

6. KATI MADDE ÖLÇÜMLERİ

6.1. GİRİŞ

Sediment taşınımı ile ilgili bilgilere, ya yukarıda verilen denklemlerle, veya direkt olarak arazide yapılan ölçümlerle ulaşmak mümkündür. Ancak, Bölüm 3.7.1’de de ifade edildiği gibi bu eşitlik ve formüller genellikle sadece çıkarıldıkları şartlarda veya bunlara benzer şartlarda gerçeğe yakın sonuç verirken, farklı akım ve katı madde şartlarında bulunan sonuçlar oldukça hatalı olmaktadır. Bu sebeple, en iyi yöntem taşınım miktarının arazide ölçülmesidir. Katı madde taşınımı ölçümleri çok önemli olmalarına karşın, bu ölçümlerin gerçekleştirilmeleri oldukça zor ve vakit alıcıdır. Bu maksatla kullanılan yöntemler, direkt ve dolaylı yöntemler şeklinde iki ana gruba ayrılır. Sürüntü (taban) malzemesi debisinin ölçümünde kullanılan direkt yöntemlerde, bir kesitten belirli bir zamanda geçen malzeme miktarı ölçülür. Askı malzemesi debisinin ölçümünde kullanılan dolaylı yöntemlerde ise, sediment konsantrasyonu, kesit alanı ve hız ölçümleri gerekir.

6.2. ASKI MALZEMESİ MİKTARININ ÖLÇÜMÜ

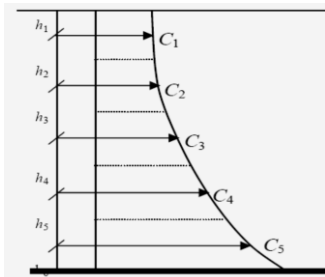
6.2.1. Sediment Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Sediment konsantrasyonu, yatay ve düşey bir dağılım gösterir (Şekil 6.1). Konsantrasyon değeri bir düşey kesitte tabanda maksimum, su yüzeyinde minimumdur; benzer şekilde enkesit boyunca kenarlardan ortaya gittikçe konsantrasyon artar. Bu sebeple, akarsu enkesiti kesit boyunca birkaç düşey kesitte konsantrasyon değerleri ölçülmelidir. Bir düşeydeki farklı derinliklerde ölçülen konsantrasyon değerleri belirlendikten sonra bu düşey kesitin ortalama konsantrasyonu şöyle bulunur:

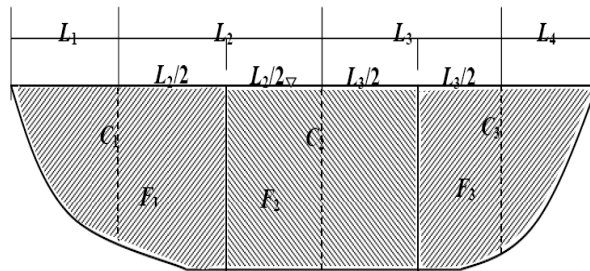
$$C = \frac{C_1 \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right) + C_2 \left(\frac{h_2 + h_3}{2} \right) + C_3 \left(\frac{h_3 + h_4}{2} \right) + C_4 \left(\frac{h_4 + h_5}{2} \right) + C_5 \left(\frac{h_5}{2} + h_6 \right)}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5} \quad (6.1a)$$

Tüm kesitin konsantrasyonu ise, düşey kesitlerdeki ortalama konsantrasyonlar ile bunların temsil ettikleri alanlar dikkate alınarak ağırlıklı ortalama şöyle belirlenir:

$$C = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + C_3 A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \quad (6.1b)$$



a. Düşey Dağılım

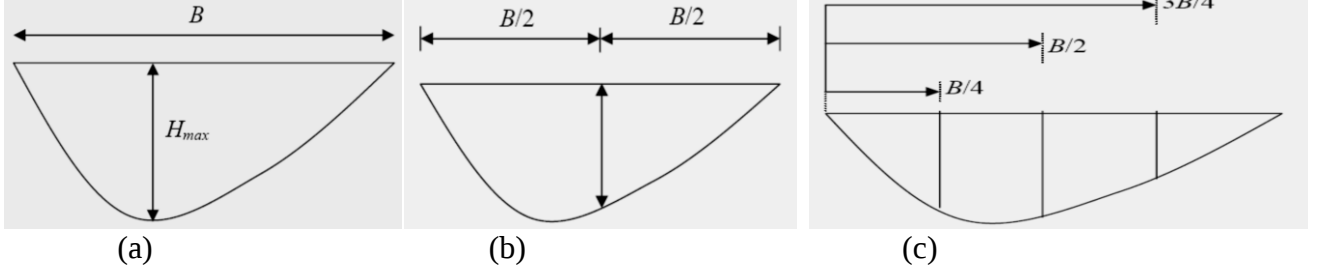


b. Enkesit Boyunca Hesap

Şekil 6.1. Konsantrasyon Hesabı

6.2.2. Düşey Kesitlerin Yeri ve Sayısı

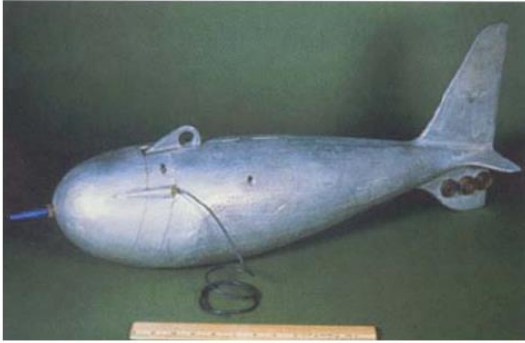
Bir enkesit boyunca kaç düşey kesitten konsantrasyon alınacağı, hesapların hassasiyeti açısından önemlidir. Bu maksatla uygulanan yöntemler şunlardır (Şekil 3.14): Küçük akarsularda, en düşük taban kotu olan kesitten (a) veya kesitin ortasından (b) ölçüm alınması yeterli olabilmekle beraber bu yöntemlerin hassasiyetleri azdır. Bu sebeple, kesiti 4 parçaya bölüp 1/3 kesit düşeylerinden ölçüm yapılması daha uygundur (c).



Şekil 6.2. Düşey Kesitlerin Yeri ve Sayısı

6.2.3. Ölçüm Yöntemleri

Bir düşeyde nümune almak için, noktasal ve derinlik boyunca olmak üzere iki yöntem kullanılır. Noktasal yöntemde, derinlik boyunca eşit aralıklı 6-8 noktadan konsantrasyon ölçümü yapılır. Derinlik boyunca nümune almada ise, nümune alıcı sabit bir hızla tabana indirilip oradan su yüzeyine çıkarılır. Hareket hızı, aşağı ve yukarı harekette nümune kabının dolacağı şekilde ayarlanır. Her iki yöntemde de nümune kabı kurutularak katı madde miktarı tartılır ve $1\text{ppm}=\text{mg/l}$ şeklinde konsantrasyon hesaplanır. Noktasal (Şekil 6.2a) ve derinlik boyunca (Şekil 6.2b) nümune alma cihazları farklıdır.



a. Noktasal



b. Derinlik Boyunca

Şekil 6.2. Askı Malzemesi Nümune Alma Cihazları

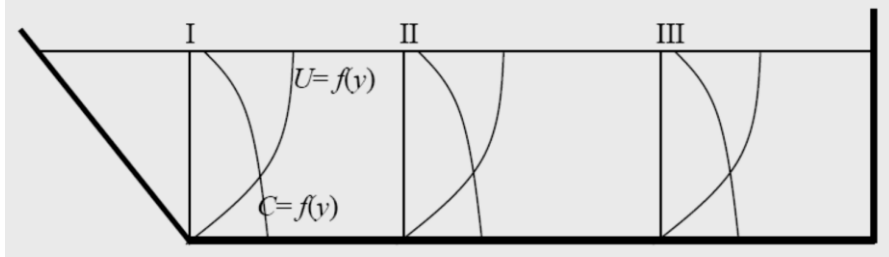
Ortalama veya düşük seviyelerde fazla katı madde taşınmadığından, haftada 1 kere ölçüm alınması yeterlidir. Ancak, taşkın zamanlarında sediment taşınımı çok fazla olduğundan ve konsantrasyon değerleri hızlı bir şekilde değiştiğinden, daha sık aralıklarla (birkaç saatte bir) ölçüm yapılması tavsiye edilmektedir.

6.2.4. Sediment Miktarının Belirlenmesi

Arazi ölçümleri yardımıyla sediment miktarının hesaplanması için genellikle grafiksel integrasyon yöntemi uygulanır. Bu yöntemde, enkesit içinde seçilen düşey kesitlerdeki hız ve konsantrasyon dağılımlarının arazide ölçülmesi gerekir; sediment hesabı noktasal ve derinlik boyunca ölçüm yöntemlerine göre şöyle yapılır: Noktasal ölçüm yönteminde, her noktadaki birim sediment miktarı, noktasal konsantrasyon değerleri ile noktasal hızların çarpımıyla ($C_i \cdot U_i$) ve bu değerlerin derinlik boyunca integrasyonu ile elde edilir:

$$q_i = \int_{y=a}^h C_i U_i dy \quad (6.2)$$

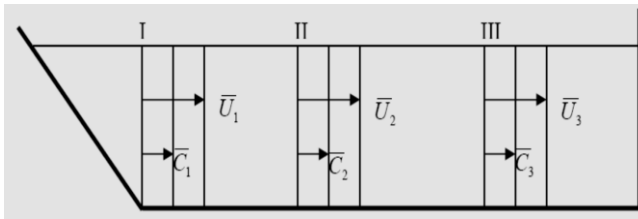
Bu hesabı yapabilmek için C ve U değerlerinin analitik olarak bilinmesi gerekir ki bunların elde edilmesi zordur. Bunun yerine, sediment ölçümü yapılan derinliklerdeki hızlar ölçülerek $C_i \cdot U_i$ değerleri hesaplanıp grafikleri çizilir, bu eğriler arasındaki alanlar birim kanal genişliği için sediment miktarını verir (Şekil 6.3). Kesitteki toplam taşınım debisi ise, her bir düşeydeki debiler kesit boyunca integre edilerek bulunur.



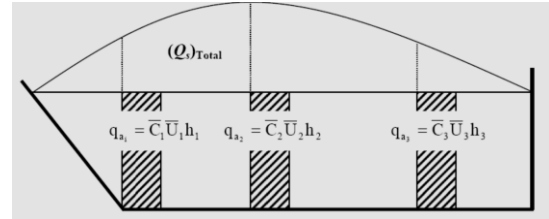
Şekil 6.3. Noktasal Ölçüm Yönteminde Debi Hesabı

Sediment ölçümlerinin derinlik boyunca integrasyonu yönteminde ise, noktasal hız ve konsantrasyon değerleri yerine bir düşeydeki ortalama değerler kullanılarak birim genişlikteki debi şöyle bulunur (Şekil 6.4a, Denklem 6.3). Kesitteki toplam taşınım debisi ise, her bir düşeydeki debiler kesit boyunca integre edilerek bulunur (Şekil 6.4b).

$$q_i = \bar{C}_i \bar{U}_i \quad (6.3)$$



a. Bir Düşeydeki Ortalamalar

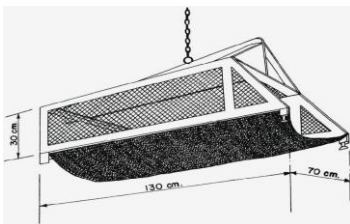


b. Kesit Boyunca Toplam Debi

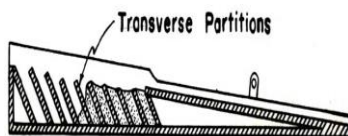
Şekil 6.4. Derinlik İntegrasyonu Ölçüm Yönteminde Debi Hesabı

6.3. SÜRÜNTÜ (TABAN) MALZEMESİ MİKTARININ ÖLÇÜMÜ

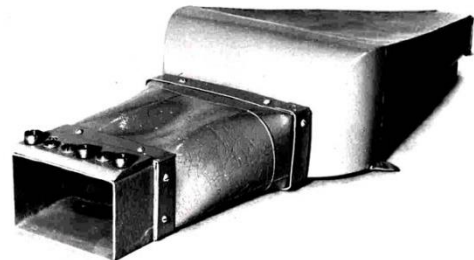
Akarsu tabanında veya taban yakınlarında kayarak, yuvarlanarak veya zıplayarak hareket eden taban malzemesinin ölçümü direkt olarak tabandan alınan nümunenin tartılmasıyla yapılır. Bu maksatla kullanılan cihazlar; sepet tipi, tava tipi ve basınç farkı tipi olmak üzere üçe ayrılır. Sepet tipi nümune ölçüm cihazı, esas itibarıyla elek türü (ızgaralı) bir kutu veya sepetten oluşur (Şekil 6.5a). Cihaz memba tarafı, malzeme girişi için açık tutularak akarsu tabanına yerleştirilir. Tava tipi cihaz, malzemeyi tutmak için yapılan bölmelerden (yiv) meydana gelir (Şekil 6.5b). Her iki cihazda da giriş kısmında akışa müdahale edildiğinden bu kesitteki hız ve dolayısıyla basınç değiştiğinden tabii akım şartları bozulur; sonuç olarak ölçüm değerleri gerçek taşınım miktarından farklı olmaktadır. Bu sebeple cihazlar kalibre edilmelidir. Bu sakıncayı azaltmak için basınç farkı tipinde cihaz kullanılır (Şekil 6.5c). Bu tip nümune cihazı, özellikle kumlu tabanlarda etkilidir.



a. Basket



b. Tava



c. Basınç Farklı

Şekil 6.5. Taban Malzemesi Ölçüm Cihazı Tipleri

6.4. TÜRKİYE’DE SEDİMENT ÖLÇÜMLERİ

Türkiye’de askıdaki malzeme sediment ölçümleri DSİ ve EİE tarafından yapılmakta olup, özellikle EİE’nin ölçüm ağı daha yaygın ve ölçüm süreleri daha uzundur. Taban malzemesi ölçümleri ise sistematik olarak yapılmamaktadır. Bunun sebebi, hem bu malzemenin ölçümünün çok zor olması, hem de ölçüm sonuçlarının hassasiyetinin az olmasıdır. EİE Genel Müdürlüğünde süspanse (askıdaki) sediment ölçümü yapılmakta ve bu ölçüm sonuçları değerlendirilerek yıllık olarak yayınlanmaktadır.

EİE Genel Müdürlüğü tarafından, Hidrometrik Gözlem İstasyonlarında düzenli olarak yapılmakta olan seviye ve akım ölçümleri yanında, nehrin değişik seviyelerinden o andaki nehir kesitinden geçen debiyi temsil edecek şekilde, süspanse (askıda) sediment örnekleri derinlik entegrasyon yöntemine göre alınmaktadır. Nehir yatağına girilerek akım ölçüsü yapılan sularda US.DH-48, askıdan (teleferik, kren kullanarak) akım ölçüsü yapılan sularda ise US.D-49 süspanse sediment örnek alma aletleri kullanılmaktadır. Alınan süspanse sediment örnekleri (su+sediment) analizleri için laboratuara gönderilir. Laboratuarda toplanan örnekler filtrasyon yöntemi uygulanarak, içindeki sediment miktarları tespit edilir ve sediment konsantrasyonu ppm veya mg/l cinsinden bulunur. Daha sonra laboratuarda elde edilen net sedimente elek analizi yöntemi uygulanmaktadır. Bunun için net sediment 0.0625 mm çaplı eleklerden geçirilmekte, eleğin üstünde kalan kısmının ağırlığı kum ağırlığı, alta geçen kısmının ağırlığı ise (kil+silt) ağırlığı olarak alınmaktadır. SGI’larının ortalama süspanse sediment dane büyüklük dağılımları bulunurken, istasyondaki gözlem süresi boyunca bulunan bütün örneklerin, analiz edilen kum ağırlıkları ve (kil+silt) ağırlıkları ayrı ayrı toplanmaktadır. Bulunan toplam kum ağırlığının toplam net sediment (kum+kil+silt) ağırlığına göre yüzdesi alınmaktadır. Böylece örneklerin % kum, kil ve silt içerikleri belirlenir. Bulunan bu yüzdelere de daha sonra rezervuarın işletme durumu da göz önüne alınarak sediment birim hacim ağırlığı (ton/m³) cinsinden elde edilir. Örneklerin alındığı anda ölçülen akım Q (m³/sn) ile olarak hesaplanan günlük sediment miktarı Q_s (ton/gün) arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır:

$$Q_s = aQ^b \quad (6.4)$$

Eşitlikteki a ve b akarsu istasyonunun özelliklerine göre değişen katsayılarıdır. Bu denklemin elde edilmesinde hesaplanan günlük sediment miktarları (ton/gün) ordinat (y) ekseninde bağımlı değişken olarak, örnek alındığı anda ölçülen akım (m³/sn) değerleri ise apsis (x) ekseninde bağımsız değişken olarak alınmaktadır. Mesela 2248 Değirmendere-Öğütlü SGI için a=0.74 ve b=1.72 şeklinde hesaplanmıştır. Daha sonra Sediment Anahtar Eğrisi elde edilen istasyon yerleri için, akım yıllıklarında yayınlanmış olan günlük akımlar Sediment Anahtar Eğrisinde bulunan eşitlikte bağımsız değişken olarak Q yerine girilerek bu akımlara karşılık gelen tahmini günlük sediment miktarları Q_s (ton/gün) olarak elde edilmektedir. Bulunan bu günlük sediment miktarları kendi aralarında toplanarak, aylık ve yıllık toplam sediment miktarları bulunur. Her yıl için ayrı ayrı bulunmuş olan sediment miktarları tekrar toplanmakta ve bu toplam değerlendirilen toplam yıl sayısına bölünmektedir. Böylece o istasyon yeri için uzun yıllık ortalama süspanse sediment miktarı (ton/yıl) elde edilmektedir. Elde edilen bu değerlerde daha sonra istasyonun net yağış alanına bölünerek SGI’nun bulunduğu havzanın birim alanından gelen ortalama sediment miktarı başka bir deyişle istasyonun uzun yıllık ortalama sediment verimi (ton/yıl/km²) bulunmaktadır. Türkiye genelinde 26 hidrolojik havzadaki 114 SGI’da yapılan uzun süreli ölçümlerin sonuçlarına göre, havza alanı (A, km²) ile yıllık sediment miktarı (Q_s, ton/yıl) arasında şu eşitlik elde edilmiştir:

$$Q_s = 6.21A^{1.36} \quad (6.5)$$

Yıllıkta verilen sediment miktarları süspanse sediment miktarlarıdır. Toplam sediment miktarını bulmak için, bu miktarlara yatak yükünü de ilave etmek gerekir. Uygulamada akarsuyun özelliklerine göre süspanse sediment miktarının % 10-50 si arasındaki bir değer, yatak yükü olarak eklenmektedir. Genellikle eğimin az olduğu düz arazilerde %25, eğimin fazla olduğu dağlık arazilerde %50 olarak alınmaktadır. Daha sonra ton/yıl olarak bulunan toplam sediment miktarı sediment birim hacim ağırlığına (ton/m³) bölünerek, sedimentin rezervuarda kaplayacağı hacim (m³) olarak bulunur.