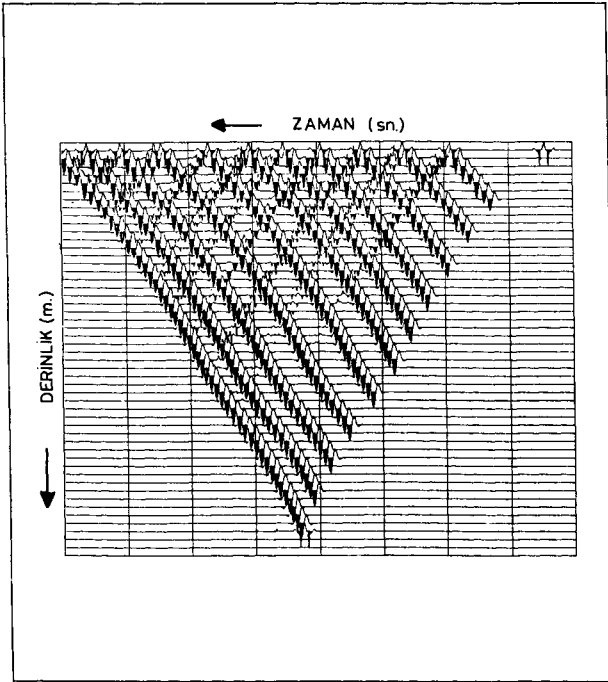
Şekil 15. Yukarıya giden olayların doğrusallığını arttırmak ve gürültüleri ortadan kaldırmak için Şekil 14'deki veriye uygulanan 5 noktalı median süzgeç işleminin sonucu.

Fig. 15. In order to remove the noise spikes and increase the lineation of upgoing waves, a 5-point median filter is used on the VSP data in figure 14.

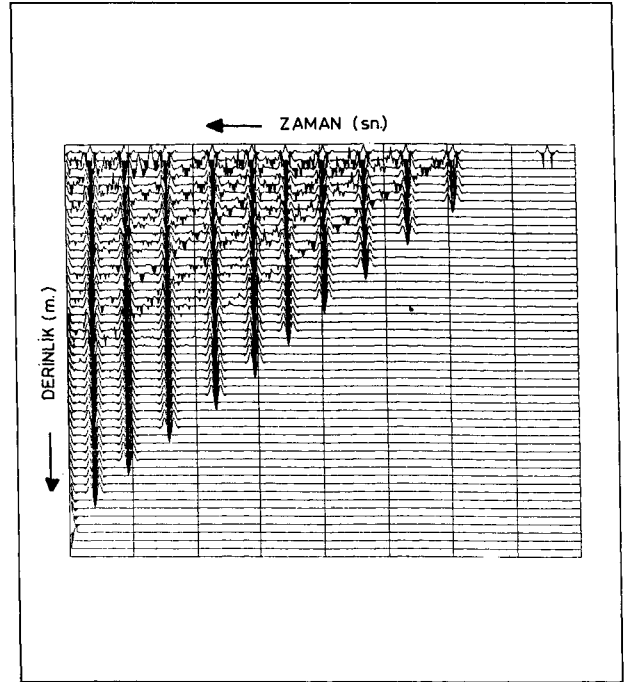


Şekil 17. Zaman kaydırması ile düşey olarak aynı hizaya getirilen aşağıya giden olaylar.

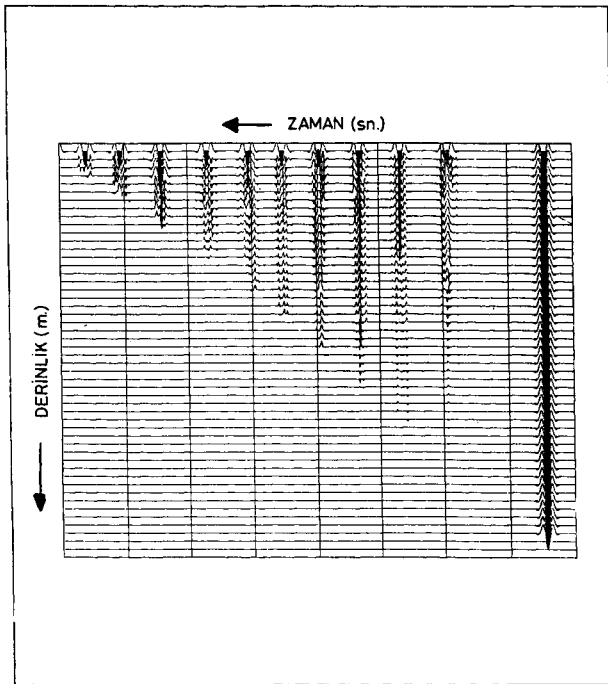
Fig. 17. VSP data time shifted to vertically align downgoing events.



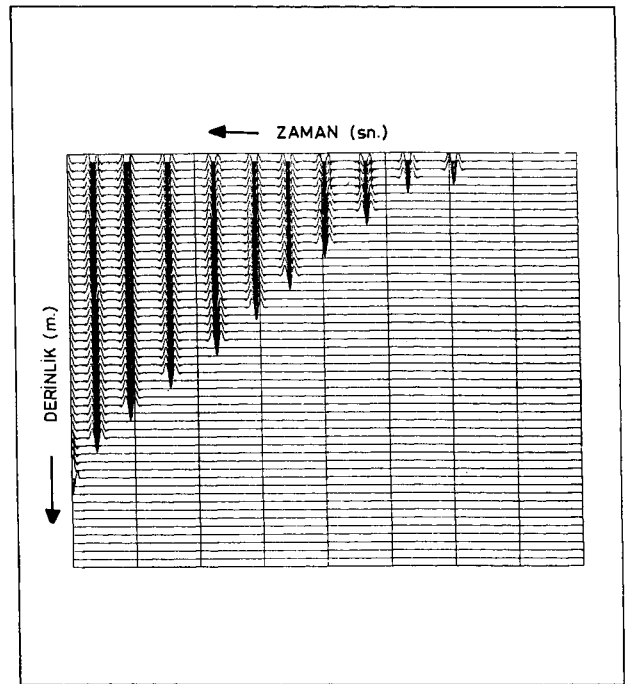
Şekil 18. Derinlik eksenini boyunca 15 noktali median süzgeci ile yukarıya giden olayların ortadan kaldırılması.
Fig. 18. Applying a 15-points median filter a long time depth axis. Upgoing events are removed.



Şekil 20. Şekil 17'deki veri grubunda olduğu gibi ters zaman kaydırması ile düşey olarak aynı hizaya getirilen yukarıya giden olaylar.
Fig. 20. Upgoing events shifted back to some time alignment as data set in Fig. 17.



Şekil 19. Şekil 17'deki veri grubundan Şekil 18'deki veri grubunun çıkartılması ile elde edilen sonuç.
Fig. 19. Result after subtracting data set in Fig. 17 from data set in Fig. 18.



Şekil 21. Yukarıya giden olayların doğrusallığını arttırmak ve gürültü sinyallerini ortadan kaldırmak için Şekil 20'deki veriye uygulanan 19 noktali median süzgeç işleminin sonucu.
Fig. 21. In order to remove the noise spikes and increase the linearity of upgoing waves, a 19 point median filter is used on the VSP data in figure 20.

Bu örnek için 15 noktalı median süzgeç işleci Şekil 17'deki VSPs verisine uygulanmıştır. Şekil 18'de görüldüğü gibi süzgeç doğrusal olayları arttırmış eğimli, yani doğrusal olmayan olayları ortadan kaldırmıştır. Düşey olarak aynı doğrultuda bulunan aşağıya giden dalga alanlarının bulunduğu veriden (Şekil 17), süzgeçlenmiş veri (Şekil 18) çıkartılır. Şekil 19'da görüldüğü gibi sonuçta sadece yukarıya giden dalga alanları ortadan kaldırılır.

Daha sonra Şekil 19'daki veriden her izin ilk yol zaman değerlerinin çıkartılması ile tüm yukarıya giden dalga alanları düşey olarak aynı doğrultuya getirilmiş ve Şekil 20'deki veri elde edilmiştir. Şekil 20'deki veride gürültüleri ortadan kaldırmak için veriye bir kez daha 15 noktalı median süzgeci uygulanmış aşağıya ve yukarıya giden dalga alanları birbirinden tamamen ayrılmıştır (Şekil 21).

KATKI BELİRTME

Çalışmanın her aşamasında katkılarını esirgemeyen Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'ndan Dr. Mustafa Murat-hanoğlu'na teşekkürü bir borç bilirim.

KAYNAKLAR

Bednar, J.B. 1983, Application of median filtering to deconvolution pulse estimation and statistical editing of seismic data, Geophysics 48, 1598-1610.

- Clearbout, J.F. and Muir, F. 1973, Robust modelling with erratic data, Geophysics 38, 826.
- Clearbout, J.F. 1976, Fundamentals of Geophysical Data Processing, Newyork, McGrawHill.
- Evans, J.R. 1981, Fortran Computer Programs For Running Median Filters and a General Despiker U.S. Geol. Surv. Open-File Rept., 81-1091.
- Evans, J.R. 1982, Running median filters and a general despiker, Bull. Seis. Soc. America 27, 331-338.
- Hardage, B.A. 1983, Vertical Seismic Profilling, Part A. Principles, Amsterdam, Geophysical Press.
- Huang, T.S., Yang, G.J. and Tang, G.Y. 1979, Fast two-dimensional median filtering algorithm, IEEE Trans. Acous., Speech Signal Processing V. ASSP-20, 1, February.
- Joyant, N.S. 1976, Avarage and median based smoothing techniques for improving digital speech quality in the presence of transmission errors, IEEE Trans. Commun. COM-24, 1043-1045.
- Rabiner, L.E., Sambur, M.R. and Schimit, C.E. 1975, Application of non-linear smoothing algorithm to speech processing, IEEE Trans. on Acoustic Speech and Signal Processing ASSP-23, 6, 552-557.
- Stewart, R.R. 1985, Median filtering: Review and a new f-k analogue design, CSEC 21, 54-63.