**2.2 Spektral Dönüşüm Teknikleri**

Faz hızının belirlenmesinde en basit analiz yöntemi, aralarında Δx mesafesi bulunan iki jeofon kaydının çapraz ilişkisinin hesaplanmasına dayanır (Guo ve Liu, 1999). Eğer f(t) ve g(t) iki jeofon tarafından kayıt edilen sismik kayıtları belirtirse, ilk adımda iki jeofon kaydının Fourier dönüşümü alınır:





iki jeofon kaydının frekans ortamındaki çapraz ilişki  (***hatırlatma***: zaman ortamı çapraz ilişki, frekans ortamında çapraz ilişki spektrumu (cross correlation spectrum), benzer şekilde, zaman ortamında özilişki, frekans ortamında güç spektrumu veya öz spektral yoğunluk fonksiyonu, autospectral density function adını alır) :



Burada Af(w) ve Ag(w) F(w) ve G(w)’nın genlik değerleridir.  ise G(w)’ nın karmaşık eşleniğini gösterir. Çapraz ilişki ’nın fazı Δφ(w), her iki spectrum fazı arasındaki farktır. Δφ(w) fazı çapraz ilişki  spektrumundan şu şekilde hesaplanabilir:



Δφ(w) fazı kullanılarak, Faz hızı, c(w) için



Bu basit yöntemin kullanımında özellikle jeofon aralığı seçimi oldukca önemlidir. Bir diğer nokta ise yöntemin yüzey dalgası temel modu ile yüksek modları ve diğer cisim fazlarını birbirinden ayırt edememesidir. Ayrıca yöntem iki jeofon kaydından daha çok sayıda jeofon kaydı analizi için uygun değildir.

Aktif veya pasif kaynaklı yüzey dalgası kayıtlarından inceleme yeri dispersiyon eğrisinin hesaplanmasında temel rolü spektral dönüşümler oynar. Uygulamalarda sıkca kullanılan dört dönüşüm yöntemi: frekans-dalgasayısı (f-k), eğim yığma (τ-p), SPAC ve faz kaydırma burada bahsedilmektedir.

**2.2.1 Frekans-Dalgasayısı (f-k) Dönüşümü**

f-k yönteminin uygulanması iki alt sayısal işlem tekniği ile yapılabilir: Frekans ortamı ışın oluşturma (frequency domain beamforming method, FDBF) (Lacoss vd., 1969) ve Yüksek ayrımlılıklı f-k yöntemi (high resolution f-k method) veya en büyük olasılık yöntemi (maximum likelihood method) (Capon, 1969). Her iki yöntem çeşitli araştırmacılar tarafından karşılaştırılmıştır. Özellikle FDBF yöntemi:

* Kolay anlaşılır olması,
* Sayısal hesaplamadaki basitliği,
* Dizilim yuvarlatma fonksiyonlarının (array smoothing function) sabit olması nedeniyle uygulanmasındaki kolaylığı,
* Yüksek modların (multi-mode) belirlenmesinde ilgi çekici bir yaklaşım sunması

nedeniyle tercih edilmektedir (Zywicki, 1999). Bu nedenle, burada frekans ortamı ışın oluşturma yöntemiyle faz hızının hesaplanması verilmiştir. FDBF yöntemi, aktif kaynakla ölçü alımında bir doğrultu boyunca belirli sayıda yerleştirilen algılayıcı (jeofon) dizilimi gerektirir. M adet jeofon kullanan bir dizilimde **x**m=(xm,ym) koordinatındaki m. jeofon tarafından kayıt edilen zaman dizisi S(**x**m,t) ile gösterilirse, jeofonlardan elde edilen zaman dizisi S(**x**,t)’ nin 2-Boyutta Fourier dönüşümü:

 (2.1)

burada w(rad/sn)=2πf açısal frekansı, k=k(kx,ky) dalgasayısını gösterir ve 1-Boyutlu dizilim durumunda skaler bir değer alır. Yönlendirme vektörü (steering vector), e(k) jeofonlar arası uzaklıklar kullanılarak hesaplanır:

 (2.2)

Dizilimde bulunan her jeofon için bir **W** ağırlık katsayısı kullanılırsa, dizilim için ağırlık dizeyi, W:

 (2.3)

Burada diag, bir dizeyin köşegen (diagonal) elemanlarını gösterir. Uygulamalarda farklı ağırlık katsayıları kullanılmakla birlikte i.ci jeofon için ağırlık katsayısı, wi:

 (2.4)

iyi bir yaklaşım sağlar (Zywicki, 1999). (2.2) ifadesiyle verilen yönlendirme vektörü uygulanmış güç spektrum dizeyi, P(k,w):

 (2.5)



(2.5) bağıntısında verilen H, bir dizeyin Hermitiyen devriğini gösterir. SSH dizeyine “Uzaysal-spektral ilişki dizeyi (Spatiospectral Correlation Matrix)” denir ve SSH dizeyi:

**HATIRLATMA**

*Karmaşık eşlenik:*

z=a+ib gibi bir karmaşık sayının eşleniği dir. A[aij] matrisin karmaşık eşleniği, matrisin her bir elemanı aij’ nin eşleniğiyle yerdeğiştirilerek,  elde edilir.

*Hermitiyen Matris:*

Bir A kare matrisi karmaşık eşleniğine eşit ise(A=AH), A=[aij] matrisine “Hermitiyen matris” denir. A matrisinin elemanları arasında  dır. Hermitiyen matrisin köşegen (diagonal) elemanları, aii gerçel sayı iken diğerleri karmaşık olabilir.

*Eşlenik devrik:*

MxN boyutundaki bir A matrisin karmaşık devriği (transpose) NxM boyuntunda ve AH=A-T dır. Burada AT, A matrisinin devriğini ve  eşlenik matrisi gösterir. Eşlenik ve devrik işlemi arasında  değişme özelliği vardır.

 (2.6)

ile verilir. (2.6) ifadesindeki Yij(w) terimleri sırasıyla i. ve j. jeofonların çapraz güç spektrumlarını gösterir:

 (2.7)

Burada \* karmaşık eşlenik operatörünü gösterir. Uygulamalarda çapraz güç spektrumundaki varyansı azaltmak için sinyaller veri bloklarına ayrılır ve tüm veri bloklarının ortalaması alınarak çapraz güç spektrumu hesaplanır:

 (2.8)

(2.8) ifadesinde B, ortalamaya katılan blok sayısını gösterir. Ortalama çapraz güç spektrumundan oluşturulan dizeyin asal köşegen (diagonal) elemanları (i=j), her bir jeofon kaydının özgüç spektrumunu ve diğer elemanlar ise her bir jeofon çifti (i≠j) arasındaki çapraz güç spektrumu gösterir. (2.5) ifadesiyle verilen P(k,w) spektral dizeyindeki her bir w frekansı ve dalgasayısı, k’ ya karşılık gelen bir maksimum genlik değeri elde edilir. Her bir  çifti dizilim boyunca yayılan Rayleigh dalgasının etkin moddaki (temel kipteki) frekans ve dalgasayısıdır. (f,k) güç spektrumunda her bir maksimum genliğe karşılık gelen fi frekansı ve kimax dalgasayısı belirlenerek, Rayleigh dalgası faz hızı:

 (2.9)

bağıntısından hesaplanır. f-k spektrumunda temel mod dışında diğer modlar’da seçilebilir. Bunun için P(k,w) spektral dizeyinde her bir f frekansı için 2, 3, .... maksimum değerlere karşılık gelen dalgasayıları seçilerek (2.19) ifadesi uygulanır.