

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NEHİR VE REZERVUAR SEDİMENTASYONU VE
HEC-6 MODELİ**

**Y.Ü. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
SEDİMENTASYON MERKEZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Murat Barış MANDEV

(501980120011)

103888

10 3999

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Haziran 2001

Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Haziran 2001

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Emin SAVCI

Diğer Juri Üyeleri : Prof. Dr. Zekâî ŞEN

Prof. Dr. Sabahattin ÜÇ(Y.T.Ü)

HAZİRAN 2001

ÖNSÖZ

Havza ve rezervuarlara taşınan sediment hacminin tahmini hakkında günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ise, bugüne kadar sıkça kullanılan bu analitik metodlar yanında, çok daha kısa sürede ve daha sağlıklı sonuçlar verdiğine inanılan bir sayısal modelin tanıtılmasına çalışılmıştır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kullanımı hızla yaygınlaşan bu modelin ülkemizde henüz tanınmaması konunun seçiminde etkili olmuştur.

Değerli fikirleri, tecrübesi ve sonsuz hoşgörüsü ile bu çalışmanın ortaya çıkmasını sağlayan saygıdeğer hocam Prof.Dr. M.Emin SAVCI'ya ne kadar teşekkür etsem azdır.

Kişisel katkıları yanında, engin deneyim ve geniş çevreleri ile konu ile ilgili en güncel bilgi ve kişilere ulaşmamı sağlayan eski öğretim görevlisi Sn.Yaşar KUTOĞLU ve "Su-Yapı Müh.Müş.A.Ş"nin değerli çalışanlarına; yardımlarını esirgemeyen DSİ Etüd-Plan Dairesi 1.Planlama Müdürü Sn.Fayik TURAN'a, 2.Planlama Müdüresi Sn.Fatma ADIGÜZEL'e ve Sn.Hamza ÖZGÜLER'e, EİE Sediment Etütleri Şubesi Müdürü Sn.Adil ALIŞIK'a, Zir.Yük.Müh. Sn.Ekrem YALÇIN'a, Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Müdürü Doç.Dr. Sn.Orhan DOĞAN'a, adı geçen model ile ilgili uzun süreler çalışmış ve halen ABD'de bir özel inşaat firmasında çalışmakta olan Sn.Kaan TUNÇOK'a; yaptığı çevirilerle değerli yabancı eserleri bu çalışmaya ve literatürümüze kazandıran Sn.Ülker ERKAN'a ve çalışmanın şekillenmesini sağlayan Sn.Emine KALAYCI'ya da sonsuz şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarına başladığımdan bugüne kadar maddi-manevi desteklerini esirgemeyen Hidrolik Anabilim Dalı Araş.Gör. Sn.Abdüsselam ALTUNKAYNAK, İnş.Müh. Mehmet ÖZGER ve pektabii varlıkları ile en büyük motivasyon gücüm olan ailem de en az yukarıdaki insanlar kadar bu çalışmada pay sahibidir. Minnet ve şükranlarımla.

Haziran 2001

İnş.Müh. Murat Barış MANDEV

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ VE GENEL BİLGİLER	1
1.1 Rezervuar Sedimentasyonunun Önemi	2
1.1.1 Rezervuar sedimentasyonu nedir?	2
1.1.2 Rezervuar sedimentasyonunun Türkiye için önemi	3
1.1.3 Rezervuar sedimentasyonunun dünyadaki önemi	4
2. TEORİ VE TEMEL BİLGİLER	5
2.1 Sediment Özellikleri	5
2.1.1 Sedimentin oluşumu ve kaynağı	5
2.1.2 Sediment taneciklerinin temel özellikleri	6
2.1.2.1 Boyut	6
2.1.2.2 Şekil	7
2.1.2.3 Çökelme hızı	8
2.1.2.4 Özgül yoğunluk	10
2.1.2.5 İç sürtünme açısı	11
2.1.3 Nehir erozyonu hidroliği	11
2.1.3.1 Yatak yükü	12
2.1.3.2 Asılı yük	13
2.1.3.3 Yıkama yükü	13
2.1.3.4 Toplam yük	14
2.1.4 Nehir ve rezervuar sedimentasyonu	14
2.2 Rezervuar Sedimentasyonu Hesap Yöntemleri	15
2.3 Türkiye'deki Çalışmalar Ve Uygulamalar	17
3. ÖLÜ HACİM HESAPLAMA	19
3.1 Ölü Hacim Ve Baraj Tasarımı	19
3.1.1 Ölü hacim tahmini ve önemi	19
3.1.2 Ölü hacim ve rezervuar işletmesi	20
3.2 Ölü Hacim Hesaplama Metodları	21

3.2.1	Sediment yığılma prensip ve şekilleri	21
3.2.2	Akarsu haznelerinde katı madde çökmesi ve delta oluşumu	23
3.3	Sediment Hacim Tabloları	24
3.3.1	Kot alan eğrisi metodu	24
3.3.2	Geliştirilmiş prizmodial metod	25
3.3.3	Ortalama sonlu alan metodu	26
3.3.4	Simpson metodu	27
3.3.5	Eakin metodu	27
3.3.6	Enkesit alanları ve baraja uzaklığa dayanan formül	28
3.3.7	Üniversal metod	28
3.4	Rezervuar Tuzaklama Verimi	29
4.	HEC-6 MODELİ	30
4.1	Modelin Amacı Ve Felsefesi	30
4.2	HEC-6 Uygulamaları	31
4.3	HEC-6 Özellikleri	32
4.3.1	Geometri	32
4.3.2	Hidrolik	32
4.3.3	Sediment	33
4.3.4	Genel	34
4.4	Kabul Edilen Teorik Değerler Ve Teknik Sınırlamalar	35
4.5	Taşkın Olaylarının Ayır Ayrı Analizi	36
5.	HEC-6 SEDİMENT HESAPLARI İÇİN TEORİK DAYANAK	37
5.1	Sediment Maddesinin Sürekliliği İle İlgili Eşitlik	37
5.1.1	Kontrol hacmi	37
5.1.2	Kontrol hacmi kavramları	39
5.1.3	Exner eşitliği	40
5.1.4	Yatak gradasyonu hesaplarının yinelenmesi	43
5.2	Hareketli Ve Hareketsiz Katların Saptanması	43
5.2.1	Denge derinliği	44
5.3	Yatak Malzemesinin Hidrolik Sınıflandırılması-Metod 1	45
5.3.1	Hareketli tabakanın erozyon derinliğine etkisi	49
5.3.2	Hareketli tabakanın bileşimi	50
5.3.3	Hareketli tabakanın doluluk oranı	50
5.3.4	Koruyucu tabakanın taşıyım kapasitesine etkisi	52
5.3.5	Metod 1 ile ilgili bazı sınırlamalar	53

5.4 Yatak Malzemesinin Hidrolik Sınıflandırılması-Metod 2	53
5.4.1 Yüzey altı tabakası	57
5.4.2 Karakteristik sediment hareket alanı	57
5.4.3 Karakteristik çökelme oranı	58
5.4.4 Metod 2 ile ilgili bazı sınırlamalar	58
5.5 Yatak Kotunda Değişiklik	59
5.5.1 Sert yatak tabanı	60
6. HEC-6 GENEL GİRDİ İHTİYACI	61
6.1 Genel	61
6.2 Geometrik Veriler	61
6.2.1 Enkesitler	61
6.2.2 Manning'in n değerleri	62
6.2.3 Hareketli yatak	63
6.2.4 Tarama	64
6.2.5 Köprüler	64
6.2.6 Etkisiz akım alanı	64
6.2.7 İletim Limitleri	66
6.3 Sediment Verileri	67
6.3.1 Nehir sistemine giren sediment yükü	67
6.3.2 Akarsu yatağında sediment malzemesi	68
6.3.3 Sedimentin özellikleri	69
6.3.4 Sedimentin taşınımı	70
6.3.4.1 Kil ve silt taşınımı	70
6.3.4.2 Kum ve çakıl taşınımı	70
6.4 Hidrolojik Veriler	72
6.4.1 Akım süresi	72
6.4.2 Sınır koşulları	73
6.4.2.1 Memba sınır koşulları	73
6.4.2.2 Mansap sınır koşulları	73
6.4.2.3 İç sınır koşulları	74
6.4.2.4 Geçirimli sınır koşulu	75
6.4.3 Hidrolojik girdi örneği	75
6.5 Özel Komut Kayıtları	76
6.6 Şebeke Modeli	76
6.6.1 Nehir kesimlerinin numaralandırılması	78
6.6.2 Ana akarsu ve yan kolları enkesit veri kümeleri	80
6.6.3 Sediment verileri	80
6.6.4 Hidrolojik veriler	80

6.6.5	Veri kayıt sırası	81
6.6.6	Şebeke sistemleri hesaplama ardalaması	81
6.6.6.1	Şebeke sistemleri hidrolik hesapları	81
6.6.6.2	Sediment hesapları	82
6.7	Diğer Seçeneklerle İlgili Girdi İhtiyacı	82
6.7.1	Sabit yatak hesapları	82
6.7.2	Çoklu sabit yatak işlemleri	83
6.7.3	Birikim Sonucu Enkesitin Şekli	83
6.7.4	Çöğalan hacim hesapları	84
7.	ÖRNEK PROBLEMLER	85
7.1	Örnek Problem 1- Hareketsiz Yatak Uygulaması	85
7.1.1	Girdi veriler	86
7.1.2	Çıktı	87
7.2	Örnek Problem 2-Hareketli Yatak	88
7.2.1	Hareketli yatak sınırları	88
7.2.2	Sediment başlık kayıtları	89
7.2.3	Sediment taşınım kontrolü parametreleri	89
7.2.4	Nehir sistemine giren sediment yükleri	89
7.2.5	Yatak malzemesi gradasyonu(sınıflandırması)	90
7.2.6	Akım verileri	90
7.3	Örnek Problem 3-Rezervuarlar	91
7.3.1	Rezervuar verileri	91
7.3.2	Kot-yüzölçümü ve kot-depolama hacmi tabloları	91
7.3.3	Sediment tutma etkisi	92
8.	SONUÇ	93
8.1	Model Performansının Teyidi	93
8.1.1	Genel	93
8.1.2	Doğrulama işlemi	93
8.2	Bilgisayar Ortamında Hesaplama İle İlgili Görüşler	94
8.3	Sonuçların Yorumlanması	94
KAYNAKLAR		96
ÖZGEÇMİŞ		100
EK-1		Disket

KISALTMALAR

HEC	: Hydrologic Engineering Center
DSİ	: Devlet Su İşleri
EİE	: Elektrik İşleri Etüt
NC	: Manning'in n değerleri
NV	: Çeşitli n değerleri
X1	: En kesitin yeri
GR	: En kesitin koordinatları
H	: Hareketli yatak limitleri
\$TRIB	: Tributary inflow point
\$LOCAL	: Local inflow
PF	: Percent Finer
CP	: Control Point
\$HYD	: Hydrologic Data
T	: Su ısısı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Başlıca sediment sınıfları.....	7
(ABD Toprak Sınıflandırma Bürosu'na göre)	



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1.	: Baraj haznesinde çökelti profili.....	23
Şekil 5.1.	: Yatak malzemesi kontrol hacmi.....	39
Şekil 5.2.	: Akarsu yatağında sediment malzemesi.....	41
Şekil 5.3.	: Hesaplama ağı.....	42
Şekil 5.4.	: Yüzey alanına sahip yatak malzemesinin bir kolonu.....	47
Şekil 5.5.	: Denge derinliği koşulları.....	49
Şekil 5.6.	: Tane duyarlılığı olasılığı.....	52
Şekil 5.7.	: Zaman aşamasının başlangıcında tane duyarlılığı.....	55
Şekil 5.8.	: Ara mübadele artımında yatak tabakaları.....	56
Şekil 5.9.	: Zaman aşamasının sonunda yatak tabakaları.....	56
Şekil 5.10.	: Örtü tabakası incelendiğinde yatak tabakasının değişimi.....	58
Şekil 5.11.	: Çökelme sonucu enkesitin şekli.....	60
Şekil 5.12.	: Erozyon sonucu enkesitin şekli.....	61
Şekil 6.1.	: Enkesit altkesitleri.....	63
Şekil 6.2.	: Akarsu yatağında sediment malzemeleri.....	64
Şekil 6.3.	: Etkisiz alan örnekleri, metod 1.....	66
Şekil 6.4.	: Etkisiz alan örnekleri, metod 2.....	66
Şekil 6.5.	: Etkisiz alan örnekleri, metod 3.....	67
Şekil 6.6.	: Doğal sedde oluşumu sonucu etkisiz alanlar.....	67
Şekil 6.7.	: Yatak sedimenti kontrol hacmi.....	70
Şekil 6.8.	: Bir hesaplama hidrografi.....	73
Şekil 6.9.	: Akarsu numaralama sistemi örneği.....	80
Şekil 6.10.	: Düzenli birikim.....	84
Şekil 6.11.	: Düzensiz birikim.....	85
Şekil 7.1.	: Örnek nehir sisteminin sistematığı.....	87

SEMBOL LİSTESİ

ρ_f	: Akışkan yoğunluğu
w_0	: Taneciğin çökelme hızı
d	: Tanecik çapı
μ	: Akışkan vizkozitesi
F	: Taneciğe etkiyen direnç kuvveti
A	: Taneciğin izdüşüm alanı
C_D	: Direnç kuvveti katsayısı
Φ	: İç sürtünme açısı
K	: 0.92 değeri
d	: İnch cinsinden ortalama tanecik çapı
S	: Taneciğin su içindeki özgül ağırlığını
Q_s	: Sediment yükü
Q_w	: Akışın debisi
c'	: Akışın sediment konsantrasyonu

NEHİR VE REZERVUAR SEDİMENTASYONU VE HEC-6 MODELİ

ÖZET

Türkiye akarsu ve havza sayısı bakımından zengin doğal kaynaklara sahip bir ülkedir. Ülkemizde su ayırım hatları ile birbirinden ayrılmış 26 havza bulunmaktadır. 2001 itibari ile ülkemizin aktif durumdaki barajlarının sayısı 203 tür. DSİ tarafından yapılan çalışmalar toplam 702 baraj sayısına ulaşmanın mümkün olduğunu göstermektedir.

Nehirlerdeki sediment taşınımı, yapılan tesislerin ekonomik ömrünü azaltır. Yeni barajlar inşa etmenin yanında günümüzde aktif olan barajların korunması da büyük önem taşımaktadır.

Sediment ile dolmuş bir rezervuarın tekrar kazanılması genellikle mümkün olmadığından sedimentasyon tahmin ve önleme yollarına gidilmiş ve bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada bugüne kadar sıkça kullanılan analitik metodlar yanında, çok daha kısa sürede ve daha sağlıklı bilgiler verdiğine inanılan Amerikan Hidroloji Mühendisliği Merkezi(HEC) tarafından hazırlanan HEC-6 sayısal modeli üzerinde çalışılmıştır.

Çalışma altı ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde nehir ve rezervuar sedimentasyonu ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra, konunun Türkiye ve dünya için önemine değinilmiştir.

İkinci bölümde sediment taşınımı ile ilgili gerekli teori ve temel bilgiler verilerek, rezervuar sedimentasyonu analitik hesap yöntemleri olan “minimum birim akış gücü” ve “alan eksiltme metodu” hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm, konu ile ilgili Türkiye’de yapılmış çalışmalarla tamamlanmıştır.

Bir baraj tasarımında en önemli projelendirme kriterlerinden olan ve taşınacak sediment maddesi ile dolacağı tahmin edilen ölü hacimi hesaplama metodları üçüncü bölümde konu edilmiştir.

Dördüncü bölümde, hareketli-sınırlı açık kanal akımı sayısal metodu olan HEC-6; uygulama alanları, özellikleri ve veri ihtiyaçlarıyla tanıtılmaya çalışılmıştır.

HEC-6 modelinin anlaşılabilmesi ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi için bilinmesi gerekli teorik dayanak ve ayrıntıları beşinci bölüm içinde yer almıştır.

Altıncı bölümde HEC-6 modelinin bilgisayar ortamında uygulanabilmesi için gerekli olan veri ihtiyaçları ayrıntılı bir şekilde tanımlanmış, dikkat edilmesi gereken konular hakkında açıklamalar yapılmıştır.

Model ile ilgili pratik örneklere yedinci bölümde değinilmiş, girdi ve çıktı özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Sekizinci ve son bölümde ise modelin performansı değerlendirilmiştir.



SEDIMENTATION IN RIVERS AND RESERVOIRS AND HEC-6 MODEL

SUMMARY

Turkey is rich with natural resources, considering the number of streams and basins in the country where there are 26 basins divided by water sources. As of 2001, the number of active dams is 203. DSI studies indicate that this number can reach total 702 dams.

Sediment transportation in rivers reduces the economical lifetime of the dams. Therefore, apart from construction of new dams, protection of existing active dams against sedimentation is of utmost importance.

Since it is usually not possible to recover a dam reservoir that is greatly affected by sedimentation, means for sedimentation prediction and reduction have been sought and numerous studies providing guidance to the solution of this problem have been conducted.

In this study, along with frequently used analytical methods, the HEC-6 numerical model, which is developed by the American Hydrology Engineering Center (HEC) and which proved to give more reliable data in a relatively shorter time, is studied.

The study consists of six sections. The first section includes general information on sedimentation in rivers and reservoirs and refers to its importance at both national and international levels.

The second section addresses to theoretical and basic data on sediment transportation as well as “minimum unit tractive force” and “area reduction” methods, which are analytic calculation methods, used for sedimentation in reservoirs.

Calculation methods for inactive storage capacity, which is one of the basic design criteria used in dam design and which is expected to be filled up by the transported sediment material, are studied in the third section.

An attempt is made in the forth section to introduce HEC-6, which is the numerical method for mobile-boundary open channel flow and to define its characteristics data requirement and where it is used.

The fifth section defines the theoretical basis and details necessary for better understanding and efficient use of HEC-6

The sixth section details the data requirement for computerized use of HEC-6, emphasizing the points that need special attention.

The seventh section includes some basic HEC-6 examples and it's data and outputs.

The eighth and last part of study includes confirmations of model performance.

1. GİRİŞ VE GENEL BİLGİLER

Çağımızın yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi olan hidrolik potansiyelden yararlanma oranı, ülkelerin sanayileşmelerinin bir göstergesi haline gelmiştir. Nitekim günümüzde, gelişmiş ülkeler sahip oldukları hidrolik potansiyelin tamamına yakınından yararlanmalarına karşı, dünya hidrolik potansiyelinin yaklaşık % 80'lik bölümüne sahip gelişme yolundaki ülkelerde bu potansiyelden yararlanma oranı yaklaşık % 25-30 civarındadır. Bu nedenle, hidrolik potansiyelden yararlanma çalışmalarının gelecekte gelişmekte olan ülkelerde yoğunluk kazanacağı kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan ülkemizde de, hidrolik potansiyelden yararlanma oranı yukarıdaki durumdan farklı değildir. Üstelik ülkemiz hidrolik kaynaklı enerji potansiyeli açısından incelendiğinde, 1999 yılı sonu itibariyle mevcut potansiyelin % 32'lik kısmı işletmeye alınmış olup, geriye kalan kısmı ise henüz enerji amaçlı olarak kullanılmamaktadır.

Dolayısıyla sosyo-ekonomik gelişmelere paralel bir şekilde artacak olan enerji talebi doğrultusunda hidrolik potansiyelden yararlanma çalışmaları ülkemizde de yoğunluk kazanacaktır. Bilindiği gibi, akarsularımız üzerinde bir yandan halkımızın içme ve kullanma, tarım ve endüstrinin su ihtiyaçlarını karşılamak, diğer yünden enerji üretimi ve taşkın kontrolü gibi çok çeşitli amaçlarla barajlar yapılmaktadır. Hangi amaca yönelik olursa olsun, sedimentasyon bilgisinin azlığından dolayı bu yapıların göllerini besleyen akarsuların getirdiği toprak, kum, silt, kil ve çakıl gibi katı maddeler baraj göllerini doldurmakta, depolama kapasitelerini azaltmakta ve bunun sonucu olarak barajların ekonomik ömürleri kısalmaktadır. Bu konu, Türkiye gibi yarı kurak bir iklimin egemen olduğu ve bununla birlikte karmaşık bir topografik yapıya sahip olan ülkemizde son derece önem kazanmaktadır.

Nehirlerdeki sediment taşınımı sonucu yapılan tesislerin ekonomik ömrü azaldığı gibi, bu durum aynı zamanda tarımsal ekonomimizin en önemli üretim kaynaklarından birisi olan toprağın üst tabakasının yok olmasına da neden

olmaktadır. Bunun doğal sonucudur ki çıplaklaşan ve çoraklaşan ülke topraklarında erozyon ve sedimentasyon olayları ile birlikte işlenebilir tarım arazilerinin yokolması ve çevre kirliliği sorunları da gündeme gelmiş bulunmaktadır.

1.1 Rezervuar Sedimentasyonunun Önemi

Rezervuar sedimentasyonu bir barajın projelendirilmesinde gözönüne alınması gereken en önemli bir faktörlerden biridir. Nehir havzasının ve yatağının erozyon ve sedimentasyon özellikleri ile ilgili veriler; baraj gövdesi boyutlarının, dolu savak, geçit gibi su alma yapılarının konumlarının ve barajın memba ve mansap kısımlarında beklenen su seviyesi yüksekliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Günümüzde dünyada ve Türkiye’ de sedimentasyon tahmini ile ilgili olarak yeterince doğru sonuçlar elde etmek her zaman mümkün olmamaktadır. Bu alanda daha fazla çalışma yapılmasının gerekliliği bu tezin hazırlanmasında yönlendirici olmuştur.

1.1.1 Rezervuar sedimentasyonu nedir?

Barajlar pahallı ve çok büyük hidrolik yapılardır. Ekonomik bir kalkınma için mümkün olduğu kadar uzun süreli kullanılabilmesi gereken bu yapıların ömrünü belirleyen en önemli faktör rezervuar sedimentasyonudur. Rezervuar sedimentasyonu havzanın yukarı kesimlerinden akış ile taşınan sedimentin rezervuarda birikmesi olarak tanımlanabilir. Biriken sediment zamanla rezervuarın yukarı kesimlerinden baraj gövdesine doğru ilerleyen bir delta oluşturmakta ve böylece rezervuarın su depolama kapasitesinde ve güç eldesinde azalmaya yol açmaktadır (Akbari, 1987). İnce tanecikli sedimentin baraj gövdesine kadar taşınmasıyla rezervuardan su alma yapıları tıkanabilmektedir.

Sediment ile dolmuş bir rezervuarın tekrar kazanılması genellikle mümkün olmadığından sedimentasyon tahmin ve önleme yollarına gidilmiş ve bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır (Simons ve Şentürk, 1992)

1.1.2 Rezervuar sedimentasyonunun Türkiye için önemi

Türkiye akarsu ve havza sayısı bakımından zengin doğal kaynaklara sahip bir ülkedir. Ülkemizde su ayırım hatları ile birbirinden ayrılmış 26 havza bulunmaktadır. 1999 itibari ile ülkemizin aktif durumdaki barajlarının sayısı 193 tür. DSI tarafından yapılan çalışmalar toplam 702 baraj sayısına ulaşmanın mümkün olduğunu göstermektedir (Yanmaz, 1997) .

Yeni barajlar inşaa etmenin yanında günümüzde aktif durumda olan barajların korunması da büyük önem taşımaktadır.

Geniş tarım alanlarına sahip ve endüstriyel ve ekonomik bakımdan gelişme aşamasındaki ülkeler arasında olan Türkiye' nin sürdürülebilir bir kalkınmayı sağlayabilmesinde su ve enerji kaynağı olan barajların etkisi çok fazla olmaktadır.

Depolama kapasitesini kaybetmiş veya düşük kalitede su (sediment ihtiva eden) sağlayan bir barajın yeniden kullanılabilir hale getirilmesine alternatif olarak yeni bir baraj inşaa edilmesi daha ekonomik bir yol olarak tercih edilmektedir. Fakat yeni bir baraj inşaa aynı zamanda çeşitli yerleşim merkezlerinin ve tarım alanlarının su altında kalmasına yol açmakta, doğal kaynakların kullanılamaz hale gelmesine ve yaban hayatının zarar görmesine sebep olabilmektedir.

Yukarıdakilere ek olarak, tarihi kalıntılar bakımından zengin bir ülke olan Türkiye' de bu kalıntıların rezervuar gölü altında kalması ile karşılaşılabilir.

Mevcut barajların kullanım ömürlerinin mümkün olduğu kadar uzatılması yeni barajlara olan ihtiyacı azaltacak ve böylelikle ülkenin pek çok alanda kalkınmasına ve gelişmesine olumlu katkıda bulunacaktır. Ayrıca inşa edilecek barajların tahmini kullanım ömürlerinin bilinmesi daha iyi bir kalkınma planı yapılmasını sağlayacaktır. Rezervuar sedimentasyonu ile ilgili çalışmalar bu konularda gerekli bilgiyi sağlaması açısından büyük öneme sahiptir.

1.1.3 Rezervuar sedimentasyonunun dünyadaki önemi

Dünya nüfusunun artmasıyla ve teknolojinin ilerlemesiyle içme kullanma ve sulama suyuna olan ihtiyaç günden güne artış göstermektedir. Buna karşılık yeryüzündeki baraj yapılabilir topografik ve jeolojik bölge sayısı sınırlı durumdadır. Ayrıca yeni

bir baraj inşaatı büyük miktarda malzeme enerji ve işgücü gerektirdiğinden mevcut kaynakların büyük kısmının bu alana yöneltilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Buna ek olarak baraj inşaatı sırasında oluşan atıklar çevreyi kirletici yönde etki yapmaktadır.

Ekonomik tarımsal ve sosyal alanlarda plan yapılmasında baraja gelen sediment yükünün, aktif hacmin ve rezervuar ömrünün belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Yukarıdaki çevresel etkenlere ek olarak sediment yükü verileri ve rezervuardaki depolanma şekli baraj ile ilgili mühendislik çalışmalarının önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu veriler rezervuar boşaltım yapılarının yerlerinin belirlenmesinde gözönüne alınmaktadır (Akbari, 1987). Sedimentin barajın mansabına geçebildiği durumlarda; barajın dolusavak, geçit, ve baraj kapakları gibi boşaltım yapılarında yolunmaya sebep olabilmektedir. Bu şekilde yüzeylerin pürüzlü hale gelmesiyle bu yapılarda akış sırasında titreşimler oluşabilmektedir (Yang, 1996). Suyun sediment konsantrasyonunun az olduğu durumlarda ise nehir yatağının mansap kısmında oyuntu oluşabilmekte ve bu da barajın stabilitesini tehlikeye düşürebilmektedir. Aynı şekilde baraj gövdesinin membaya bakan yüzünde etki eden sediment basıncı barajın denge halini bozma yönünde etki etmektedir.

2. TEORİ VE TEMEL BİLGİLER

2.1 Sediment Özellikleri

Bir akışın bulunduğu zemini aşındırması, aşınan malzemenin taşınması ve sedimentasyonu birçok etkene bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu faaliyet sırasında sediment hareketinin mekaniğinin ne şekilde olacağını sediment özellikleri, akışın hidrolik özellikleri ve kanal geometrisi belirlemektedir.

Sediment tanelerinin harekete geçme durumu genel olarak yatak malzemesinin tanecik özelliklerine göre belirlenebilmektedir. Tanecik özellikleri ayrıca sediment çökme hız ve oranının belirlenmesinde etkili olmaktadır. Boyut, şekil, çökme hızı, özgül ağırlık ve iç sürtünme açısı olarak ifade edilebilen sediment özellikleri taneciklerin oluşum şekline ve kaynağına göre değişmektedir.

2.1.1 Sedimentin oluşumu ve kaynağı

Sediment, yeryüzündeki kayaların çeşitli atmosferik ve hidrolik etkenlerle aşınması ile oluşmaktadır. Bu etkenler kimyasal, mekanik ve organik etkenler olarak kısımlara ayrılabilir. Aşınmaya sebep olan başlıca kimyasal etkenler oksijen, karbondioksit ve su buharıdır. Mekanik etkenler ise maddenin büzülme ve genişmesi ile etki etmektedir. Organik etkenler ise otçul hayvanların otlaması ve bitki köklerinin kayaları parçalaması yoluyla gerçekleşmektedir.

Yukarıdaki etkenler sonucu sediment; eğim, toprak kaymaları ve akarsu yatağındaki aşınmalar yoluyla akış ile birlikte taşınmaya başlamakta ve sediment yükünü oluşturmaktadır. Sediment yükü miktarı taşınmakta olan malzemenin cinsine, akarsu debisine, ve kanal özelliklerine göre değişmektedir. Aşınma miktarı eğim ve hızla doğru orantılı, depolanma ise ters orantılı olarak gerçekleşmektedir.

Erozyona sebep olan diğer faktörler arasında kurak bölgelerde rüzgar, yüksek kotlu bölgelerde ise buzul etkileri sayılabilir (Garde, 1978).

2.1.2 Sediment taneciklerinin temel özellikleri

Sediment taneciklerinin temel özellikleri boyut, şekil, çökme hızı, özgül yoğunluk, iç sürtünme açısı, yüzey özellikleri ve istikamettir. Taneciklerin yüzey özellikleri ve nehir yatağını oluştururken aldıkları istikamet ölçülmesi ve belirlenmesi çoğunlukla mümkün olmayan özellikler olduğundan bu bölümde bunlar dışında kalan faktörler üzerinde durulmuştur

2.1.2.1 Boyut

Sediment taneciklerinin boyutlandırılmasında farklı malzeme, boyut ve şekil özellikleri için farklı kriterler kullanılabilir. Sediment boyutu genellikle bir çap uzunluğu ile ifade edilmektedir. Başlıca sediment çapı çeşitleri nominal çap, çökme çapı, elek çapı ve üç ana eksen çapıdır.

Nominal çap kullanımında taneciklerin mükemmel bir küreselliğe sahip oldukları şeklinde bir kabul söz konusudur. Bu kabul sırasında tanecik hacmi sabit tutulmaktadır. Çökme çapı bulunmasında ise taneciğin özgül yoğunluğu 2.65 olarak farzedilmekte ve taneciğin su içindeki çökme hızı dikkate alınmaktadır. Çökme çapı genellikle 0.063 mm. den küçük olan ince tanecikli sediment için kullanılmaktadır. Elek çapı elek analizi yöntemiyle bulunan çap olup, taneciğin sadece en küçük kesit alanı hakkında bilgi vermektedir fakat pratik bir yöntemdir. Üç ana eksen çapı ise taneciğin üç asal eksen yönündeki boyutları gözönüne alınarak bulunan bir özelliğidir. Taneciğin şekilsel özelliklerini ifade eden bir formülle hesaplanır ve sonuçta bir index değeri elde edilir. Bu metot sık olarak kullanılmamaktadır.

Çap büyüklüklerine göre sediment sınıfları ABD Toprak Sınıflandırma Bürosu (USBR) tarafından Tablo 2.1.' deki gibi belirlenmiştir (Garde, 1978).

Tablo 2.1. Başlıca Sediment Sınıfları (ABD Toprak Sınıflandırma Bürosu' na Göre)

Çap Büyüklüğü (mm)	Sediment Sınıfı
4096 – 256	kaya (boulder)
256 – 64	iri çakıl (cobble)
64 – 2	Çakıl
2 – 1/ 16	Kum
1/ 16 – 1/ 256	silt
1/ 256 – 1/ 4096	kil

Tanecik boyutu bazı durumlarda stabiliteyi bazı durumlarda ise çökelme yoluyla konum değiştirmeyi sağlayan bir sediment özelliğidir. Nehir yatağındaki sedimentin boyut dağılımı akışla taşınacak sediment yükünün ve depolanacak miktarın belirlenmesinde kullanılan önemli bir veridir.

2.1.2.2 Şekil

Tanecik şeklinin ifade edilebilmesi amacıyla çeşitli yaklaşımlarla geliştirilmiş birçok formül bulunmaktadır. Bu formüller arasında en çok kullanılan aşağıdaki şekilde ifade edilen bir şekil faktörü eşitliğidir;

$$\text{ŞekilFaktörü} = \frac{c}{\sqrt{a.b}} \quad (2-1)$$

Bu eşitlikte c en kısa, a en uzun, b ise orta büyüklükteki tanecik eksenel uzunluğunu göstermektedir. a, b ve c uzunlukları birbirine dik üç ayrı eksen (asal eksenler)

boyunca ölçülmektedir. 0 ile 1 arasında değişmekte olan şekil faktörü küresel veya küp şeklinde bir tanecik için, maksimum değeri olan 1' e eşit olmaktadır. Şekil faktörünün 0' a yakın olması taneciğin ince uzun bir şekle veya disk şekline benzerliğinin fazla olduğunu ifade etmektedir.

Bir başka sediment şekil katsayısı Wadell' in bulmuş olduğu aşağıdaki formülle ifade edilebilir;

$$Küresellik = \sqrt[3]{\frac{TanecikHacmi}{ÇevreliKüreninHacmi}} \quad (2-2)$$

Bu denklemde küresellik 0 ile 1 arasında değişen bir değer almaktadır.

2.1.2.3 Çökelme hızı

Bir sediment tanesinin su içinde çökelme hızı (2-3)' teki tanecik Reynolds sayısının değerine göre değişiklik göstermektedir.

$$Re = \frac{\rho_f \cdot \omega_0 \cdot d}{\mu} \quad (2-3)$$

Bu formülde;

ρ_f ; akışkanın yoğunluğunu,

ω_0 ; taneciğin çökelme hızını,

d ; tanecik çapını,

μ ; akışkanın vizkozitesini göstermektedir.

Re sayısının 0.1'den küçük olduğu durumlarda tanecik etrafındaki suyun hareketi laminar bir akış şeklinde olmakta ve taneciğe etkiyen kuvvetin belirlenmesinde Navier Stokes denklemleri kullanılabilir.

Ayrıca çökelmekte olan tanecik etrafındaki suyun kinetik enerjisindeki değişimin taneciğin hareket yönüne zıt yönde bir itme kuvveti meydana getirdiği gözönüne alınarak aşağıdaki şekilde bir Newton direnç kuvveti denklemi yazılabilir;

$$F = C_D * (1/2) * A * \rho_f * w_0^2 \quad (2-4)$$

Bu denklemde;

F : Taneciğe etkiyen direnç kuvvetini,

A : Taneciğin izdüşüm alanını,

C_D : Direnç kuvveti katsayısını sembolize etmektedir.

Navier Stokes denklemleri ve Newton' nun direnç kuvveti denklemi kullanılarak laminer bir akış için teorik olarak bir $C_D - Re$ ilişkisi elde edilebilmektedir. Bu ilişki Şekil 2.1.' deki grafiğin Stokes şartlarının geçerli olduğu ($Re < 0.1$) kısmında görülmektedir. Bu bölgede teorik ve deneysel olarak elde edilen sonuçların aynı olması küçük Reynolds sayıları için akışkan hareketinin laminer olduğu kabulünün doğruluğunu göstermektedir.

Reynolds sayısı 0.1' den biraz daha büyük değerler aldığında ($0.1 < Re < 5$) suyun tanecik etrafındaki hareketi türbülanslı hale gelmekte bu nedenle de Stokes denklemleriyle elde edilen eşitliklerin bir düzeltme katsayısı ile çarpılması gerekmektedir. Grafiğin belli bir Reynolds sayısından sonraki kısmı ise sadece deneysel verilere dayanılarak oluşturulabilmektedir.

Tanecik çökme hızı akışkanın sıcaklığına göre de değişiklik göstermektedir. Akışkan sıcaklığının artmasıyla beraber vizkozitede bir düşüş olmakta bu da çökelmekte olan taneciğe etkiyen direnç kuvvetini azaltıcı dolayısıyla tanecik çökme limit hızını artırıcı yönde etki etmektedir. Sıcaklık ile limit hız arasındaki bu ilişki küçük boyutlu tanecikler için daha belirgin hale gelmektedir.

Sedimentin çökeldiği ortamın dar veya geniş olması veya suyun sediment konsantrasyonunun fazla olması da tanecik çökme hızını etkileyen faktörlerdendir. Çökme ortamının dar veya geniş olma durumu tanecik çapının kabın çapına oranı ile ifade edilmektedir. Bu oranın 0.2' den büyük olduğu durumlarda sediment çökme hızında önemli miktarda bir azalma görülmektedir. Ayrıca sediment konsantrasyonu fazlalığı da tanecik çapı büyüklüğü ile ters orantılı olarak çökme hızını azaltıcı yönde etki etmektedir. Ortamın darlığının ve konsantrasyon miktarının etkileri çökme hızına bir katsayı yardımıyla yansıtılmaktadır.

2.1.2.4 Özgöl yoğunluk

Sedimentin yerinden sökülme durumundaki hidrolik şartların ve sedimentin çökelme eğiliminin bulunması için tanecik özgöl yoğunluk değerinin doğru olarak bilinmesi gerekmektedir. Nehir ve rezervuar sedimantasyonunda bu değer fazla bir değişiklik göstermediğinden genellikle sabit bir sayı olarak alınmaktadır.

Özgöl yoğunluk sedimentin mineral içeriğine göre değişmesine rağmen doğal ortamda suyun taşıdığı kumlu malzeme büyük miktarda kuartzdan oluştuğundan özgöl yoğunluk ortalama bir değer olarak 2.65 olarak alınmaktadır.

2.1.2.5 İç sürtünme açısı

Aşınabilir bir açık kanaldan akış etkisi ile taneciklerin sökülmesi malzemenin iç sürtünme açısıyla da yakından ilgilidir. Kanalin yan yüzeyleri kanal kesiti doğrultusunda büyük bir eğime sahip olduğundan buradaki tanecikler daha kolay yerlerinden sökülebilmektedirler. İç sürtünme açısı azaldıkça bu taneciklerin harekete geçme eğiliminde ayrıca bir artış olmaktadır. Kanal yan yüzeylerinin iç sürtünme açısına göre küçük bir eğime sahip olduğu durumlarda aşınma kanal tabanında bir oyuntu meydana gelmesi şeklinde olmaktadır. Yan yüzeylerin eğimi fazla olduğunda ise aşınmanın bu bölgelerde daha fazla olduğu görülmektedir (USBR, 1951).

İç sürtünme açısının büyük olması malzemenin herhangi bir konumdaki stabilitesinin yüksek olması anlamına gelmektedir ve taneciklerin akışla harekete geçmesini zorlaştıracı yönde etki etmektedir (White, 1940)

Kritik sürüklenme kuvvetinin belirlenmesi için gerekli olan yatak malzemesi iç sürtünme açısı değeri Gibson'ın geliştirdiği aşağıdaki formülle bulunabilir;

$$\tan \Phi = K * d^{0.125} * S^{0.19} * r^{0.25} \quad (2-5)$$

Bu formülde

Φ : İç sürtünme açısını,

K : 0.92 değerini,

d : İnch cinsinden ortalama tanecik çapını

S ; taneciğin su içindeki özgül ağırlığını

r ; (en uzun çap)/ (en kısa çap) oranını göstermektedir.

Formülün incelenmesiyle görülebileceği gibi malzemenin iç sürtünme açısı taneciklerin küreselliği (r) ile ters orantılı olarak değişmektedir. Ayrıca geometrik olarak stabilitenin tanecik çapına göre değişim göstermemesi gerekirken pratikte bu ikisi arasında bir yakın bir ilişki bulunmaktadır.

2.1.3 Nehir erozyonu hidroliği

Bir akışta hidrolik özellikler ile yatak malzemesi ve kanal özelliklerinin durumuna göre sedimentin belli yerlerde zeminden sökülmesi, çeşitli şekillerde taşınması ve belli yerlerde çökmeye uğraması halleri gerçekleşmektedir. Seçilen herhangi bir noktada bu hallerden üçünün de aynı anda gerçekleşebilmesine rağmen baskın olan hareket şekli bölgedeki aşınma veya depolanma durumunu tayin etmektedir.

Akışın belli bir kesitinden geçen sediment miktarına toplam sediment yükü denilmektedir ve taşınma şekline göre yatak yükü, yıkama yükü ve askı yükü olarak kısımlara ayrılmaktadır.

Sediment yükünü oluşturan malzeme yataktan sökülme yoluyla hareketine başlamakta, akışla belli bir mesafe kattettikten sonra belli yerlerde çökmeye uğrayarak tekrar statik hale geçmekte ve buralarda depolanmaktadır. Hangi noktada ne miktarda erozyon ve depolanma gerçekleşeceği kanal boyunca akışın sediment konsantrasyonundaki değişme ile yakından ilgilidir.

2.1.3.1 Yatak yükü

Yatak yükü sedimentin akış içinde yuvarlanarak, sürüklenerek ve sıçrayarak taşınan kısmını oluşturmaktadır. Bu tür hareketin gerçekleştiği bölge yatak tabakası olarak adlandırılmaktadır. Yatak yükünü oluşturan malzeme genellikle kum ve çakıl gibi yüksek çökme hızlı taneciklerden oluşmaktadır. Yatak tabakasının kalınlığı kumlu ortamda 1 mm den az çakıllı yatakta ise birkaç desimetre kadar olabilmektedir (Julien, 1995).

Yatak yükünü oluşturan büyük boyutlu tanecikler yatakta yuvarlanarak veya sürüklenerek taşınırken nispeten küçük tanecikler zaman zaman yatakla olan temaslarını kaybederek sıçrama şeklinde ilerlerler. Bu şekildeki sıçrama hareketine saltasyon hareketi denilmektedir (Gilbert, 1914)

Saltasyon ile hareket eden taneciklerin düşey ve yatay hızlarında sürekli bir değişim olmaktadır. Suyun akış hareketiyle veya başka bir taneciğin çarpma etkisiyle kanal yatağından sökülerek sıçrama hareketine başlayan taneciğin düşey hızında yerçekimi etkisinden ve suyun direncinden dolayı bir azalma olmaktadır. Düşey hızdaki azalma bu hız 0 oluncaya kadar devam etmekte daha sonra aşağı yönlü bir hız artışı gerçekleşmektedir. Bu sırada yatay hızda ise akışın itme kuvvetinden dolayı sürekli bir artış görülmektedir. Yatak yüzeyine çarpmasıyla birlikte taneciğin saltasyon hareketinin periyotlarından biri tamamlanmış olmaktadır. Bu aşamadan sonra tanecik bir süre için hareketsiz kalabilir, çarpmanın etkisiyle bir sonraki sıçrama hareketine başlayabilir veya başka bir taneciğin hareketini tetikleyebilir (Bagnold, 1941).

Bir taneciğin sıçrayarak hareket etmesine sebep olan kuvvetler akışın ortalama hızı, türbülansı ve hareket halindeki diğer taneciklerin çarpma etkisinden gelmektedir. Nehir tabanındaki eşikler de saltasyon hareketini başlatmada etkili olmaktadır. Ayrıca nehir yatağının gözenekli bir yapıya sahip olması yatak seviyesindeki türbülans hareketlerinin artmasını sağlamakta dolayısıyla taneciklerin yerlerinden sökülmelerini kolaylaştırmaktadır. Suyun kaldırma kuvvetinden dolayı taneciklerin ağırlığında meydana gelen azalma saltasyon hareketinin daha kolay başlamasını sağlamaktadır (Garde, 1978).

Yatak yükü miktarının ölçüm yoluyla belirlenmesi kolay bir işlem değildir. Bu nedenle yatak yükü genellikle asılı yükün belli bir yüzdesi olarak ifade edilmektedir.

Yatak yükü miktarı asılı yükün % 5 inden %25 ine kadar değişebilmektedir. Eğimin çok fazla olduğu dağlık arazilerde bu oran %50 ye kadar ulaşabilmektedir (Yanmaz, 1997).

2.1.3.2 Asılı yük

Asılı yük akışla taşınırken nadiren nehir yatağıyla temas eden, küçük boyutlu tanelerden oluşmuş sediment yüküdür.

Askı yükünü oluşturan sedimentin kaynağını yatak tabakasında taşınmakta olan malzeme oluşturmaktadır. Akış sırasında yatak malzemesi ile askı malzemesi arasında sürekli bir geçiş söz konusudur. Bu geçişe sebep olan etkenler akışın sebep olduğu türbülans hareketleri ve akışkanın moleküler düzeydeki difüzyon özelliği ile açıklanmaktadır.

2.1.3.3 Yıkama yükü

Yıkama yükü toplam yükün nehir yatağında önemli miktarda bulunmayan ve ince taneciklerden oluşan kısmıdır. Yıkama yükünün kaynağı havzanın yukarı kesimlerindeki veya nehir kıyılarındaki malzemedir (Simons ve Şentürk, 1992).

Yıkama yükü nehir yatağında aşınma veya depolanmaya sebep olmayan akışın hidrolik özelliklerinden bağımsız ve sadece bölgedeki havza, zemin, topografi ve yağış gibi hidrolojik şartlara bağlı olarak değişen bir sediment yükü çeşididir. Bu nedenle belli hidrolik şartların geçerli olduğu bir durumda yıkama yükü ile nehir yatağındaki malzeme arasında bir bağıntı kurulamamaktadır (Beyazıt, 1996).

Yıkama yükü asılı yükün bir parçası olarak kabul edilmektedir ve yatak malzemesinin çok az bir kısmını meydana getirmektedir. Pratikte en büyük yıkama malzemesi tanecik çapı genellikle d_{10} olarak seçilmektedir (Beyazıt, 1996). Burada d_{10} yatak malzemesinden alınan herhangi bir sediment örneğinin en küçük boyutlu %10 luk kısmının maksimum çapını sembolize etmektedir.

2.1.3.4 Toplam yük

Toplam yük bir akışın belli bir kesitinden birim zamanda geçen yatak, askı ve yıkama yüklerinin toplamından oluşmaktadır. Toplam yük kanalın herhangi bir yerinde aşınma veya depolanmanın olup olmayacağını veya ne miktarda olacağını belirlenmesi için hesaplanması gereken bir parametredir.

Toplam yük yatak yükü ve askı yükünün ayrı ayrı hesaplanmasıyla bulunabileceği gibi direk olarak malzeme, akış ve kanal özelliklerine göre de hesaplanabilmektedir.

Akışın toplam sediment taşıma kapasitesi ile tanecik boyutu arasında bir ters orantı bulunmaktadır. Tanecik boyutu küçük olduğunda akışın taşıma kapasitesi fazla olmakta, nehir yatağındaki taşınabilir durumda malzeme miktarı yetersiz kalmakta ve toplam sediment yükü büyük oranda havzanın yukarı kesimlerinden gelen yıkama yükü malzemesinden oluşmaktadır. Ortamda bulunan tanecik boyutu büyük olduğunda ise taşıma kapasitesi düşmekte, yatak malzemesi yükünün toplam yük içindeki oranı ise artmaktadır.

Akışın sediment taşıma kapasitesi arttıkça yıkama yükü oranında da bir artış olmaktadır. Bu durumda nehir yatağını oluşturan malzemenin özellikleri akış ile taşınmakta olan malzemeninkinden çok farklı hale gelmektedir. Taşıma kapasitesinin düşük olduğu (düşük akış hızı) durumlarda ise sediment yükü özellikleri ile yataktaki malzeme arasında büyük oranda benzerlik bulunmaktadır. Bu benzerliğin sebebi toplam yükün büyük ölçüde yatak yükünden oluşmasıdır (Julien, 1995).

Yıkama yükü olarak taşınan sedimentin oluşumu havzanın yukarı kesimlerindeki hidrolojik şartlar ile ilgili olduğundan, yıkama yükünün toplam yük içindeki oranını tam olarak tahmin etmek mümkün olmamaktadır (Garde, 1978).

2.1.4 Nehir ve rezervuar sedimantasyonu

Nehir ve rezervuar sedimantasyonu akışın sediment taşıma kapasitesinin azaldığı bölgelerde gerçekleşen bir olaydır. Taşıma kapasitesi akış hızındaki azalmaya bağlı olarak düşüş göstermektedir. Kanalın profildeki eğimi, kanal yan yüzeylerindeki eğim, ayrıca boyut, şekil ve iç sürtünme açısından oluşan sediment tanecik özellikleri de malzemenin taşınma ve depolanma eğilimini etkilemektedir.

Akışın rezervuara ulaşmasıyla kesit alanında çok büyük bir artış olmakta ve hız 0 değerine kadar düşmektedir. Bu durumda çökeltme eğilimi sedimentin difüzyon hareketinden daha baskın hale gelmekte ve rezervuar tabanında depolanma başlamaktadır.

Akış ile rezervuara gelen büyük çaplı tanecikler rezervuarın girişinde bir delta oluştururken, küçük tanecikler baraj gövdesine yakın yerlere kadar taşınır. Sediment ile doldukça rezervuarın sediment tutma kapasitesinde bir azalma görülür. Bunun sebebi rezervuar kesit alanındaki azalma ve dolayısıyla akış hızında meydana gelen artıştır. Bir süre sonra rezervuara gelen sedimentin belli bir kısmı çökeltmeden akışın mansabına geçebilir. Bu nedenle ileriki aşamalarda rezervuarın sediment ile dolma hızı azalabilmektedir (Yanmaz, 1997).

Bir rezervuarın ömrü ölü hacim olarak ayrılan kısmının sediment ile dolması sonucu sona ermektedir. Bu nedenle sediment debisi, rezervuar ölü hacmi ve sedimentin kuru haldeki özgül ağırlığı rezervuar ömrü hesabında büyük önem taşımaktadır.

Rezervura taşınan sediment hacminin tahmini hakkında günümüze kadar pekçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda yatak ve askı yükünü hesaplamak amacıyla ampirik ve yarı-teorik bazı denklemler geliştirilmiştir. Toplam yük hesabında kullanılan mikroskopik ve makroskopik metotlar da bulunmaktadır. Usle ve Musle olarak adlandırılan formüller de bir havzanın sağlayacağı sediment miktarının belirlenmesinde faydalı olan pratik denklemlerdir.

Rezervuar sedimentasyonu hesabında analitik bir metot olan “minimum akış gücü metodu” ile ampirik bir metot olan “alan eksiltme metodu” sıklıkla kullanılan yöntemlerdir.

2.2 Rezervuar sedimantasyonu hesap yöntemleri

Akış yoluyla gelen sedimentin rezervuarın hangi kısmında ve ne miktarda çökeceğinin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilmiş analitik ve ampirik metotlar bulunmaktadır.

Analitik metotlar olan “minimum birim akış gücü” ve “minimum akış gücü metotları” Yang tarafından termodinamik kurallarından faydalanılarak elde edilmiştir.

Minimum birim akış gücü akışın hızı ve enerji değişim çizgisinin çarpımı ile ifade edilmektedir (Annandale, 1987). Belli sınır şartları altında akışın bu minimum gücü sabit bir değere eşit olmaktadır. Bu durumda

$$u = \sqrt{g \cdot R \cdot s_f} \quad (2-6)$$

olarak ifade edilen sürüklenme hızı da minimum değerini almaktadır.

Baraj inşaatı ile birlikte barajın memba tarafında üniform olmayan kritik-üstü bir akış gerçekleşmekte ve akışın gücünde bir azalma görülmektedir. Bu durumda bir süre sonra sürüklenme hızı eski değerini alıncaya kadar kanal tabanında bir yükselme (depolanma) ve su seviyesinde bir artış gerçekleşmektedir. Manning Denklemi, akış enerjisi ve süreklilik denklemleri yardımıyla yeni kanal taban ve su seviyesi tahmin edilebilmektedir. Bu işlem deneme ve yanılma yöntemi kullanılarak ve bir tablo oluşturularak gerçekleştirilmektedir.

Daha genel bir teori olan minimum akış gücü ise akışın debisi ve enerji değişim çizgisinin eğiminin çarpımı şeklinde ifade edilmektedir. Bu yöntemde membaya doğru akış yönüne dik olarak ilerlerken kanal ıslak çevre uzunluğundaki artışın bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca hesaplar sırasında Annandale tarafından gözlem yoluyla elde edilmiş, kümülatif sediment hacmi ile baraj gövdesinden nispi uzaklık arasındaki ilişkiyi gösteren bir grafik de kullanılmaktadır.

Analitik bir metot olan alan eksiltme metodunda rezervuarlar kapasite-nispi derinlik log-log grafiklerinin eğimine göre 4 ana sınıfa ayrılmaktadır ve deneysel olarak elde edilmiş denklemler yardımıyla rezervuardaki sediment dağılımı belirlenmektedir. Kapasite ve derinlik ilişkisine göre rezervuar şeklinin hangi sınıfa ait olduğunun belirlenmesinden sonra malzemenin boyutu da gözönüne alınarak uygun sediment dağılım denklemi seçilmektedir. Yeni rezervuar taban seviyesi için belli bir değer seçilerek deneme ve yanılma yöntemiyle rezervuardaki sediment dağılımı tahmini yapılmaktadır (Borland ve Miller, 1960).

Alan eksiltme metodunun Lara tarafından geliştirilmesiyle elde edilmiş olan “Değiştirilmiş Alan Eksiltme Metodu” nda ise boyut analizi ile elde edilmiş olan bir denklem ve deneysel olarak elde edilmiş bir grafik kullanılarak rezervuar yeni taban seviyesi belirlenmektedir. Böylelikle bir deneme ve yanılma metodu izlenmesine gerek kalmamakta ve doğrudan sonuca ulaşılabilir (Yang, 1996).

2.3 Türkiye’ deki çalışmalar ve uygulamalar

Türkiye’ de barajlara gelen sediment yükü tahmini ve baraj ölü hacim hesabı için gerekli veriler Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ), Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından elde edilmektedir. Eldeki verilerin çeşitli metotlarla işlenmesiyle gerekli sediment yükü ve ölü hacim tahminlerinin yapılması yine bu kuruluşlar tarafından yürütülmektedir.

Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Türkiye’deki havzalarda sediment yükü tahmini için Usle’yi sık olarak uygulayan bir kuruluştur. Usle ile yapılan hesaplamalarda Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış Türkiye’ deki yıllık yağış miktarının bölgelere göre değişimini gösteren bir harita ile yine bu kuruluş tarafından hazırlanmış “Türkiye Eğim Haritası” kullanılmaktadır. USLE ile sediment yükü tahmini için gerekli olan havza özellikleri ile ilgili bilgiler DSİ tarafından toplanmaktadır. Ayrıca yıllık ortalama yağış miktarları DSİ ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından ölçülerek kaydedilmektedir.

Akışın sediment konsantrasyon değeri kullanılarak yapılan sediment yükü hesabı için DSİ tarafından baraja gelen toplam akış debisi aylık olarak ölçülmektedir. Ayrıca yine bu metotla sediment debisi hesabı için EİEİ tarafından “sediment debisi ölçüm istasyonları” kurulmuştur. Bu istasyonlarda akışın sediment konsantrasyonu aylık olarak ölçülmektedir. EİEİ bu verileri kullanarak

$$Q_s = Q_w * c' * T' \quad (2-7)$$

denklemini ile sediment yükünü hesaplamaktadır.

Bu denklemde;

Q_s : Sediment yükünü,

Q_w : Akışın debisini,

c' : Akışın sediment konsantrasyonunu,

T' : Düzeltme katsayısını göstermektedir.

Barajın sulama, taşkın kontrolü, elektrik üretimi ve içme kullanma suyu sağlama amaçlarından hangisini veya hangilerini sağlamak amacıyla kullanılacağı ve bu amaca yönelik üretim kapasitesinin ne kadar olacağı da ölü hacmin belirlenmesinde gerekli olan bilgilerdir. Türkiye’ deki barajların yapısal ve hidrolik özellikleri ile kullanım amaçlarının ne olduğuna ait kayıtlar DSİ tarafından tutulmaktadır (Yener, 1994).

3. ÖLÜ HACİM HESAPLAMA

3.1. Ölü Hacim ve Baraj Tasarımı

Bir barajın kullanım ömrü boyunca rezervuarına akış yoluyla gelen sedimentin sebep olacağı çeşitli etkiler barajın projelendiriliş şeklini belirleyen önemli unsurlardır. Rezervuara ulaşarak çökmeye uğrayan sedimentin barajın kullanılabilirliğini engellememesi için rezervuar tabanında belli hacme sahip bir bölge kullanılmayan bir kısım olarak ayrılmaktadır. Rezervuara gelen sedimentin çökmesi için ayrılan bu hacim “ölü hacim” olarak adlandırılmaktadır. Geçit ve dolusavakların baraj gövdesi üzerindeki konumları ve baraj gövdesinin diğer yapısal özelliklerinin belirlenmesinde ölü hacmin boyutları etkili olmaktadır.

3.1.1 Ölü hacim tahmini ve önemi

Bir barajın ölü hacim tahmini sediment yükü hesapları ile elde edilen sonuçlara ve barajın sahip olması istenen yıllık ve toplam üretim potansiyellerine göre yapılmaktadır. Belli bir ölü hacim değeri için baraj inşasının ekonomik olup olmayacağı yapılan sediment yükü hesaplarının sonuçlarına göre karar verilmesi gereken önemli bir noktadır.

Barajların kullanım ömürleri boyunca depolanacak sediment seviyesinin geçit ve dolusavaklardan oluşan su alma yapılarının altında kalacak şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir. Bu şartın sağlanması için bir ölü hacim tahmini yapılarak su alma yapılarının minimum kot değeri hesaplanmaktadır.

Ölü hacim bir baraj rezervuarında sediment depolanmasının gerçekleştiği en son bölgedir ve görevi barajın kullanım ömrü boyunca dolusavak ve geçitleri sediment ile tıkanmaya karşı korumaktır. Akış yolu ile gelen sedimentin çoğunlukla ölü hacmin dışındaki daha yukarı seviyelerden başlayarak depolanması sebebiyle içme-kullanma suyu veya enerji üretimi için kullanılacak aktif hacimde bir kayıp olmaktadır. Fakat ölü hacmin konumuna uygun olarak inşa edilen su alma yapıları

bu yukarı kesimlerdeki sediment depolanması süresince herhangi bir tıkanmaya uğramadan barajın işlerliğini sürdürebilmesini sağlamaktadırlar. (Simons ve Şentürk, 1992).

3.1.2. Ölü hacim ve rezervuar işletmesi

Bir barajın kullanım ömrünün uzatılması için izlenmesi gereken yol baraj rezervuarına gelen sediment miktarını minimuma indirmek ve rezervuardan çıkan sediment yükünü maksimumda tutmaktır. Bu şekilde rezervuar ölü hacminin sediment ile dolma süresi uzatılmaktadır (Yang, 1996). Rezervuar tabanında depolanan sedimentin çıkarılarak barajın tekrar kazanılması ise genellikle ekonomik bakımdan uygun olmayan ve teknik olarak zor bir işlemdir.

Rezervuara gelen sediment yükünü azaltma yollarından biri havzadaki erozyon miktarını düşürmektir. Havzanın ağaçlandırılması, uygun toprak sürme tekniklerinin uygulanması, yüksek eğime sahip bölgelerde teraslama yapılması, şeritvari ekim uygulamaları ve dönüşümlü olarak uygun bitkilerin ekimi erozyonu önleyici çalışmalardır.

Erozyonu önleyici yapısal tedbirler ise nehir üzerinde bir çökeltme havuzu inşa ederek fazla sedimentin depolanması, nehir yatağındaki oyuntuları azaltmak için akıntı indirme kanalları inşa edilmesi, nehir kenarlarındaki erozyonu önlemek amacıyla istinat duvarları inşası ve eşik ve indirme yapılarıyla nehir yatağının dengelenmesidir (Linsley et. al., 1992).

Uygun rezervuar işletme metotlarının kullanılmasıyla baraj rezervuarının tuttuğu sediment miktarının kontrolü mümkün olabilmektedir. Rezervuardaki, sıcaklık farkı, sediment ve suda çözünmüş minerallerin sebep olduğu yoğunluk farkından dolayı rezervuar içerisinde yoğun bir şekilde sediment taşıyan akıntılar oluşabilmektedir. Böyle durumlarda sediment bakımından yoğun olan bu akıntılar rüzgarın etkisi de gözönüne alınarak geçitler aracılığıyla barajın mansabına akıtılabilmekte ve rezervuarın sediment tutma kapasitesi %2' den %10' a kadar değişen oranlarda azaltılabilmektedir (Linsley et. al., 1992).

Bir taşkın başlangıç evresinde nehir suları yükselirken akışın getirdiği toplam sediment yükünde ortalama değere göre bir artış olduğu, nehir suları alçalırken ise

sediment yükünün ortalamanın altına düştüğü bilinmektedir (UNESCO, 1985). Bu nedenle taşkın başlangıcında akışın rezervuar ile olan memba tarafındaki bağlantısı kesilerek akışın yönünün değiştirilmesiyle az miktarda su kaybı ile büyük miktarda sedimentin rezervuara gelmesi önlenebilmektedir (Yang, 1996).

Baraj rezervuarlarının sedimantasyon sonucu kaybolan hacimlerinin tekrar kazanılması genellikle ekonomik olmamakla birlikte bu işlem için bazı durumlarda akıtma tarama ve sifonlama yöntemlerinden uygun olanı seçilebilmektedir.

Akıtma yöntemi barajdaki depolanmış suyun bırakılması ve depolanmış sedimentin su ile beraber barajın dışına taşınması şeklinde olmaktadır. Bu yöntemin dezavantajı büyük miktarda su kaybına sebep olmasıdır. Ayrıca bu yöntem ile baraj gövdesinden fazla uzakta çökelmiş olan sedimente ulaşamamaktadır. Bu metot tekrar dolması kolay olan küçük rezervuarlar için uygundur. Sifonlama yöntemi bir boru hattı ile, çökelmiş sedimentin rezervuar dışına taşınmasıdır. Bu metotta boru hattının tıkanması veya güç yetersizliği ile karşılaşılabilir. Mekanik bir yöntem olan tarama yöntemi pahallı olması sebebiyle diğer metotların kullanılmadığı durumlarda uygulanması gereken bir metottur. Çıkarılan çökelti malzemesinin başka alanlarda kullanılmasıyla bu işlemin daha ucuz hale getirilmesi mümkündür. Bu şekilde çevreye verilecek olumsuz etkiler de önlenebilmektedir (Yang, 1996).

3.2 Ölü Hacim Hesaplama Metotları

Baraj rezervuarına akış yoluyla gelen sediment rezervuar tabanında çeşitli şekillerde ve miktarda depolanabilmektedir. Sedimentin depolanma durumunu etkileyen faktörler akışın hidrolik özellikleri, malzeme özellikleri, kanal özellikleri ve yine sedimentin rezervuarda o ana kadarki depolanma durumudur. Gelen sedimentin bu faktörlere bağlı olarak ne şekilde depolanacağı rezervuar ölü hacim hesabında önem taşımaktadır.

3.2.1 Sediment yığılma prensip ve şekilleri

Bir nehir akışının baraj rezervuarına ulaşması ile akış ile taşınan sediment tanelerinin çökme süreci başlar ve rezervuar tabanının bütün bölgelerinde belli miktarda sediment depolanması gerçekleşir. Akışın rezervuara ulaşarak derinliğin artmaya ve hızın azalmaya başladığı noktadan itibaren ilk olarak çökmeye başlayan büyük

tanecik boyutuna sahip sedimenttir. Bu malzemenin çökmesiyle akışın rezervuara ulaştığı bölgede rezervuar içerisine doğru uzanan bir delta oluşumu gerçekleşir. Rezervuar içerisinde ilerlerken çökmeye uğrayan bu iri taneciklerden oluşmuş asılı sedimentin tükendiği noktada delta oluşumu son bulur. Daha ileriki, rezervuarın daha büyük derinliğe sahip ve akış hızının daha küçük olduğu kesimlerde çökelen sediment daha küçük boyuta sahiptir. Bu şekilde baraj gövdesine yaklaştıkça çökmüş sedimentin boyutunda bir küçülme görülür (Julien, 1995). Rezervuar girişindeki deltayı oluşturan malzeme kum ve çakıl boyutundaki taneciklerden oluşurken daha ileri noktalardaki depolanma silt ve kil boyutundadır (Akbari,1987). Depolanan bu malzemeden ayrı olarak bir kısım çok ince sediment ise rezervuarda çökmeksizin barajın mansabına geçebilir.

Sediment yığılma şekli ve miktarı sediment özelliklerine ek olarak akışın hidrolik ve termal özelliklerine, mineral içeriğine ve kanal özelliklerine de bağlıdır. Bazı rezervuar işletme metodlarının uygulandığı durumlarda baraj gölü içerisinde sediment bakımından yoğun olan akıntıların getirdiği malzeme rezervuar içerisindeki sıcaklık ve yoğunluk farkları sebebiyle çökmeye uğramaksızın akışın mansabına geçebilmektedir. Rezervuardaki su seviyesinin düştüğü durumlarda ise nehir akışı etkisiyle rezervuar girişinde delta oluşturmuş olan malzeme rezervuarın daha ileri kısımlarına taşınabilmektedir.

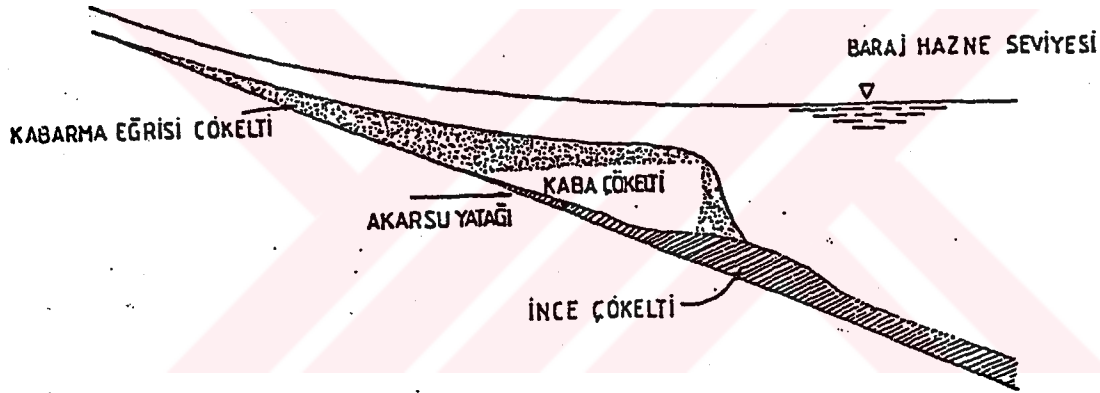
Rezervuara gelen sediment debisinin yatak yükü, askı yükü, veya yıkama yükü şekillerinin hangisinden ne miktarda oluştuğu rezervuarda depolanan sedimentin miktarını ve yerini etkilemektedir. Yatak yükü şeklinde gelen sediment iri boyutlu taneciklerden oluştuğu için bu malzemenin akışın rezervuara girdiği bölgede çökmektedir. Askı ve yıkama yükü şeklinde gelen malzeme ise rezervuar içerisindeki hareketleri daha uzun süre devam edebildiği için rezervuarın daha ileri kısımlarına kadar taşınabilmektedir. Baraj rezervuarının fazla büyük olmadığı durumlarda askı ve yıkama malzemesi rezervuarın mansabına da geçebilmektedir (Garde, 1978). Rezervuar içerisinde çökelen kil boyutundaki askı ve yıkama yükü malzemeleri ise burada konsolidasyona uğramakta, böylelikle özgül ağırlıklarında bir artış ve dolayısıyla depolanma hacminde bir azalma gerçekleşmektedir.

3.2.2 Akarsu haznelerinde katı madde çökmesi ve delta oluşumu

Akarsular kendinden daha derin olan rezervuarlara girince akımın hızı azalır. Böylece akarsuyun taşıdığı katı madde taneciklerinin büyük bir kısmı veya tamamı hazne içinde çöker.

Bu çökme olayı iki şekilde olabilir. (Asaad, 1990) :

1. Akarsu askı halinde taşınan ince malzemeler (kil, silt gibi) hazne tabanında birikir.
2. Akarsu ile gelen iri taneler (kum, çakıl gibi) haznenin girişinde delta olarak çöker.



Şekil 3-1 Baraj haznesinde çökelti profili.

Borland (1971), deltanın menba tarafından eğimin hesaplanmasında ya taşımının başlaması için Meyer-Peter-Müller formülünün ya da sürüntü maddesi taşınımı hali için Schoklisich formülünün kullanabileceğini ifade etmiştir. Buna ilaveten çoğu rezervuarlarda delta menba eğiminin yarısı olduğunu da belirtmiştir.

3.3 Sediment Hacim Tabloları

Tesviye alanı verilerine bağılı olarak rezervuar kapasitesi hesabı için kullanılan bazı metotlar şunlardır.

1. Kot alan eğrisi metodu,
2. Geliştirilmiş prizmoidal metot,
3. Ortalama sonlu alan metodu,
4. Simpson metodu,
5. Eakin metodu,
6. Enkesit alanları ve baraja uzaklığa dayanan formül,
7. Üniversal metot.

3.3.1 Kot-alan eğrisi metodu

Kot-alan metodu küçük tipte rezervuarlar için sık uygulanan bir metottur. Bir topoğrafik haritaya ihtiyaç vardır. 1 m veya 2 m'lik tesviye aralıkları kullanılması genellikle yeterli olmaktadır. Bu metodun uygulanmasında şöyle bir yol izlenir.

- 1- Arazi araştırmaları ve ölçümleri yapılarak bölgenin tesviye çıkarılır. Baraj dolmaya başladıktan sonra ise bölgenin hidrografik (iskandil) haritaları hazırlanır.
- 2- Tesviye haritasındaki her bir kota karşı gelen tesviye eğrisinin sınırladığı alan planimetre yardımıyla hesaplanır.
- 3- Kotlar düşeyde, alanlar yatayda işaretlenerek kot-alan eğrisi çizilir.
- 4- Kot-alan eğrisi kullanılarak tesviye kotları ile eğri arasındaki alan planimetre ya da milimetrik kağıt yardımıyla ölçülerek baraj rezervuar hacmi bulunur.
- 5- Aynı işlemler farklı yıllardaki hidrografik haritalara da uygulanarak yıllara göre baraj rezervuar hacmi bulunur.

6- Hacimler arasındaki farklar sediment hacmini verir.

3.3.2 Geliştirilmiş prizmodial metod

Geliştirilmiş prizmoidal metod, kot-alan eğrisi metodu kadar sağlıklı bir metod olmamasına karşı hesapların uygulanması açısından daha basit ve kolay bir çözüm yoludur.

Bu metod şöyle uygulanır.

- 1- Tesviye haritalarından her bir kota karşı gelen tesviye eğrisinin sınırladığı alan planimetre yardımıyla hesaplanır.
- 2- Bu alanlar arasında kalan dilimin hacmi aşağıdaki formül ile bulunur.

$$V = \frac{L}{3} (A + \sqrt{AB} + B) \quad (3-1)$$

Burada,

V : Tesviye eğrileri arasındaki hacim (m³),

L : Tesviye aralıkları (m),

A : Alt tesviye alanı (m²),

B : Üst tesviye alanı (m²)

dır.

- 3- Birbirini takip eden tüm tesviye alanları için bu hacimler sonra toplanarak rezervuar kapasitesi bulunur.
- 4- Aynı işlemler farklı yıllardaki hidrografik haritalara da uygulanarak o yıllara ait baraj rezervuar hacmi bulunur.
- 5- Hacimler arasındaki farklar rezervuarda toplanan sediment hacmini verir.

Bu metotta tesviye aralıkları ne kadar küçük olursa o kadar doğru sonuç verir.

3.3.3 Ortalama sonlu alan metodu

Ortalama sonlu alan metodu ayrıntılı araştırma gerektirir. Ayrıca belli aralıklarla rezervuar enkesitleri bulunmalıdır. Bu metotta genellikle maksimum su yüzeyi kotuna kadar her bir düşeyin enkesit alanına ihtiyaç vardır. Enkesit alanlarının hesabı için rezervuarda çeşitli yerlerde seçilecek düşey enkesit alanları alınmalıdır. Bu metot büyük rezervuarlarda çok itina istemektedir ve uygulaması zordur. Rezervuarda enkesit yerinin seçimi çok önemlidir. Birbirini takip eden ranglar arasındaki mesafe de mümkün olduğunca eşit olmalıdır.

En yakın düşey enkesit alanlarının ortalaması ile enkesitler arasındaki mesafenin çarpımı bize o dilimin hacmini verir. Yukarıda bahsettiğimiz bu metodun uygulanmasında şu sıra takip edilir:

Topoğrafik ve hidrografik haritaların yardımı ile enkesit alınacak yerler belirlenerek enkesitler çizilir.

Çizilen enkesitlerin alanı maksimum su yüzeyi kotuna kadar hesaplanır.

Birbirine komşu iki düşey enkesit alanı hesaplanarak aşağıdaki formül ile o dilimini hacmi bulunur.

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \cdot L \quad (3.2)$$

Burada,

V : Düşey enkesitler arasındaki hacim (m³),

A₁ : Birinci enkesit alanı (m²),

A₂ : İkinci enkesit alanı (m²),

L : Enkesitler arasındaki mesafe (m)

olmaktadır.

Her dilim için bu işlemler tekrarlanır ve tüm dilimlerin hacmi toplanarak toplam rezervuar hacmi bulunur.

Aynı işlemler farklı yıllardaki hidrografik haritalara da uygulanarak o yıllara ait rezervuar hacmi bulunur.

Hacimler arasındaki farklar rezervuarda toplanan sediment hacmini verir.

Ortalama sonlu alan metodu, uzunluğu boyunca üniform genişliğe sahip olan rezervuarlarda oldukça iyi sonuçlar verir. Enkesit alınacak yerler nehir talvegine dik olmalıdır.

3.3.4 Simpson metodu

Bu metod rezervuar kapasitesinin tamamen matematiksel bir bağıntı ile hesabına dayanmaktadır.

Bu metotla rezervuar kapasitesi hesabında rezervuarın tesviye alanları numaralandırılarak aşağıdaki formül kullanılır. (İlter,1985)

$$V = \frac{1}{3} H [A_0 + A_n + 4(A_1 + A_3 + \dots + A_{n-1}) + 2(A_2 + A_4 + \dots + A_{n-2})] \quad (3.3)$$

Burada,

V : Rezervuar hacmi (m³),

A : Tesviye alanları (m²),

H : tesviye aralıkları

olmaktadır.

Bu formülde A değerleri yerine enkesit alanları, H değeri yerine de enkesit alanları arasındaki mesafe de alınabilir. Hacim de bu değerlere göre hesaplanabilir. Aynı işlem farklı yıllara ait hidrografik haritalara da uygulanarak baraj rezervuar hacimleri bulunur. Aradaki farklar yıllar arasında biriken sediment hacmini verir.

3.3.5 Eakin metodu

Bu metodun esası prizmoidal metottur. Bu formül iki yan ırmak kolu içeren bir rezervuar diliminde şöyle gösterilir .

$$V = \frac{A}{3} \left(\frac{E_1 + E_2}{W_1 + W_2} \right) + \frac{A}{3} \left(\frac{E_1}{W_1} + \frac{E_2}{W_2} \right) + \frac{h_3 E_3 + h_4 E_4}{3(43.560)} \quad (3.4)$$

Bu formül İngiliz birim sisteminde çıkarılmıştır. Burada,

V : Rezervuar dilim kapasitesini (acre-feet),

A : Dilimin toplam yüzey alanını (acre),

A¹ : Yüzeyin alanını(acre),

W : Ana nehrin enkesit genişliğini (feet),

h : Yan kolun düşey enkesit alınan yerinden, ana nehir ile yan kolun birleştiği yere, ya da yan kolun talvegi ile ana nehrin mansab tarafındaki düşey enkesitinin kesiştiği noktaya kadar olan dik mesafeyi (feet) göstermektedir.

3.3.6 Enkesit alanları ve baraja uzaklığa dayanan formül

Barajdan belli mesafelere enkesitler alınarak, bu enkesitlerin bir grafiğe işaretlenmesi sonucunda eğrinin altında kalan alan rezervuar hacmine karşı gelir.

3.3.7 Üniversal metot

Üniversal metot, Musgrave (1947) denkleminin geliştirilmesi ile elde edilmiştir. Bu metot, yıllık toprak kaybı hesabına dayanmaktadır. Metodun uygulama esasları aşağıdaki üç maddede toplanabilir (Arpacıoğlu, 1969).

- a- Rezervuarın yağış alanı karakteristikleri etüdü yapılır.
- b- Yağış alanında yıllık teorik sediment kaydı hesabı yapılır.
- c- Rezervuarda kapasite hesabı yapılır.

Sembolik olarak bu metot şu formülle ifade edilebilir.

$$S_t = R_p.K.L.I.R_c.W$$

Burada,

S_t : Yıllık ortalama toprak kaybını,

R_p : Yağış karakteristikleri fonksiyonunu,

K : Toprak şartları fonksiyonunu,

L : Ünitelerde meyil uzunluğu fonksiyonunu,

R_c : Vejetasyon örtüsü fonksiyonunu,

W : Mevcut toprak muhafaza ve ıslah tedbirleri fonksiyonunu

ifade etmektedir.

3.4 Rezervuar Tuzaklama Verimi

Rezervuara giren suyun taşıdığı katı madde taneciklerinin bir bölümü rezervuar içinde çökelir, bir bölümü de çıkan su ile birlikte rezervuarı terk eder. Rezervuarın katı madde taneciklerini tutma yeteneğine tuzaklama verimi denir ve rezervuara gelen sedimen yüzdesi olarak ifade edilir.

Rezervuar tuzaklama verimi Brune'nin (1941) araştırmalarına göre,

- a- Depolama kapasitesinin giren su miktarına oranına,
- b- Rezervuarın eksikliğine,
- c- Rezervuar biçimine,
- d- Çıkış yapısı ve işletme biçimine,
- e- Birikintinin granülometrik özelliklerine,
- f- Çeşitli koşullar altında ince birikintinin davranışına,

bağılıdır (Günerman, 1975).

4. HEC-6

4.1 Modelin Amacı ve Felsefesi

HEC-6, bir-boyutlu hareketli-sınırlı açık kanal akımı sayısal modeli olup, pek de uzun olmayan bir sürede (örneğin bir yıllık sürede; her bir taşkın olayı için ayrı uygulama da yapılabilir) akarsu profillerinde (boykesitlerinde) oyulma ve/veya birikme sonucu meydana gelen değişiklikleri simule etmek ve önceden tahmin etmek amacıyla tasarımılanmıştır. Kaydedilen sürekli akım, değişik debi ve sürelerde bir dizi düzenli akıma ayrılır. Herbir akıma ait bir su yüzeyi profili hesaplanarak her enkesitte enerji eğimi, hızı, derinliği, vb. değerler elde edilir. Bu değerlere dayanarak, her enkesitte potansiyel sediment taşınma oranları hesaplanır. Akım süresi ile birlikte bu oranlar, akarsuyun her doğrusal kısmında oluşan sedimentin volumetrik hesabının yapılmasını sağlar. Herbir kesitteki oyulma veya çökel miktarı hesaplanarak, enkesit buna göre ayarlanır. Bir sonraki akımın hesaplanmasına geçilir ve çevrim, güncelleştirilmiş geometriyle başlanarak tekrarlanır. Sediment hesapları, partikül büyüklüğü fraksiyanuna göre yapılır, böylece hidrolik sınıflandırmanın ve kıyı koruma önlemlerinin simulasyonuna olarak sağlanır.

HEC-6 özelliklerinin bazıları şunlardır: Akarsu sistemleri, akarsu yatağının taranması, çeşitli sedde ve tahkimat ve ilgili analizleri yapabilir ve sediment taşınma oranlarının hesaplanması ile ilgili çeşitli metodları kullanabilir.

Bazı durumlarda, tortul birikimini, akım hidroliğinde ayırmak mümkündür. Örneğin, derin baraj göllerinde sedimentasyon, başlangıçta gerekli önlemler alınmazsa, zaman içerisinde depolama kapasitesinin azalmasına neden olacaktır. Ancak, sığ baraj göllerinde ve akarsuların çoğunda sediment taşınması, akarsu yatağının düzgünlüğü ve kıyı geometrisindeki değişiklik arasındaki etkileşim dikkate alarak önceden tahmin etmesi mümkündür. HEC-6, söz konusu etkileşimleri simulasyona dahil edecek şekilde tasarımılanmıştır.

HEC-6, memba kaynaklarının verimi bilindiğinde, bir akarsuyun sedimenti taşıma yeteneğini simule edebilir. Sediment taşınım hesabı, Einstein'ın yatak yükü Fonksiyonun'da (1950) ¹ tanımlandığı gibi gerek yatak gerekse asılı madde yükünü (sürüntü maddesi) içerir. Akarsuyun, sürüntü maddesiyle aynı çeşit malzemeden oluşan bir yatağa sahip doğrusal kısmına, "aluviyal" doğrusal kısım (Einstein 1950). Einstein'a göre doğrusal kısım, akarsuda oluşan ve taşınan sedimentin özelliklerinin en belirgin olduğu yerdir. Bu özellikler, akarsu kıyılarını oluşturan malzemelerde görülür. Akımın hidrolik özelliklerden ve sediment malzemesinin özelliklerinden (nehir yatağı sediment granül numunelerinin analiziyle belirlenebilir) yararlanılarak sediment taşınım oranı hesaplanabilir. HEC-6, geçici bir akım aralanmasında sediment malzemelerinin hareketini ve yatak malzemesinin hacmin korunması suretiyle, akarsu yatağı boyutlarındaki değişiklikleri hesaplanması için benzer kavramları uygular. Siltlerin ve killerin taşınımı, birikimi ve erozyonu da hesaplanabilir. Koruyucu bir tabakanın oluşturulması ve ortadan kaldırılmasının etkileri de simule edilir.

4.2 HEC-6 Uygulamaları

Doğal bir akarsuda hareket eden sediment, kıyılarında biriken sediment malzemesinin partikül büyüklüğü ve gradasyonu ile akım hidroliği arasında dinamik bir denge vardır. Baraj gölü inşa edildiği, taşkın önlemler alındığı, veya su yolu trafiği için minimum akım derinliği korunduğu zaman bu denge değişebilir. Bu gibi değişikliklerin nehir hidroliğine, sediment taşınım oranlarına ve nehir yatağı geometrisine etkisinin değerlendirilmesinde HEC-6 kullanılabilir.

HEC-6 su akım ve/veya seviyesindeki değişikliklerin tekrarı ve süresinin değişmesinden, veya su yolu yatağının geometrisinin değişmesinden (taşıma alanlarında yapılan tahkimat sonucu, vb.) kaynaklanabilecek ve uzun vadede oluşabilecek oyulma ve/veya birikme eğilimlerini simule edecek şekilde tasarlanmıştır. Baraj göllerinde sedimentasyonu (gerek hacim gerekse yer olarak) değerlendirmek, su yolu trafiği için gerekli derinliğin sağlanması için akarsuyun

¹ Einstein'ın Yatak - Yükü Fonksiyonu, HEC-6'nın bu versiyonuna dahil edilmemiş olmakla birlikte, Einstein'ın partikül hareketi ve etkileşimi kavramları, sürüntü maddesi bileşimi ve taşınımı arasındaki dinamik etkileşimleri tanımlamak için HEC-6'da kullanılan algoritmaların geliştirilmesinde yardımcı olmuştur.

daraltılmasını veya akarsu yatağının bakım amacıyla taranması hacmini projelendirmek, tarama işleminin sedimentasyon oranına etkilerini belirlemek, önemli taşkınlarda oluşabilecek maksimum oyulmayı tahmin etmek ve akarsu yataklarında sedimentasyonu değerlendirmek için kullanılabilir. HEC-6'nın ilk uygulamaları ile ilgili bilgi Thomas ve Prasuhn (1977) tarafından verilmiş olup, daha sonraki yıllara ait uygulamalar hakkında bilgi HEC tarafından sağlanmıştır. (1992). Sedimentasyon incelemelerinde ışık tutacak yönergeler USACE'de (1989), nehir hidroliği çalışmaları USACE'de (1992) yer almaktadır.

4.3 HEC - 6 Özellikleri

4.3.1 Geometri

Ana akarsu, kolları ve yerel akım giriş/çıkan noktalarından oluşan bir nehir sistemi simule edilebilir. Akarsu kollarındaki sediment taşınımının hesaplandığı bu sistem, bu çalışmada şebeke modeli olarak adlandırılmıştır. Nehir ve kollarındaki sediment taşınımı HEC - 6 ile hesaplanır. Bilgisayar belleğinin sınırlı olması nedeniyle, şebeke kollarının adedi, enkesit adedi, vb. ile ilgili üst limitler konulmuştur. Bunlar, çeşitli bilgisayar sistemlerindeki HEC-6 uygulamalarına göre değişebileceği için, bilgisayarı operatörü, kullandığı versiyonun limitlerini saptamak amacıyla çıktı dosyasındaki başlığı kontrol etmelidir.

4.3.2 Hidrolik

Bir boyutlu enerji eşitliği (USACE 1959), su yüzeyi profili hesaplarında HEC-6 tarafından kullanılır. Manning formülü ve "n" değerleri, akarsu debisi veya su yüzeyi kotuna göre belirlenebilir. Manning'in "n" değeri, her enkesit için yatak gradasyonu kullanılarak Limerinos (1970) metoduyla değiştirilebilir. Enerji kayıplarına, genişleme ve büzülme kayıpları da dahil edilir. Enerji kaybı katsayıları, herhangi bir enkesitte değiştirilebilir.

Hidrografdaki her debi için mansap su yüzeyi kotu, ya bilgisayar kullanıcısı tarafından belirlenen nominal değer eğrisi ya da süreye göre değişen su yüzeyi kotuyla saptanabilir. İç kıyı koşulları da herhangi bir zaman değiştirilebilir.

Bölünmüş akım hesapları yapılmadığı gibi, köprülerdeki enerji kayıpları da HEC-6 ile hesaplanamaz. Aşırı kritik akım, oluşması olasılığı varsa, normal derinliğe göre yaklaşık olarak hesaplanır; bu nedenle, akarsuların aşırı kritik akımlara maruz kalacak doğrusal kesimlerinde sediment taşınım olayı HEC - 6'da basitleştirilmiştir. HEC-6 “sabit yatak” modunda uygulanabilir. Bu uygulama, yalnız su yüzeyi profillerinin hesap edilmesi bakımından HEC - 2 uygulanmasıyla benzeşmektedir. Giriş akımı sediment yükü ve yatak gradasyonları gibi bilgiler, HEC - 6'nın sabit – yatak modunda kullanılması için gerekli değildir.

4.3.3 Sediment

Sediment taşınım oranları, granül büyüklüğü 2048 mm'e kadar olan sediment için hesaplanır. 2048 mm'den daha büyük ve sürüklenmeyen granüller yalnız gradasyon hesaplarında kullanılır. Granül büyüklüğü 0.0625 mm'e kadar olan kil ve silt birikim ve erozyonu hesaplarında, birikim için Krone metodu (1962), oyulma hesaplarında ise Ariathurai ile Krone'un (1976) Parthenaides'den uyarladığı (1965) metod kullanılır. Kil ve silt hesaplarında, çökme hızına dayalı ve önceden tanımlanmış bir yöntem kullanılır.

HEC - 6 kullanıcısı, yatak yükü için sediment taşınım fonksiyonunu kendisi seçer. Programda mevcut taşınım fonksiyonları şunlardır:

- a. Toffaleti (1966) taşınım fonksiyonu
- b. Madden'in (1963), Lauseri (1958) formülü uyarlaması
- c. Yang (1973) kumlar için akarsu gücü
- d. Duboys taşınım fonksiyonu (Vanoni 1975 uyarlaması)
- e. Ackers - White (1973) taşınım fonksiyonu
- f. Colby (1964) taşınım fonksiyonu
- g. Toffaleti (1966) - Schoklitsch (1930) birleşik fonksiyonu
- h. Meyer - Peter & Müller (1948) fonksiyonu
- i. Toffaleti ve Meyer - Peter & Müller fonksiyonu

- j. Madden'in (1985 – yayımlanmamış), Laursen (1958) bağıntısı uyarlaması
- k. Oyulma hesaplarında Ariathurai & Krona (1976) tarafından Parthenaides (1965) metodunun uyarlanması, kohezyolu sediment birikimleri için Krone (1962) metodu
- l. Copelond'in (1990), Loursen bağıntısı uyarlaması (Copelond & Thomas 1989)
- m. Gözlem verilerine dayanarak, HEC-6 kullanıcısının belirlediği taşınım katsayıları

Yukarıda sıralanan metodlar (metod (a) dışında), ince sürüntü malzemesi yoğunluğu yüksek olduğu zaman sediment taşınım potansiyelinin ayarlanması ile ilgili Colby (1964) metodundan yararlanırlar. Kıyı tahkimatı ve tahkimatın zarar görmesi koşulları Gessler (1970) metoduna dayanılarak simule edilir. Birikme/oyulma modeli, hareketli yatakta (yani, sediment hareketi nedeniyle düşen yer değiştiren alan) hareketli her enkesit kullanılarak çıkarılır.

Hareketli yatak limitleri, akarsu yatağı kıyı "limitlerinin" ötesine uzanabilir. Tüm ıslak alanlarda, bu alanlar hareketli yatak limitlerinin ötesine uzansa bile, birikme olabilir. Oyulma ise sadece hareketli yatak limitleri dahilinde oluşur. Sediment taşınım potansiyeli, yalnız akarsu yatağının hidrolik ve sediment özelliklerine bağlıdır. Ana kayaç veya kil tabakası gibi jeolojik etmenlerin simulasyonu, herhangi bir belirli enkesitte hareketli yatağın minimum kotu belirlenerek gerçekleştirilebilir.

Tüm nehir sisteminde sediment sınırı koşulları (su deşarjının bir fonksiyonu olarak sisteme giren sediment yükü) zamanla değişebilir. HEC-6, granül boyutuna göre su derivasyon ve sedimentasyonunu simule edebilir. Her bir mansup sınırında geçici sınır koşulu vardır; bu sınır koşulu, bu kesite giren tüm tortulları kesitten geçmeye zorlar; sonuçta bu kesitte hiçbir oyulma veya tortul çökel oluşmaz.

4.3.4 Genel

Bilgisayarda işlemlendirilen bilgiler, simulasyonun başlangıcından itibaren, her enkesitten geçen toplam sediment miktarı ile her enkesitten oluşan tortul çökelilerin (veya oyulmanın) hacmini içerir. Dip tarama işleminin etkileri de HEC-6 ile simule

edilebilir. Tarama işlemine, belirli kalıntıda bir çökel olduğu zaman başlanabilir, ya da düzenli aralıklarla tarama yapılabilir. Suyolu trafiği için minimum derinliğin sağlanması gerektiğinde de tarama yapılabilir.

Nehir sistemi tümüyle simule edilecekse ve her nehir ve kolunun ayrı ayrı analiz edilmesi gerekiyorsa HEC-6, önceki versiyonlarının kullanımın olduğu verileri kullanır. Geometrik segmanları komple bir akarsu şebekesiyle ilişkilendirmek için, kontrol noktası verileri kullanılmalıdır. HEC-6'nın, yerel giriş akımlarını da içeren eski versiyonlarından alınan veri kümeleri, tüm \$TRIB(ırmakların nehre karıştığı akış noktaları) kayıtlarının yerine \$LOCAL kayıtlarını işlenmesi ve her yerel giriş akımı noktası için bir su sıcaklığı değeri girilmesi koşuluyla kullanılabilir.

4.4 Kabul Edilen Teorik Değerler ve Teknik Sınırlamalar

HEC-6, debi hidrograflarını temsil etmek için düzenli akım ortalamasından yararlanan bir-boyutlu sürekli simulasyon modelidir. Akarsu kıvrımlarının geliştirilmesini simule etmediği gibi, bir enkesitte sediment yükünün yanal dağılımını da simule etmez. Enkesit, girdi verilerine göre iki kısma ayrılır; hareketli yatağı içeren kısım ve içermeyen kısım. Hareketli yatak, ıslak çevre sınırları ve bu çalışmanın başka bölümlerinde tanımlanan diğer sınırların içinde kalan alandır. Enkesitin tüm ıslak kısmı doğal olarak aşağı/yukarı hareket eder. Tortul çökel olduğu zaman yatak kotunu yatay tabakalar halinde ayarlamak gibi bir seçenek de vardır. Yatak formları simule edilmese de "n" değerleri, deşarj fonksiyonları olarak kullanılabilir, bu durumda, yatak formlarının etkileri dolaylı olarak dikkate alınabilir; ancak, HEC-6 kullanıcısının, ölçümlere dayalı verilerden hareketle bu etkileri saptaması gerekecektir. Limerinos (1970) metodu, yatak engebe koşullarının hesaplanmasında kullanılabilir. Yoğunluk ve sekander akımlar simule edilmez.

Sediment taşınımının HEC-6 ile hesaplanabildiği bir nehir sisteminin tanımlanmasında üç engelle karşılaşır:

1. Nehir kollarında sediment taşınımı olanaksızdır.
2. Kapalı luplar gibi odacıkların civarındaki akım doğrudan uyumlandırılamaz.

3. Herhangi iki enkesit arasında yalnız bir kavşak veya yerel giriş akımı noktası bulunabilir.

4.5 Taşkın Olaylarının Ayrı Ayrı analizi

HEC-6, uzun dönemde oluşacak oyulma ve/veya birikimleri analiz edecek şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle, taşkın olaylarının ayrı ayrı analizine ihtiyatla yaklaşmak gerekir. HEC-6 sürüntü malzemesi algoritmaları, herbir zaman aşamasında denge koşullarının (başka bölümde açıklanacak bazı sınırlamalarla) yaratıldığını varsayar; ancak, taşkın olaylarında kararsız denge-dışı koşullar çoğu kez prototipi etkiler. Sürekli değişen hidrolik ve sediment dinamiği nedeniyle bu koşullarda denge oluşmayabilir. Bu durumda, taşkın olayı analizleri yalnız kalitatif bazda yapılmalıdır. Yavaş yükselen ve alçalan hidrograflara sahip büyük akarsularda olduğu gibi yavaş yavaş değişen sediment ve hidrolik koşullar için taşkın olayı analizlerinden daha kesin sonuçlar alınabilir.

5. HEC-6 SEDİMENT HESAPLARI İÇİN TEORİK DAYANAK

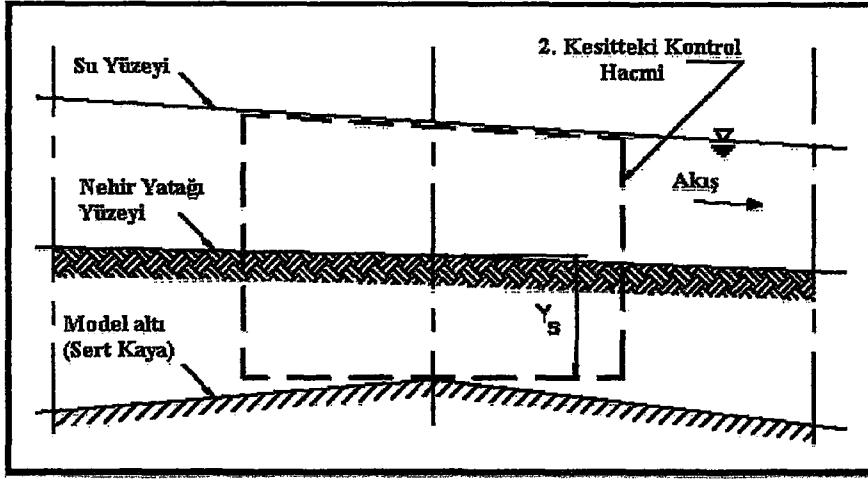
Her granülametri hidrografından her debi için sediment taşınım oranları hesaplanır. Taşınım potansiyeli, sanki sözkonusu tane büyüklüğü sürüntü (yatak) malzemesinin % 100'nü oluştururmuşcasına, yataktaki her tane büyüklük sınıfı için hesaplanır. Daha sonra, taşınım potansiyeli, o anda malzemedeki mevcut her granülametri sınıfının kesiriyle (fraksiyonuyla) çarpılarak ilgili granülametri sınıfının taşınım kapasitesi bulunur. Kesirler, bir zaman aşamasında çoğunlukla önemli ölçüde değişirler; bu nedenle, bu değişikliklerin taşınım kapasitesini etkilemesini sağlamak için bir yineleme tekniği kullanılır.

5.1 Sediment Malzemesinin Sürekliliği İle İlgili Eşitlik

5.1.1 Kontrol hacmi

Her enkesit bir kontrol hacmini temsil eder. Kontrol hacminin genişliği genelde hareketli yatak genişliğine eşit olup derinliği, su yüzeyinden ana kayacın üst tarafına veya yatak yüzünün altında yer alan başka bir jeolojik oluşuma kadar uzanır. Ana kayac yoksa, rasgele bir sınır ("model tabanı") belirlenir. (bkz. Şek.5.1)

Enkesit 2'nin kontrol hacmi, kalın kesik çizgiyle gösterilmiştir. 1 ve 3.enkesitlerin kontrol hacimleri, enkesit 2nin kontrol hacmiyle birleşir.



Şekil 5.1. Yatak Malzemesi Kontrol Hacmi

Bu kontrol hacmine ait sediment süreklilik eşitliği yazılır; ancak, enerji eşitliği enkesitler arasında yazılır. Gerek sediment sürekliliği gerekse enerji muhafazası tanımlarının aynı süreyi kapsamaması gerektiğinden ve iki enkesitin ortalaması sayısal sonuçları düzeltme eğiliminde olduğundan kontrol hacminin şekli kavramsal olarak bozulur.

Akarsu yatağındaki sediment miktarı, ortalama bir uç alan tahmini kullanılarak şöyle hesaplanır:

$$V_{Sed} = B_0 \cdot Y_s \cdot \frac{L_u + L_d}{2} \quad (5.1)$$

Burada,

B_0 = Hareketli yatağın genişliği

L_u, L_d = Kontrol hacmi hesabında kullanılan, sırasıyla, memba ve mansapta doğrusal kısım.

V_{sed} = Kontrol hacimdeki sediment miktarı

Y_s = Kontrol hacimdeki sedimentin derinliği.

Bir su derinliğinde (D), su kolundaki akışkan miktarı

$$V_f = B_0 \cdot D \cdot \frac{L_u + L_d}{2} \quad (5.2)$$

B_0 (genişlik) ve D (derinlik) aynı sürede ortalamaları alınarak hesaplanan hidrolik parametrelerdir.

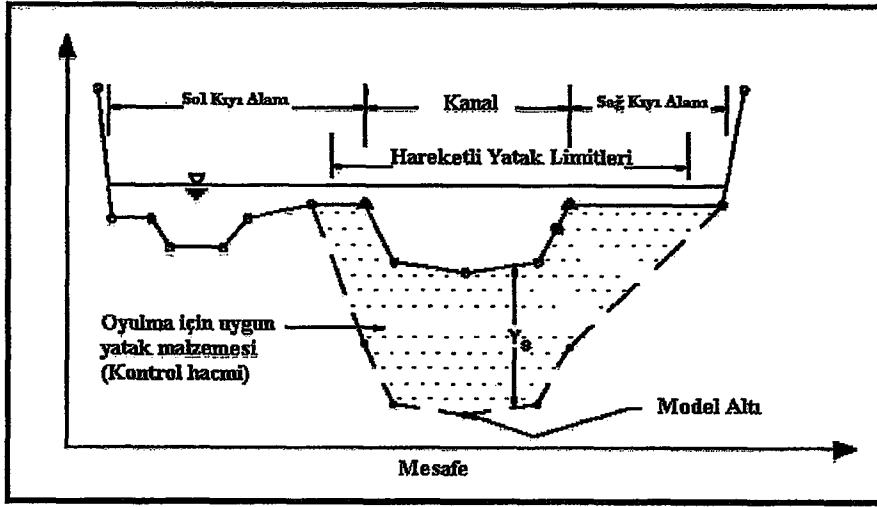
Sediment eşitliğinin sürekliliğinin çözümünde, yatak asılı malzemesinin başlangıçtaki yoğunluğunun (derişiminin) dikkate alınmayacak kadar önemsiz olduğu varsayılır. Bir başka deyişle, tüm sürüntü malzemesi, hesaplama aralığının başlangıcında sediment rezervuarında tutulur ve hesaplama aralığının sonunda sediment rezervuarına iade edilir. Bu nedenle, kontrol hacminde sürüntü malzemesi yükünün başlangıcındaki yoğunluğunun saptamak gerekmez.

Hidrolik parametrelerin, yatak malzemesi sınıflarının ve hesaplanan taşınım kapasitesinin, tüm kontrol hacmi boyunca değişmediği varsayılır. Akarsu sistemine giren sediment yükünün ise, kontrol hacmine bağlı olarak, anında dağıldıklarını (çabuk difüzyon) varsayar.

5.1.2 Kontrol hacmi kavramları

HEC-6'da kullanılan kontrol hacmi kavramı doğal bir akarsudaki alüvyonu temsil eder. Zaman içinde akarsu, sınırlarıyla, düşeyde ve yanalda, sediment mübadelesi yapacak, kanallar, doğal seddeler, kıvrımlar, adacıklar oluşturarak şeklini değiştirecektir. Oysa HEC-6, yalnız düşeyde sediment mübadelesinin modelini çıkarır; bunun genişliğini ve derinliğinin ise HEC-6 operatörü tanımlanır. Doğal nehir sisteminin modelinin doğru çıkarılması için, akım alanı ile yatak sedimenti arasındaki sediment alışverişinin doğru modellenmesi gerekir. Bu mübadele sürecinin fiziği iyi anlaşılmamaktadır.

HEC-6 iki sediment kaynağını dikkate alır: Sisteme giren sudaki sediment yükü ve yatak sediment yükü. Bunlardan birincisi bir sınır koşulu olup girdi verileriyle tanımlanır. Yatak sedimenti kontrol hacmi ise kaynak - çökme bileşini olup, yine girdi verileriyle tanımlanır.



Şekil 5-2. Akarsu Yatağında Sediment Malzemesi

Kum ve daha iri tanelerin taşınım teorisi, taşınım oranını (hızını), yatak yüzeyindeki sediment taneleri gradasyonu ve akım hidroliği ile ilişkilendirir. Oyulma sürecini sınırlamak amacıyla, ana kayacın veya ayrışmayı önleyebilecek başka malzemenin derinliği de saptanmalıdır. Bu gereksinimler, yatak yüzeyi gradasyonu ve yüzey altı gradasyonu ayrı ayrı hesaplanarak HEC-6'da ve alınmaktadır.

Şekil 5-2'deki kesiksiz çizgiyle birleştirilen koordinatlar, simülasyonun başlangıcında ilk enkesitin şeklini göstermektedir. Oyulma koşullarında, sisteme giren sediment yükü ile doğrusal kesimdeki taşınım kapasitesi arasındaki fark, oyulma hacmine çevrilir. Her bir süre aşamasından sonra "hareketli yatak" sınırları içindeki koordinatlar, hareketli yatak genişliği ile bunu temsil eden doğrusal kısım uzunluğu çarpıldığında gerekli oyulma hacmine eşit miktarda alçaltılır.. Başlangıçta model taban kotu belirlenmemişse genelde 30 m'lik bir yanılma değeri kullanılır. Bu değer, bundan böyle, oyulmaya maruz yatak malzemesinin maksimum derinliği olacaktır.

5.1.3 Exner eşitliği

Yukarıda tanımlanan oyulma ve birikme süreçleri, bilgisayar ortamında simülasyon amacıyla sayısal algoritmalara dönüştürülmelidir. Akarsu yatağının düşey hareketinin simülasyonu, sediment malzemesi süreklilik eşitliği kullanılarak yapılır

(Exner eşitliği):

$$\frac{\partial G}{\partial x} + B_0 \cdot \frac{\partial Y_s}{\partial t} = 0 \quad (5.3)$$

Burada,

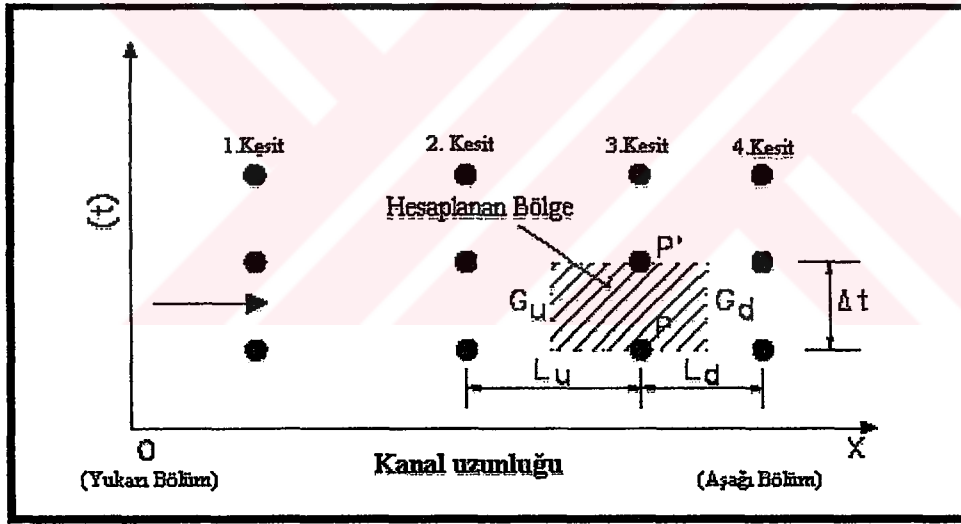
B_0 = Hareketli yatağın genişliği

T = Zaman

G = Δt zaman aşamasında ortalama sediment debisi (Ft^3 / s)

X = Akarsu yatağı boyunca uzunluk

Y_s = Kontrol hacminde sediment derinliği.



Şekil 5-3. Hesaplama Ağı

5-4 ve 5-5 Eşitlikleri, Şekil 5-3'de gösterilen P noktası için sonlu fark şeklinde ifade edilen Exner Eşitliğini temsil eder.

$$\frac{G_d - G_u}{0.5(L_d + L_u)} + \frac{B_{sp}(Y'_{sp} - Y_{sp})}{\Delta t} = 0 \quad (5-4)$$

$$Y'_{sp} = Y_{sp} - \frac{\Delta t}{(0.5)B_{sp}} \cdot \frac{G_d - G_u}{L_d + L_u} \quad (5-5)$$

Burada;

B_{sp} = Hareketli yatağın P noktasındaki genişliği

G_u , G_d = Sırasıyla, memba ve mansap enkesitlerindeki sediment yükleri

L_u , L_d =Enkasitler arasında, sırasıyla, memba ve mansap doğrusal kısım uzunlukları

Y_{sp} , Y'_{sp} = P noktasında, zaman aşamasından önce ve sonra sediment derinliği

0,5 = Memba ve mansap doğrusal kısım uzunlukları katsayısı olarak “hacim biçim faktörü”

Δt = Hesap zamanı aşaması

Sediment yükü G_d , P noktasındaki taşınım kapasitesi, sisteme giren sediment, yatakta mevcut malzeme ve yüzey koruma malzemesi dikkate alınarak hesaplanır. G_d ile G_u arasındaki fark, şekil 5-3’de “hesaplama bölgesi” olarak gösterilen doğrusal kısımda biriken veya oyulan malzeme miktarıdır ve 5-5 eşitliği kullanılarak yatak kotundaki bir değişikliğe dönüştürülür.

Her tane boyunun taşınım potansiyeli, zaman aralığının başlangıcındaki hidrolik koşullarda hesaplanır ve bu zaman aralığı içinde bir daha hesaplanmaz. Bu nedenle, her zaman aralığı, bu zaman aralığındaki oyulma veya birikme sonucu yatak kotunda meydana gelecek değişimlerin, taşınım potansiyelini zaman aralığının sonuna kadar önemli ölçüde etkilememesini sağlayacak şekilde yeterince kısa olmalıdır. Bir günün bölümleri, yüksek su debileri için tipik zaman aralıklarını oluştururken birkaç günlük hâttâ aylık süreler düşük debiler için yeterli olabilir.

Bir zaman aşamasında kabul edilebilir yatak kotu değişim miktarı, HEC-6 kullanıcısının kararına kalmıştır. Bir hesap süre aralığında yatak kotunda meydana gelen kabul edilebilir değişme değeri olarak ya 1lt ya da su derinliğinin % 10’u (hangisi daha az ise) kullanarak iyi sonuçlar alınmıştır. Ancak, yatak malzemesinin

gradasyonu, zaman aralığında tekrar hesaplanır, çünkü taşınan malzeme miktarı, yatak malzemesinin gradasyonuna karşı çok duyarlıdır.

5.1.4 Yatak gradasyonu hesaplarının yinelenmesi

HEC-6 sediment sürekliliği ile ilgili Exner denklemini çözer. Taşınım kapasitesi, kontrol hacmine giren yükten daha fazla ise, mevcut sediment, sürekliliği sağlamak adına ait taşınım kapasitesi, yatakta mevcut bu tanenin fraksiyonuna bağlı olduğu için, sediment / yatak mübadelesi sırasında mevcut fraksiyonları sık sık hesaplamak gerekir. Bir zaman aralığında meydana gelen mübadele artım sayısı SPI tevrik olarak zaman aralığının uzunluğu Δt , hız ve doğrusal uzunlukla ilintilidir:

$$\text{Mübadele Artımları Sayısı} = \frac{\Delta t \cdot H_u}{\text{Doğrusal Kısım Uzunluğu}} \quad (5-6)$$

Genellikle, mübadele artım sayısı (SPI) önemli sayısal sorunlarla karşılaşılmasızın, bundan daha az olabilir. Öncelikle SPI sıfırlanmak (Eşitlik 5-6 yardımıyla) ve aşırı bir hidrolojik olay simüle edilmelidir. Bu simülasyon en dengeli (ve hesap işlemi bakımından yoğun) durum olmalıdır. Daha sonra, SPI = 50 veya daha yüksek değerden başlanarak sonuçlar, SPI = 0 durumu sonuçlarından tamamen farklı oluncaya kadar 10'lu artımlarla azaltılır. SPI = 0 durumunda elde edilen sonuca yakın bir çözüm veren en küçük SPI sayısı kullanılmalıdır.

5.2 Hareketli ve Hareketsiz Katların Saptanması.

HEC-6, hareketli ve hareketsiz kat kavramını uygular. Hareketli katın, akımla sürekli karıştığı varsayılır, fakat yüzeyinde, ince tanelerin akımda tutulmasını engelleyen yavaş hareketli taneler bulunabilir. İki farklı işlem simüle edilir: (1) Hareketli akışkandaki enerji nedeniyle yatak sediment partikülleri ile akışkan – sediment karışımı arasında meydana gelen karışma işlemi ve (2) yatak yüzeyinin hareketli ve hareketsiz tabakalar arasında oluşan karışma işlemi. Karıştırma mekanizması, hareketli suyun türbülansı ve yatağın kesme gerilimiyle harekete geçer. Karıştırma derinliği ("Denge derinliği), akım yoğunluğunun (birim debi), enerji eğiminin ve tane büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak ifade edilir.

5.2.1 Denge derinliği

Belirli boyda bir tanenin yatak yüzeyinde hareketsiz kaldığı minimum enerji hidrolik durumu, sırasıyla, Manning'in, Strickler'in ve Einstein'ın eşitliklerinin birleştirilmesiyle hesaplanabilir:

$$V = \frac{1.49}{n} R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} \quad (5-7)$$

$$n = \frac{d^{\frac{1}{6}}}{29.3} \quad (5-8)$$

$$\psi = \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \cdot \frac{d}{DS_f} \quad (5-9)$$

Burada,

d = Tane çapı

D = Suyun derinliği

V = Suyun hızı

P_s = Kum tanelerinin yoğunluğu

P_f = Suyun yoğunluğu

Ψ = Shield'in parametresinin tersi ile ilintili olarak Einstein'ın yatak yükü fonksiyonundan sediment taşınım yoğunluğu

S_f = sürtünme eğimi

Dikkate alınmayacak kadar önemsiz taşınım değeri ψ₃₀ ya da daha yüksek değere eşittir. Kum özgül ağırlığı 2.65 ve ψ değeri 30 alınarak S_f değeri için 5-9 denklemi şöyle çözülür:

$$S_f = \frac{d}{18.18D} \quad (5-10)$$

Bunu Manning ve Strickler denklemleriyle birleştirecek, R'nin yerini D olacak ve hızla derinlik çarpılarak birim debi değeri bulunacaktır.

$$q = \frac{(1.49)(29.3).D^{5/3}}{d^{1/6}} \left[\frac{d}{18.18D} \right]^{1/2} \quad (5-11)$$

Burada : q = akımın bahar birim genişliğinde su debisi.

Belirli bir tane boyu ve birim debi için denge derinliği:

$$D_e = D = \left[\frac{q}{10.21d^{1/3}} \right]^{6/7} \quad (5-12)$$

Burada, D_e = d tane boyu için, sediment taşınım minimum su derinliği (yâni, denge derinliği)

5.3 Yatak Malzemesinin Hidrolik Sınıflandırılması-Metod 1

Yatak malzemesinin bileşiminde (gradasyon) zamanla meydana gelen değişiklikleri hesaplamak için HEC-6 iki yöntem kullanır. Her bir yöntemin içerdiği sınıflamalar nedeniyle, bu yöntemlerin tüm koşullara uygulanamayacağını unutmayınız.

Oyulma hızı ile ilgili başlıca sınıflamalar, hareketli yatak tabakasının kalınlığı ve oyulmaya dayanıklı yüzey alanının miktarıdır. Hareketli (aktif) yatak, yatak yüzeyi ile belirli yatak malzemesi gradasyonu ve akım koşullarında hiçbir taşınımın meydana gelmediği varsayımsal bir derinlik arasında yer alan malzeme tabakasıdır. Hareketli yatak kalınlığı, her zaman aralığının başlangıcında hesaplanır. Oyulmaya karşı dayanak yüzey alanı miktarı, hareketli yatağın oyulma sonucu kaybettiği miktarı ile orantılıdır. Oyulmaya dayanıklı yüzeyin stabilitesi, Gessler (1970) tarafından incelenmiştir. Her bir zaman aralığında her bir kontrol hacminde sediment mevcutsa taşınım kapasitesinin gerçekleşebileceği varsayılır. Yatağı korumak için yeterli miktarda kaba yüzey malzemesinin birikmesi sağlamak için gerekli oyulma derinliği şöyle hesaplanır: Şekli 5-4'de ve 5-13 ve 5-14 eşitliklerinde görüldüğü gibi, tane sayısı X her bir tane tarafından korunan yüzey alanı = toplam yüzey alan (SA)

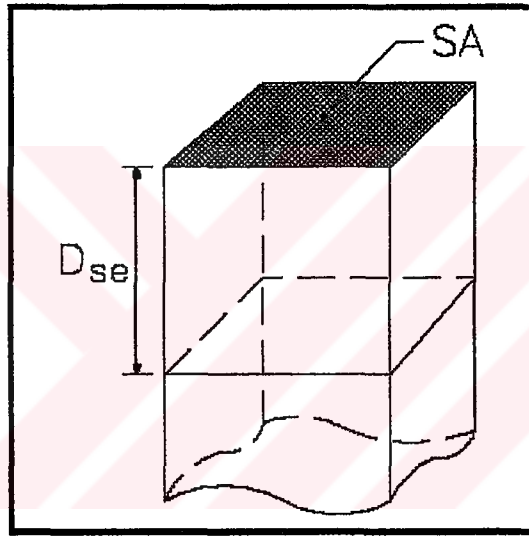
$$SA = N \cdot \left[\frac{\pi d^2}{4} \right] \quad (5-13)$$

$$N = \frac{SA}{\left[\frac{\pi d^2}{4} \right]} \quad (5-14)$$

Burada;

N = yatak yüzeyindeki sediment tanesi sayısı (yuvarlak tane)

SA = yatak yüzey alanı



Şekil 5-4. Yüzey Alanı (SA)'na Sahip Yatak Malzemesinin Bir kolonu

Kolonun yüzey alanı, potansiyel oyulma alanının kolonun toplam yüzey alanından daha küçük olmasını sağlayacak şekilde yüzeylenmiş bir kayaç veya koruyucu tabaka ile kısmen korunabilir. Bu durumda, oyulma işleminden etkilenecek tane sayısı N azalacaktır:

$$N = \frac{A.SAE}{\left[\frac{\pi d^2}{4} \right]} \quad (5-15)$$

Burada,

SAE = potansiyel oyulma yüzey alanının toplam yüzey alanına oranı.

Değişik boylarda tanelerin oluşturduğu bir karışım söz konusu ise, yatağı, bir tane çapının kalınlığında tamamen örtmeye yeterli tane boyu hacmini yaratmak için gerekli oyulma derinliği şöyle hesaplanır:

$$V_{se} = PC.SA.D_{se} = N \frac{\Pi d_a^3}{6} \quad (5-16)$$

Burada,

d_a = koruyucu tabakada en küçük duraylı (stabl) tane boyu

D_{sa} = bir zaman aralığında dengeye ulaşmak için oyularak uzaklaştırılması gereken yatak malzemesi derinliği

PC = d_a boyundan daha iri yatak malzemesi fraksiyonu

V_{sa} = bir zaman aralığında dengeye ulaşmak için oyularak uzaklaştırılması gereken yatak malzemesi hacmi

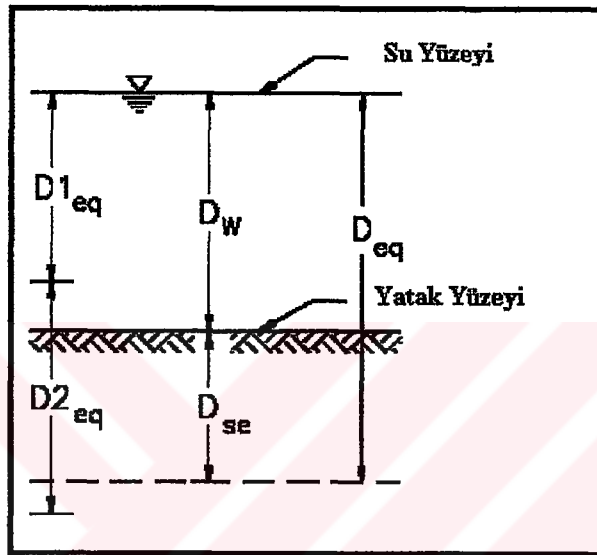
Yüzey alanı ve hacim denklemleri birleştirilerek ve koruyucu tabakanın tümüyle sağlanması için gerekli oyulma derinliği bulunarak, D_{se} değeri şöyle hesaplanır.

$$D_{se} = \left[\frac{SA.SAE}{\Pi d^2/4} \right] \left[\frac{(\Pi d^3/6)}{PC.SA} \right] \quad (5-17)$$

$$= \left(\frac{2}{3} \right) \left[\frac{SAE.d}{PC} \right]$$

Bu eşitlik, 5-12 eşitliğiyle birlikte kullanılarak bir tane boyları karışımı ile ilgili denge derinliği hesaplanır. Eşitlik 5-17' de kullanılmak üzere PC değerini bulmak için, Şek.5-6'daki doğrusal çizgi segmanları aralamasında d ve PC değerleri arasındaki fonksiyanal ilişki ortalaması alınarak yatak sradasyan eğrisinde uygun bir segman bulunur. Uygun segmanın sradasyan eğrisine yerleştirilmesinde ilk adım, (5-12) eşitliğinden yararlanarak 1 ve 2 noktalarındaki (şekil. 5-5) tane boyutları için

denge derinlikleri $D1$ ve $D2_{eg}$ 'i hesaplanmaktadır. Gerçek su derinliği D_w , $D2_{eg}$ değerinden daha az ise, şek. 5-6' daki 1 ile 2 arasındaki doğru çizgi segmanı, gerekli fonksiyonel ilişkiyi tanımlar ve buna göre kesin denge derinliği hesaplanır. D_w değeri, nokta 2' deki tane boyuna ait denge değerinden yüksek ise, hesaplama, ya uygun segmana rastlanıncaya ya da ayrılmaya karşı yeterli koruma sağlayacak en küçük tane boyu belirleninceye kadar gradasyon eğrisindeki 2 ile 3, 3 ile 4 vb.. noktalara kadar devam edilir.



Şekil 5-5 Denge Derinliği Koşulları

HEC-6, yatak yüzeyi ile denge derinliği arasındaki malzeme bölgesini hareketli (aktif) tabaka olarak, denge derinliği ile model tabanı arasındaki bölgeyi hareketsiz tabaka olarak tanımlar. Hareketsiz tabaka başlangıçta ana yatakla aynı gradasyona sahiptir. Malzeme, hareketli tabakada biriktikçe gradasyona değişir ve hareketsiz tabakayla müdahale edilir. Hareketli tabaka kalınlığı, su derinliğine, hızına ve eğime bağlı olarak değiştikçe malzeme bir tabakadan diğerine hareket eder. HEC-6, her zaman aralığında her tane boyu sınıfında sediment yüzdesinin hesaplanmasını gerektiren exner denkleminin çözümü sırasında tane boyuna göre sınıflandırma yapabilir. Hareketli tabakasındaki tüm malzeme temizlendikten sonra yatak, bu hidrolik koşulda tamamen korunmuş olacaktır. Yatak malzemesinin karışımının doğru olduğu ve koruyucu tabaka aracının oyulma sonucu uzaklaşan malzeme hacmiyle orantılı olduğu varsayılarak oyulmaya maruz yüzey alanı SAE şöyle hesaplanır:

$$SAE = \frac{VOL_A}{VOL_{SE}} \quad (5-18)$$

Burada;

VOL_A = hareketli tabakada kalan malzeme hacmi

VOL_{SE} = hareketli tabakadaki toplam hacim

Daha küçük tanelerin, yatak yüzeyinin altında yıkanarak uzaklaşması SAE değeri ayarlanarak önlenir. Yatak sediment tanesi, yüzey koruma tabakasındaki taneden daha küçükse, SAE toplam yatak yüzeyinin %40' na kadar düşürülürken taşınım kapasitesi doğrusal olarak sıfırlanır (Harrison 1950) Daha sonra yalnız söz konusu tane büyüklüğü veya daha küçük tanenin sisteme giriş yükü, doğrusal kısım boyunca taşınır.koruyucu tabaka tane boyuna eşit veya daha iri taneler bu yöntemle sınırlandırılmaz.

5.3.1. Hareketli tabakanın erezyon derinliğine etkisi

Hareketli tabakanın derinliği hesaplandıktan sonra, ilgili enkesitte yatak değişim hesabına metod 1 yapar. Her mübadele artırımında (SPI) metod 1, aktif tabakadaki sediment hacmini kontrol eder. Ancak, zaman aralığının son mübadele artırımından önce aktif tabakadaki tüm malzeme uzaklaştırılmışsa, HEC-6 uyarı mesajı vermez. Bu durumda, hesaplanan erozyon hızları ve derinlikleri çok düşük değerlerde olacaktır.

Bu durumdan kaçınmak için, hesap zaman aşamasının süresi denenmeli ve süre kısaltmalarının, sonuçları değiştirmeyeceği bir aşamaya ulaşıncaya kadar kısaltılmalıdır. Bu yöntem, HEC' de (1992) tanımlanan kalibrasyon metoduna benzer.

5.3.2 Hareketli tabakanın bileşimi

Hesaplamalara başlandığı zaman, hareketli tabakanın gradasyonu hareketsiz tabaka gradasyonu ile uyumsuz. Her yeni zaman aşamasının başlangıcında, yeni bir hareketli tabaka gradasyonu şöyle hesaplanır.

5.3.3 Hareketli tabakanın doluluk oranı

Bir akarsu yatağının yüzeyi, altında ince malzemenin yer aldığı bir çakıl veya iri çakıl tabakasıyla örtülü ise bu gibi akarsu yatağı, koruma yüzeyli (tahkimatlı / zırhlı) yatak olarak adlandırılmıştır. Bu durum, akarsuyun sediment taşıma potansiyelini olumsuz etkilemesi de, sediment malzemesi girişini oldukça sınırlar. Öyle ki, koruma tabakasındaki tanelerden daha küçük tanelerle ilgili taşınım teorisi uygulanamaz, çünkü bu tanelerin hareket hızı, akım hidroliğiyle değil fakat bu tanelerin miktarı ile sınırlıdır. Koruyucu tabaka, ince tanelerin, sisteme giren ve kendilerinin yerini alan yükten daha hızlı taşınması, böylece kaba tanelerin yatak yüzeyi gradasyonunda hâkim duruma geçerek daha fazla tane karışımını engellemesi sonucunda oluşur.

Koruyucu tabakanın duyarlılığı (stabilitesi), kritik / fiili sürüklenme kuvveti oranının, bağımsız bir değişken olarak rol oynadığı normal iki olasılık dağılım fonksiyonuna bağlıdır. İki sürüklenme kuvveti için kullanılan eşitlikler şunlardır:

$$T_c = 0.047(Y_s - Y)d_m \quad (5-19)$$

$$T_b = Y.EFD.S_f \quad (5-20)$$

Burada;

d_m = Duraylılığı denenmekte olan tane boyu sınıfının orta boy tane çapı

EFD = Etkili derinlik

S_f = Sürtünme eğimi

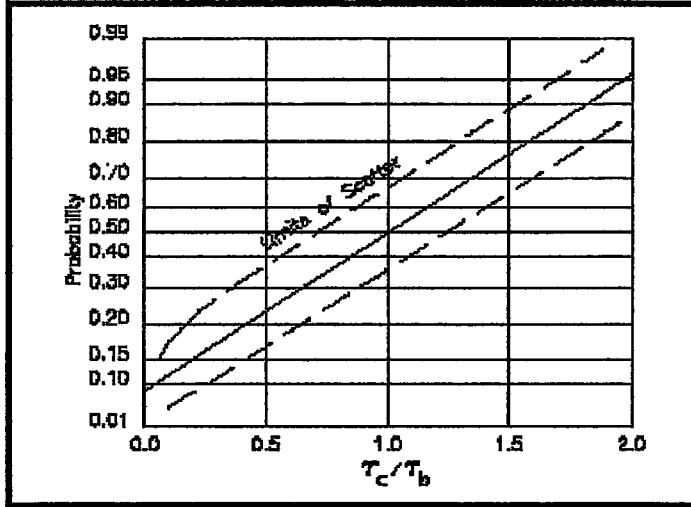
0,047 = Empirik veriler Y- kesişimi, Shields (Vanani1975)

Y = Sn birim ağırlığı

Y_s = Sediment tanelerinin birim ağırlığı

T_b = Yatak kesme gerilimi

T_c = Kritik kesme gerilimi, Meyer - Peter ve Müller (1948)



Şekil 5-6. Tane Duraylılığı Olasılığı

Gessler'e (1970) göre, yatak yüzeyindeki sediment tanelerinin stabilitesi, şekil 5-6'da görüldüğü gibi, bir olasılık bağıntısıdır. Shields'in, sediment tanecikleri hareketleri ile ilgili belirleyici eğrisi, şekil 5-6'daki sürüklenme kuvveti oranı (T_c / T_b) ile uyusmakta ve 0.5'lik bir stabilite olasılığını göstermektedir. Fiili (gerçek) sürüklenme kuvveti arttıkça sürüklenme kuvveti oranı azalır; bu durum, tanelerin hareketsiz kalma olasılığının az olduğunu gösterir. Yine bu durum, tanecik hareketini garanti etmediği gibi, 1'in üstündeki sürüklenme kuvveti oranları da, sediment taneciklerinin yatakta hareketsiz kalacaklarını garantilemez. Bu bağıntı, aşağıda görüldüğü gibi, yatak duraylılık katsayısı BSF'i hesaplamak için kullanılır. Bu katsayı, hareketli tabadaki tane boyu dağılımını da içerir:

$$BSF = \frac{\sum_{i=1}^{NGS} PROB.PROB.Pl_i.d_{mi}}{\sum_{i=1}^{NGS} PROB.Pl_i.d_{mi}} \quad (5.21)$$

Burada;

d_{mi} = Tane boyu sınıfı (i) için orta tane boyu çapı

i = Analizi yapılan tane boyu sınıfı

NGS = Mevcut tane boyutları sayısı

PI = Bir tane boyu sınıfından oluşan yatağın fraksiyonu.

PROB = Tanelerin yatakta kalma olasılığı.

Gessler (1970), 0.65'e eşit ya da üzerinde bir duraylılık faktörünün, duraylı bir koruyucu tabakaya işaret ettiğini ileri sürmüştür. Belirli bir hidrolik koşulda, kısmen korumalı bir yatak duraylı ise, aktif tabakadaki malzeme, yatak üstünde, bir duraylı tane boyu kalınlığa kadar koruyu örtü oluşturmaya yeterli duraylı tane kalıncaya kadar uzaklaştırılır. Koruyucu tabakalı yatak duraysızsa, bu tabaka iptal edilerek tamamen yeni bir hareketli yatak hesaplanır.

İptal edilen tabaka miktarını saptamak için olasılık fonksiyonu kullanılabilir; fakat bunun yerine basit bir doğrusal bağıntı kullanılır. İptal edilen koruyucu tabaka miktarı, yatak stabilite katsayısının (BSF) genişliği (magnitüdü) ile bağıntılıdır:

$$SAE_{i+1} = 1.0 - \frac{BSF}{0.65} (1.0 - SAE) \quad (5-22)$$

Bu eşitlikteki (i) ve (i +1) alt – işaretleri, bir mübadele artırımının başlangıcını ve sonunu gösterir (bkz. Bölüm 5.1.4). Hareketli tabakadaki malzeme, SAE sonunda yatağı örtmeye yeterli duraylı tane kalıncaya kadar, hareketli tabaka olan uzaklaştırılır.

5.3.4 Koruyucu tabakanın taşınım kapasitesine etkisi

Her mübadele artırımında tüm tane boyları irdelenir. Oyulmaya maruz yüzey alanı, bir sonraki artımdan önce hesaplanır. Einstein bağıntısında, gizleme faktörü, koruyucu tabakayı da hesaba katacak şekilde taşınım kapasitesini ayarlar. Diğer taşınım bağıntılarında, taşınım kapasitesi, koruyucu tabaka adına, parabolik bir bağıntı, iri sediment tanelerinin sebep olacağı aşırı oyulmayı dikkate alır. HEC-6'da kullanılan bağıntı şöyledir:

$$FSAE = CSAE + (1.0 - CSAE)SAE^{BSAE} \quad (5-23)$$

Burada;

BSAE = Koruyucu tabaka koşullarında taşınım hesabında kullanılan katsayı.

CSAE = Sisteme giren sediment debisini geçirmeye yeterli ve koruyucu tabaka hesaplarında kullanılan taşınım kapasitesi fraksiyonu.

FSAE = Koruyucu tabaka nedeniyle taşınım kapasitesinde yapılan düzeltme.

CSAE değeri, taşınım kapasitesinin bir fraksiyonu olup, sediment debisini, birikme neden olmaksızın geçirmek için yeterlidir. Girdi verileri aksini öngörmediği sürece, HEC-6 BSAE değerini 0.5 olarak belirler. FSAE değeri, 0.5 ile 1.0 arasında değişir ve tüm tane boyutlarına uygulanır.

5.3.5 Metod 1 ile ilgili bazı sınırlamalar

Hidrolik sınıflandırma ve koruyucu tabaka oluşturulması ile ilgili bu metod kullanıldığında, aşağıda sıralanan olumsuzluklarla karşılaşmıştır:

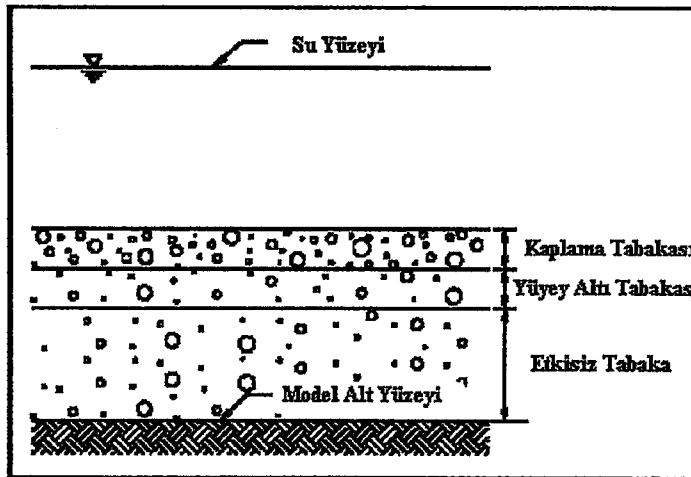
1. Yüksek gradasyon katsayılarına sahip nehirlerde aşırı kum yıkanması görülmüştür; bir başka deyişle, yeterli “koruyucu tabaka” oluşturulamaz;
2. Hareketli tabakanın, geniş kum yatağına sahip bir çok nehirde, hidrolik sınıflandırmayı engelleyecek kadar kalın olduğu görülmüştür;
3. Konsalide silt ve killerin, hareketli ve hareketsiz tabakalar arasında mübadelesi sırasında sediment süreklilik sorunu yaşanmıştır.

5.4 Yatak Malzemesinin Hidrolik Sınıflandırılması-Metod 2

Metod 1'in bazı olumsuzluklarını gidermek için ikinci bir hidrolik sınıflandırma metodu geliştirilmiştir. Bu algoritma, akımla sürekli karışım halindeki yatak yüzeyi ince “örtü tabakasında” sediment tanelerinin değiş tokuşuna dayanır. Her tane sınıfının birikimi ve yeniden asılı durumuna doğru yatağın ilerlemesi sırasında yavaş ilerleyen ince örtü tabakasının kalınlaştığı ve bir zırh işlemini sürdürecektir ve ince malzemenin hareketini düzenlediği varsayılır. Örtü tabakası, su kolundaki birikimle yenilenirse, zırh işleminin, yatak yüzeyinin % 40'ı gibi az bir kısmının örtülmesiyle

başladığını gözlemlemiştir. Örtü tabakasında, birikimden çok oyulma meydana gelirse tabaka ayrışmaya başlar ve alttan daha çok miktarda ince malzeme kaybolabilir. Sonunda örtü tabakası tamamen yok olarak, yatak yüzeyi alttaki malzemenin bileşiminden oluşur. Bu varsayımsal süreç, Metod 1 kapsamındaki SAE (dış etkilere maruz yüzey alanı) ve BSF (yatak – stabilite faktörü) kavramlarının yerini almıştır.

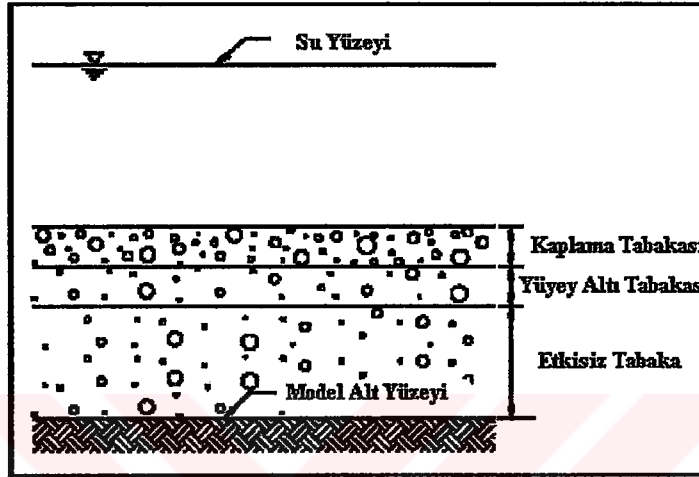
Metod 2’de, hareketli tabaka iki bileşime sahiptir: Bir önceki zaman aşamasından süregelen örtü tabakası ve hareketsiz tabakaya ait zaman aşamasının başlangıcında oluşan yüzey-altı tabaka. Yüzey - altı tabaka malzemesi, zaman aşamasının sonunda hareketsiz tabakaya iade edilir. Bir önceki zaman aşamasında oluşan örtü tabakası 6 m’lik maksimum kalınlıkla sınırlıdır. Bir önceki örtü kalınlığı 6 m veya daha fazla ise, yeni örtü kalınlığına 0.6 m’lik kalınlık değeri verilir (Bu değer, standart us BM – 54 Yatak malzemesi Numune Alıcısının numune alma derinliğine hemen hemen eşittir). Artık malzeme, hareketsiz tabakaya karışır. Yüzey-altı tabakanın başlangıcındaki kalınlığı, Bölüm 5.2.1’de tanımlanan denge derinlik, mübadele artımı sırasında oluşabilecek tahmini maksimum oyulmayla sınırlıdır. Tahmini maksimum oyulma, hidrolik, hareketsiz yatak gradasyonu ve seçilen taşınım fonksiyonuna göre hesaplanır. Bu sınırlama, denge derinliği kullanılarak hesaplanan kalınlığı hemen hemen daima geçersiz kılacaktır. Taşınım sürecindeki en iri tane boyunun iki katı minimum kalınlık da dikkate alınır. Metod 2 kapsamında bir zaman aralığında yatak tabakası ayarlamalarına ilişkin hesaplar Şekil 5-7 ile 5-8 arasındaki şekillerde görülmektedir.



Şekil 5-7. Zaman Aşamasının Başlangıcında Yatak Tabakaları

Örtü tabakası bileşimi ve kalınlığı, bir önceki hesap zaman aralığında oluşmuştur.(max. 6m)

Yüzey - altı tabakası, hareketsiz tabaka malzemesinden oluşmuştur ve benzer bileşime sahiptir. Tabaka kalınlığı, denge derinliğine ve ilgili zaman aşamasında olası max. Erozyon tahminine göre hesaplanır.(min.2.D_{max}).

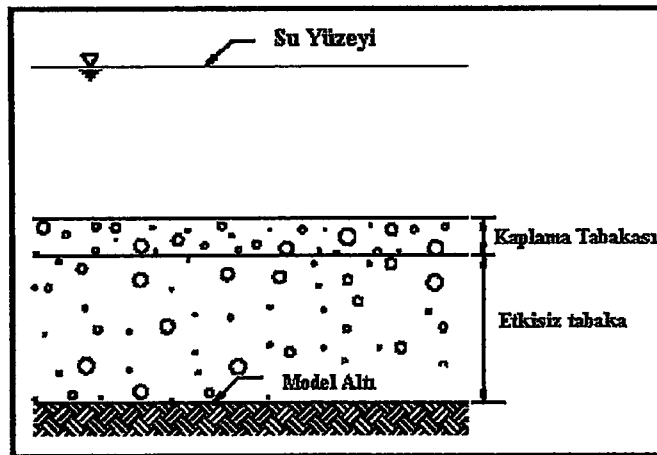


Şekil 5-8. Ara Mübadele Artımında Yatak Tabakaları

Örtü tabakasındaki iri tane erozyonla artar, birikim sonucu ince tane içeriği fazlalaşır.

Yüzey - altı tabakasında,erozyon sonucu iri tane içeriği fazlalaşır, çünkü erozyon ince tanelerin örtü tabakasına ve akıma taşımıştır. Yüzey - altı bileşimi, birikim sonucu değişmiş, veya koruyucu tabaka varsa değişmez.

Hareketsiz tabaka değişmez.



Şekil 5-9. Zaman Aşamasının Sonunda Yatak Tabakaları

Koruyucu örtü korunur ve bir sonraki zaman aşamasına aktarılır.

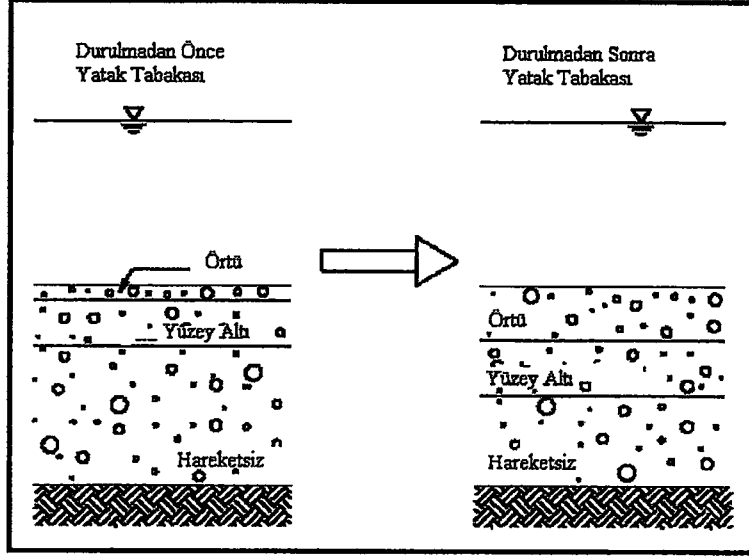
Yüzey - altı ve hareketsiz tabakalar birleşir ve tamamen birbirleriyle karışır.

Her mübadele artımının başlangıcında (hareketli yatak gradasyonunun tekrar hesaplandığı alt zaman aşaması, (bkz.Bölüm 5.1.4), örtü tabakasının hacmi kontrol edilerek, en az bir tane çapı kalınlığında örtü tabakası ile yüzey - altı tabakası oluşturulur. Örtü tabakasının akım enerjisi tarafından tamamen yok edilmesi koşulunda, ilk mübadele artımı sırasında oluşan yüzey - altı tabakasının kalınlığına ve bileşimine uygun hareketsiz tabakadan yeni bir yüzey -altı tabakası oluşturulur. (Şekil.5-10).

Sediment taşınım kapasitesi hesaplamak için kullanılan yatak malzemesi tane boyu fraksiyonları, hareketli yatak bileşimine, yâni, hem örtü hem de yüzey - altı tabakalarının birleşik hacmine dayalıdır.

Daha sonra sediment süreklilik denklemi, çeşitli tane boyu sınıflarına ait malzeme hareketli tabakaya eklenerek veya bu tabakadan çıkarılarak, mübadele artırımını bulmak için çözülür. Biriken malzeme, örtü malzemesine katılır. Erozyonla taşınan malzeme önce örtü tabakasından çıkarılır. Örtü tabakasının, hareketli bir kaplama veya zırh tabakası işlevimi üstlenmesi, ince malzemenin sediment taşınım kapasitesini azaltması beklenir.

Örtü tabakasında sediment açığını kapamak için yeterli tane boyu sınıfından malzeme yoksa, bu malzeme yüzey - altı tabakasından çekilebilir. Ancak, örtü tabakasında, iri tane boyu miktarı, yatağı, bir tane çapı kalınlığında örtmeye yeterli ise yüzey - altı tabakasından malzeme çekilemez. Örtü tabakasında, yatağı % 40 oranında ve bir tane çapının kalınlığında örtmek için yeterli kaba malzeme yoksa, yüzey - altı tabakadan malzeme alımını, örtü tabakası engellemez. Örtü tabakası % 40 - % 100 oranında örtü sağlıyorsa, doğrusal malzeme alımı sınırlama fonksiyonunu uygulanır.



Şekil 5-10. Örtü Tabakası İnceldiği Zaman Yatak Tabakaları Değişir

Yeni yatak tabakası, eski örtü tabakası ile yüzey - altı tabakalarının karışımıdır.

Hareketsiz tabakadan alınan yeni yüzey - altı tabakası, zaman aşamasının başlangıcındaki aynı kalınlığa ve bileşime sahiptir.

5.4.1 Yüzey -altı tabakası

Yüzey - altı tabakası, hareketsiz yataktan gelen iyi - karışımli sediment + örtü tabakası tahrip olduğunda geriye kalan atık malzemeden oluşur. Erozyon sırasında, yüzey - altı tabakası, sediment taşınım kapasitesinin gerektirdiği yatak sedimentini temin edebilir. Ancak, belirli boyda tanenin yüzey - altı tabakasından sağlanması, örtü tabakasındaki kaba malzeme tarafından engellenebilir. Hareketli tabakanın kalınlığı çok önemli olup, daha önce tanımlandığı gibi hesaplanır.

5.4.2 Karakteristik sediment hareket oranı

Bu oran, türbülans ile ilintilidir. Ancak, türbülâns simülasyonu, HEC-6 kapsamında değildir. Sediment hareketi anlık bir süreç olmadığı için, sonlu bir yaklaşık oran elde etmek amacıyla karakteristik bir "akım - mesafesi" kullanılmıştır.

Bir ölçme savağındaki denge konsantrasyonlarından alınan numuneler ışığında karakteristik mesafe, akım derinliğinin 30 katı olarak belirlenmiştir. Sediment

hareket oranı ENTRLR ile birlikte bir akımın denge yüküne yaklaştığı hızı, doğrusal uzunluğu karakteristik mesafeye bölerek hesaplanır:

$$ENTRLR = \frac{DogrusalUzunluk}{30.Derinlik} \quad (5.24)$$

Buna göre sediment hareket katsayısı ETCON hesaplanır.

$$ETCON = 1.368 - e^{-ENTRLR} \quad (5.25)$$

Max. 1.0 değerindeki ETCON, doğrusal uzunlukta oluşan denge konsantrasyonunun (her tane boyu için) yüzdesini saptamak için kullanılır. Doğru eşitlikleri ve katsayıları saptamak ve sediment hareket hipotezini doğrulamak için araştırmalar yapılması gerekmektedir.

5.4.3 Karakteristik çökme oranı

Sisteme giren sediment deşarjı, taşınım kapasitesinden daha fazla olduğu zaman sediment çöker. Bir karışımındaki tüm tane boyutu sınıflarına ait taneler çökmez; bu nedenle, bu süreç tane boyu sınıfına göre hesaplanır. Sedimentin çökme oranı, tane çökme hızıyla kontrol edilir.

$$DECAY(i) = \frac{V_s(i) \cdot \Delta t}{D_s(i)} \quad (5.26)$$

Burada;

$D_s(i)$ = sediment tane boyu (i) tarafından işgal edilen etkili derinlik

Δt = zaman aralığı

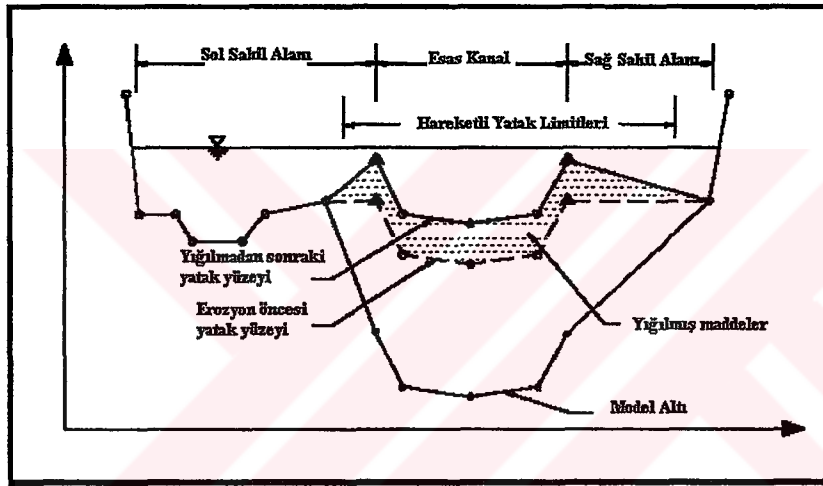
$V_s(i)$ = tane boyu (i) çökme

5.4.4 Metod 2 ile ilgili bazı sınırlamalar

Düşük debili çökme alanlarında örtü tabakası, ince malzemelerin çökeldiği ortam oluşturur. Doğal bir nehirde, yüzey - altı malzemeyle karışmadığı için ince tane bileşimini korur ve yüksek akımlarda kolayca taşınabilir. Ancak, HEC-6, taşınım kapasitesini, tüm hareketli tabakanın bileşimini dikkate alarak hesaplar. Bu

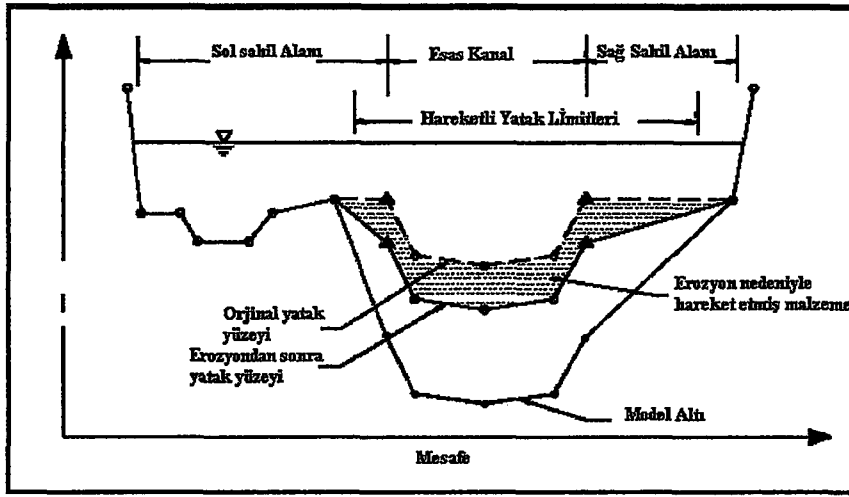
durumda, en ince tane sınıfının taşınım kapasiteleri yeterince dikkate alınmazsa, yüksek birikim ve / veya düşük oyulma değerleri elde edilebilir. Bu sorundan kaçınmak için metod 2 PI, değerimin hesaplama tekniğinin değiştirilmesi söz konusu olabilir. 6 m'lik max. örtü tabakası kalınlığı, düşük enerji koşullarında çökelmeyi önleyebilir. İnce malzeme karışımı, yüksek debilerde oyulma sürecinin gereğinden düşük değerle hesaplanmasıyla sonuçlanabilir. Harrisan'un (1950) gözlemi (bkz. Bölüm 5.3), ince malzeme erozyonunu çok büyük ölçüde sınırlayabileceği gibi, yüzey - altı tabakadan ince malzeme çekilmesini de sınırlayacaktır.

5.5 Yatak Kotunda Değişiklik



Şekil 5-11. Çökelme Sonucu Enkesitin Şekli

Bir zaman aralığında oyulma veya birikme meydana gelirse HEC-6, enkesit katlarını ayarlar. Birikme için, akarsu yatağı kısmı, yalnız, H veya HD kaydında tanımlanan hareketli yatak dahilinde ve su yüzeyinin altında (ıslak ortamda) yer alıyorsa, düşey olarak hareket ettirilir. Çökelmeye, XL kaydının tanımlandığı taşınım sınırlarının dışında izin verilir. Oyulma, yalnız, X3 kaydının tanımlandığı etkili akım sınırları, taşınım sınırları dahilinde, hareketli yatakta, ve su yüzeyinin altında meydana gelir. Oyulma veya çökelme sınırları belirlendikten sonra, oyulma / çökelme hacmi, kontrol hacminin etkili genişliği ve uzunluğuna bölünerek yatak kotundaki değişme saptanır. Bu sınırlar dahilindeki enkesit koordinatlarının düşey bileşenleri, şekil 5-11 ve 5-12'de görüldüğü gibi ayarlanır.



Şekil 5-12. Erozyon Sonucu Enkesitin Şekli

5.5.1 Sert yatak tabanı

Beton kanalda olduğu gibi sert taban, yatak sediment rezervuarı sıfır sediment derinliğine göre yaklaşık olarak hesaplanabilir. Bu amaçla, başlangıçtaki talveg yüksekliğine eşit model tabanı EMB saptanır. Bu enkesitte sediment debisine hiçbir sediment yükü verilmez. EMB, H kaydında alan 2'e girilir.

6. HEC-6 GENEL GİRDİ İHTİYACI

6.1 Genel

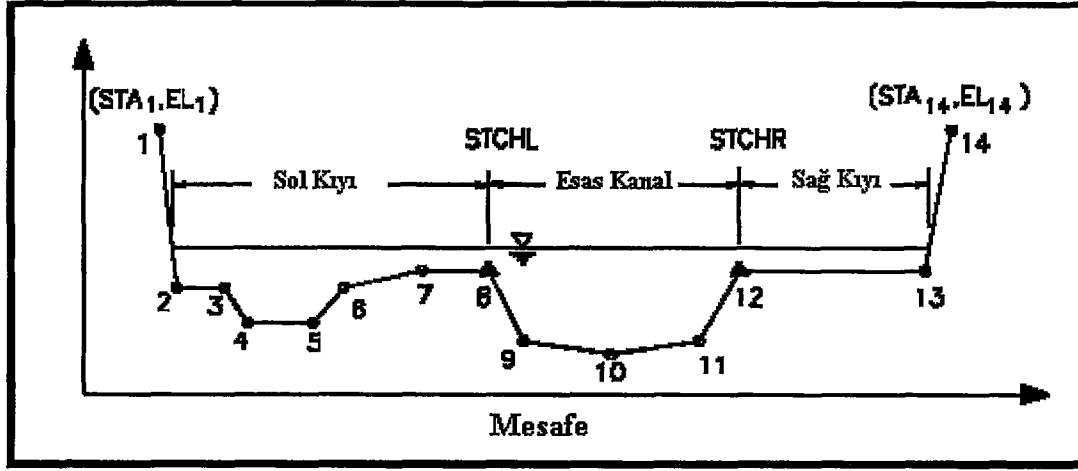
Girdi verileri, geometrik, sediment, hidroloji ve özel komut kategorilerine ayrılır.

6.2 Geometrik Veriler

Geometrik veriler, enkesitleri, akarsu doğrusal uzunluklarını ve “n” değerlerini kapsar. Ayrıca, her enkesitteki hareketli yatak ve yataktaki sediment malzemesi tanımlanır. Modelin geometrisini tanımlamak için NC(manning’in n değerleri) ile H(hareketli yatak limitleri) arasındaki girdi kayıtları kullanılır.

6.2.1 Enkesitler

Enkesitler, proje öncesi koşullara dayanılarak tanımlanır. Hesaplar, hidrolik elemanlarla ilgili tablolara veya eğrilere dayanılarak değil, doğrudan koordinat noktalarına dayanılarak yapılır. Bir enkesitin formatını tanımlamak için gerekli kot istasyon koordinatları, GR(en kesit koordinatları) girdi kayıtlarından alınır. Kotlar, pozitif, sıfır veya negatif olabilir. X1(en kesitin yerini tanımlar) girdi kaydında alınan 1’e girilen enkesit tanımlama sayıları pozitif olmalı ve memba yönünde artmalıdır. Su yüzeyi kotları, bir kesitin uç kotlarını aşıyorsa, ilave ıslak çevre gözardı edilerek ve uç noktalar düşeyde uzatılarak hesaplamalara devam edilir.



Şekil:6-1 Enkesit Altkesitleri

Her enkesit, sahil alanı, akarsu yatağı, sağ sahil alanı olmalı üzere üç altkesite ayrılabilir (Şekil:6-1). Her alt kesit, bir doğrusal uzunluğa sahip olmalıdır. Doğrusal uzunluk, önceki kesitten (mansap) proje enkesitine kadar uzanır. Böylece, bir sahil alanı tarafından temsil edilen akarsu kıvrımının dış kısmının yer aldığı dönemeçlerin simülasyonu, genelde, akarsu doğrusal uzunluklarından daha uzun bir doğrusal kesime sahip olacaktır. Kıvrımlı akarsularda, akarsu yatağı uzunluğu genellikle sahil alanı doğrusal uzunluğundan daha uzundur.

6.2.2 Manning'in n değerleri

Bir enkesitin her alt kesitine ait bir manning "n" değeri gereklidir. "n" değerlerini süreye göre değiştirmek olanaksızdır. Statik veya sabit "n" değerleri NC(Manning' n değerleri) kullanılarak girilir. "n" değerleri, arakesitlerdeki debiye veya kota göre değişir.

Yatak malzemesi gradyanına dayalı manning "n" değerinin saptanması için Limerinos (1970) bağıntısı:

$$n = \frac{0.0926R^{1/6}}{1.16 + 2.0 \log_{10} \left(\frac{R}{d_{84}} \right)}$$

Burada:

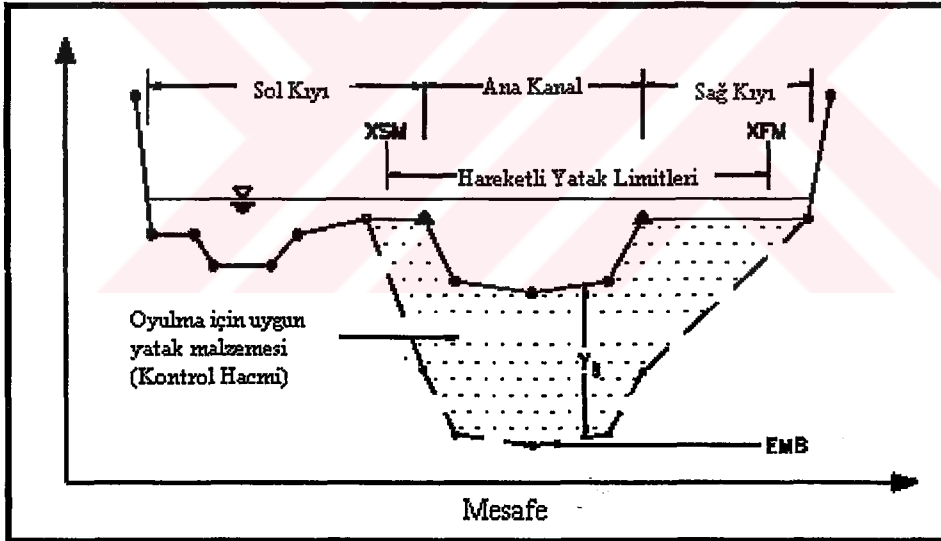
d_{84} = yatak malzemesinin yüzde 84'nün ince malzeme içerdği akarsu yatağından partikül büyüklüğü(ft cinsinden)

R = hidrolik yarı çap (feet cinsinden)

Enkesitler arası doğrusal kısım boyunca sürtünme hesabı, bir altkesitin uç alanlarının ortalaması alınarak yapılır. Uç alanların hidrolik yarıçapları ortalamasına altkesit “n” değeri ve doğrusal uzunluğu uygulanarak, uzunluk-ağırlık bir altkesit iletim değeri elde edilir. Altkesitlere ait iletim değerleri toplanarak enkesite ait toplam değer bulunur ve bu değer, sürtünme kaybının hesaplanmasında kullanılır.

6.2.3 Hareketli yatak

Her enkesit, hareketli ve sabit-yatak kısımlarından oluşur. H(hareketli yatak limitleri) (veya HD), akarsu yatağı sahil istasyonunun ötesine dek uzanabilen XSM ve XFM limitlerini (hareketli yatak sınırları) tanımlamak için kullanılır.



Şekil:6-2. Akarsu Yatağında Sediment Malzemeleri

Modelin taban kotuda yine bu H kaydında tanımlanır. Her enkesitin minimum yatak kotu belirlendikten sonra HEC-6, oyulmaya maruz kalacak sediment malzemesinin derinliğini hesaplamak için bu kotu kullanılır. Sediment malzemesinin derinliği (Y_s), H yerine bir HD girdisi kullanılarak da doğrudan saptanabilir.

6.2.4 Tarama

H (veya HD) girdisi, taranan yatağın taban kotunu yan limitlerini saptamak için kullanılır. Limitler, hareketli yatak sınırlarının içerisinde olmalıdır. Tarama işlemi, hidrolik verilerdeki \$NODREDGE (taramasız taban kotları) kaydıyla karşılaşıncaya dek tüm debiler için aktif olduğu varsayılır. Bu “başlama” ve “bitirme” kayıtları, hidrolojik verilerde herhangi bir yere yerleştirilebilir. Hidrolojik verilere, \$DREDGE/\$NODREDGE çiftleri yerleştirilerek, tarama işlemi, bir çok kez başlatılabilir.

Akarsu yatağı taban kotu, her hesap aralığının sonunda hesaplanır. Tarama seçeneği kullanıldığında minimum kot, öngörülen tarama kotundan yüksek ise, taranan yatak kotu hangisi daha alçaksa, ya öngörülen derinliğe ya da aşırı-tarama derinliğe kadar alçaltılır. Taranan yatak sınırlarının dışında kalan noktalar değiştirilmez. Sediment malzemesinin, akarsu yatağından ve sistemden çıkarıldığı varsayılır. Yatak taban kotunun öngörülen akım derinliğinden daha yüksek olması durumunda tarama işlemini başlatacak bir seçenek vardır (\$ DREDGE). Bu durumda yatak, minimum akım derinliğe ulaşıncaya kadar taranır.

6.2.5 Köprüler

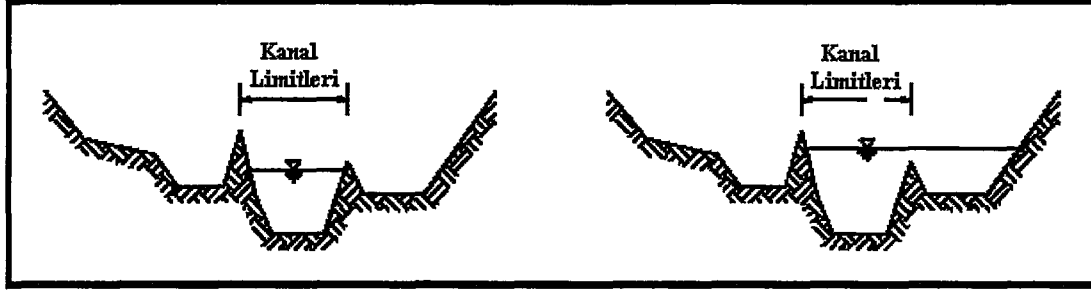
HEC-6, normal kabarma hesapları dışında, köprülerde akım hesaplarını yapmamaktadır. Köprü ayaklarında genel oyulma hakkında bilgi edinilmek istiyorsa net akım alanına temsil etmek üzere köprü orta ayakları, GR(en kesit koordinatları) noktaları ayarlanarak simule edilebilir. Köprü orta ayakları için kullanılan GR noktalarının üst katlarının, beklenen en yüksek su yüzeyi kotundan yüksek olmasına dikkat edilmeli, köprü orta ayaklarında çökelleşme önlenmelidir. HEC-6 kullanıcısı köprüleri gözardı ederek, birbirine yakın enkesitli köprülerde genel oyulma analizi için gerekli kısa zaman aralıklarından kaçınmak amacıyla “n” değerlerini ayarlayarak su yüzeyi boykesitlerini birbiriyle uyumlu duruma getirmelidir.

6.2.6 Etkisiz akım alanı

Yüksek zemin veya sedde gibi engeller suyun, bir altkesite girmesini engelliyorsa, bu noktaya kadar uzanan alan akımı iletmez ve su yüzeyi kotu, engelin üst kotunu aşıncaya kadar bu alan, hidrolik hesaplarda kullanılmaz. Bir enkesitin bu gibi etkin

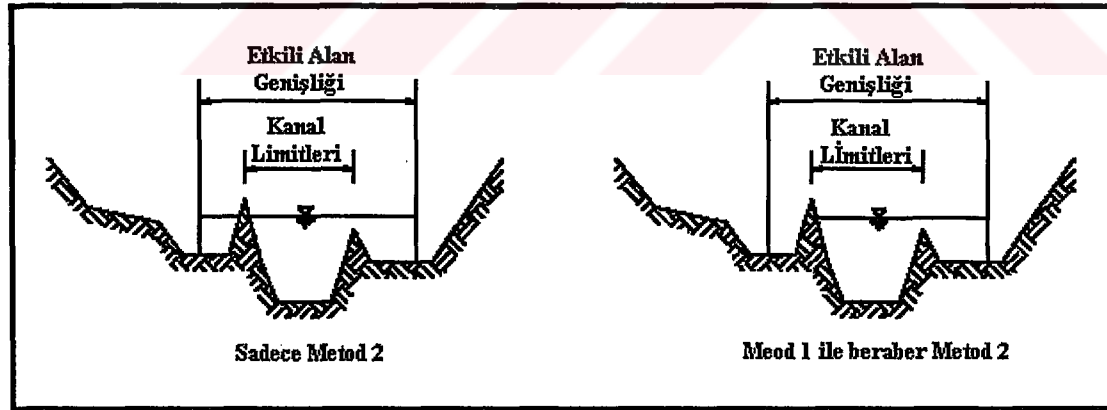
olmayan alanlarında, uç alan, ıslak çevre, “n” değeri ve akım iletim hesapları yapılmaz. Etkikli olmayan alanlar için sediment hesapları da yapılmaz.

Etkisiz akım alanlarının tanımlanmasında kullanılan üç metod vardır. Su yüzeyi kotu, her bir yatak limitinden daha yüksek olmadıkça, metod 1, suyu yatak limitlerinin içinde tutar. Yatak limitlerinin her biri (veya her ikisi) aşıldığında takdirde, ilgili sahil alanı, hidrolik iletim hesaplarında kullanılır (Şekil:6-3).



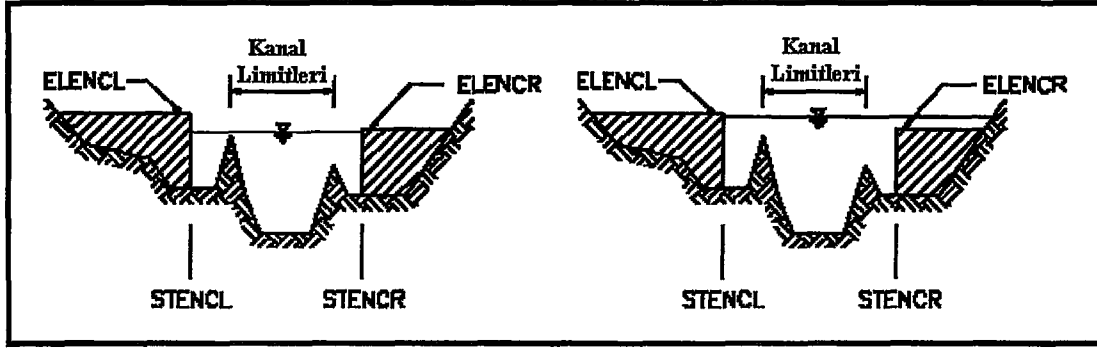
Şekil:6-3. Etkisiz Alan Örnekleri, Metod 1

Metod 2, sağ ve sol limitleri, akarsu yatağı ekseninden eşit uzaklıkta olan etkili olan genişliğini tanımlamak için kullanılır. Bu seçenek, HEC-2 limit-ötesi seçeneğinde Metod 2’ e benzer. Metod 2, Şekil:6-4’de görüldüğü gibi, metod 1 ile birlikte kullanılabilir.



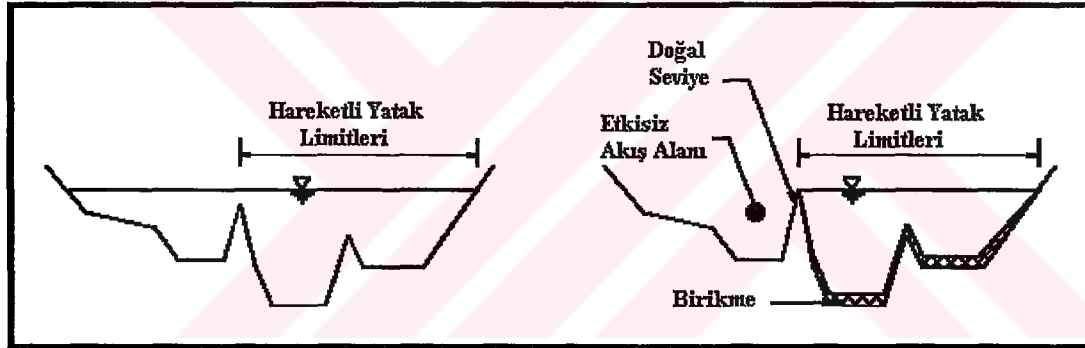
Şekil:6-4. Etkisiz Alan Örnekleri, Metod 2

Metod 3, etkisiz alanların tam yerini (sol ve sağ sahil için STENCL ve STENCR) ve kotunu (sol ve sağ sahil için ELENCL ve ELENCR) belirlemek için kullanılır. Şekil:6-5’de görüldüğü gibi bu metod, HEC-2 limit-ötesi seçeneğinde metod 1’ e benzer. Metod 3, metod 1 veya 2 ile birlikte kullanılamaz.



Şekil:6-5. Etkisiz Alan Örnekleri, Metod 3

HEC-6 hesaplar yapılırken doğal seddelerin oluşup oluşmadığını kontrol için, hareketli yataktaki ilk ve son noktaları kendiliğinden test eder. Sedde oluşmuşsa, HEC-6, girdi verilerinin belirlediği etkisiz alan metodlarını geçersiz kılar. Aslında, Şekil:6-6'da görüldüğü gibi, bu seçenek girdi verilerince seçilmemiş olsa dahi, hareketli yatak tarafından oluşturulan doğal seddeler daima etkisiz alan kabul edilir.



Şekil:6-6. Doğal Sedde Oluşumu Sonucu Etkisiz Alanlar

6.2.7 İletim limitleri

Bazen su, su iletimine katkıda bulunmayan alanları kaplar. İletim limitleri, ya yatak limitlerinin ortalamasıyla bulunacak bir iletim genişlik değeri girilerek ya da iletim limitlerini tanımlayan iki istasyon yerine ait girdi ile saptanır. İletim limitlerinin dışındaki (fakat hareketli yatak dahilinde) alanlarda çökelleşmeye izin verilirse de oyulma, hareketli yatak limitleri iletim limitlerinin ötesinde yer alsa bile, yalnız akım iletim limitleri dahilinde oluşabilir.

6.3 Sediment Verileri

Sediment verilerinde (I), yatak malzemesi granülometrisine(PF) kadar kayıtlı veriler, akışkan ve sediment özelliklerini, sediment yükü ve sürüntü malzemesi gradasyonu verilerini içerir. Sediment taşınım kapasitesi bağıntısı / bağıntıları ve çökel birim ağırlıkları da bu bölümün girdileri arasındadır.

Nehirler tarafından taşınan sediment granül boyutları, çeşitli magnitüt değerleri arasında değişir. Küçük tanelerin davranışı, iri tanelerin davranışından farklıdır. Bu nedenle, farklı taşınım teorilerinin uygulanması bakımından sediment malzemesini gruplara ayırmak gerekir. HEC-6 kapsamında kil, silt ve kum-küskülükler olmak üzere başlıca üç sınıf dikkate alınır. Gradasyon, Amerikan Jeofizik Birliği (AGU) sınıflandırma ölçeğine (Vanoni 1975) uygun olarak yapılır. HEC-6, kil için bir, silt için dört, kum için beş, çakıl için beş, iri çakıl için iki, küskülük kaya için üç olmak üzere toplam yirmi boyutu dikkate alır. Her sınıfa ait değerlerin çarpımının kare köküdür. Örneğin, ½ orta boy silt için geometrik ortalama (0.016 –0.032) veya 0.023 mm'dir.

6.3.1 Nehir sistemine giren sediment yükü

Bir akarsu yatağı profilinin genişmesi veya daralması, akarsuyun taşıma kapasitesi bakımından sediment miktarına ve büyüklüğüne bağlıdır. Geometrik modelin memba sınırlarından ve yerel akım giriş noktalarından giren sediment, sisteme giren sediment yükü olarak adlandırılır ve ton/gün cinsinden ifade edilir. Sediment yükü gerek yatak yükünü gerekse asılı yükü içerir (toplam yük).

Çeşitli debilerde gradasyona göre sediment yükü tablosu verileri su deşarjı için toplam sediment yükü(LT) ve su deşarjı için yük kesri(LF) girdi kayıtlarına girilir. LQ kaydına geçen veriler, hesaplanan hidrografikteki tüm verileri içermelidir. Nehir sistemine giren her sediment için ayrıntılı bir yük tablosu oluşturulmalıdır.

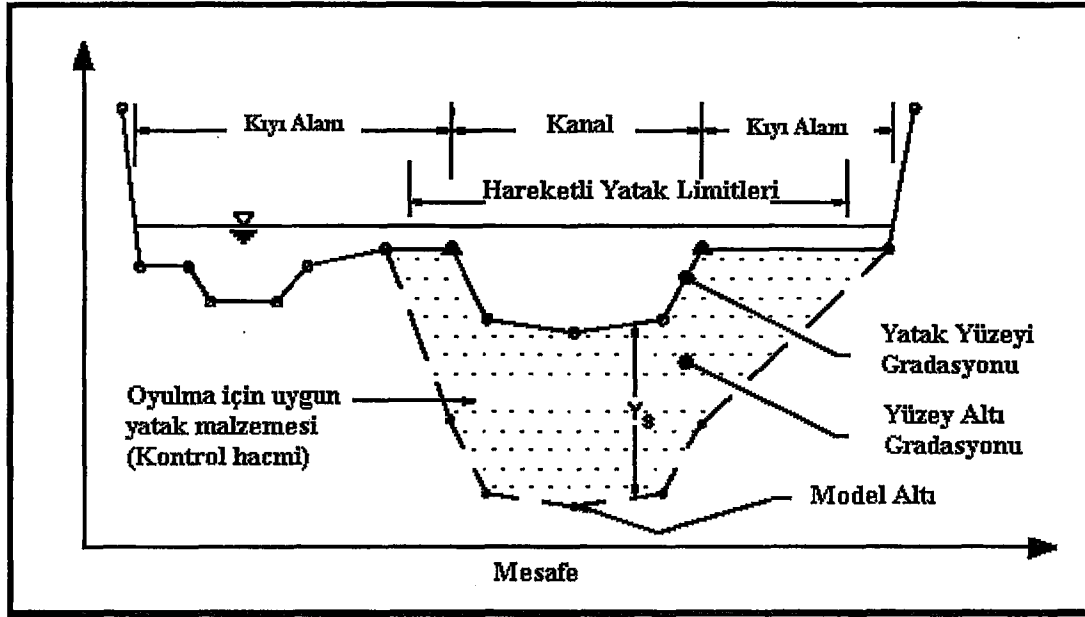
Projelerin çoğunda, bir kez kabul edilen sediment yükü tablosunun değiştirilmesi gerekmez. Ancak, sediment yükü tablosunun, simülasyon esnasında ne zaman istenirse değiştirilebileceği veya yerine yeni bir tablonun kullanılabileceği seçenek ve sediment yükü tablosu(\$SED) seçeneği tarafından sağlanır. Sediment yükünde bir tane boyutu hakimse, bu boyut, Tablo 3-1'de gösterilmeli ve ait olduğu tane

boyut sınıfının numarası verilmelidir. Örneğin, sediment yükünü temsil eden boyut 0.0035 mm ise, gradasyonu orta büyüklükte kum olup kum boyut numarası 3'dür. Öyleyse, bu sayı, I 4 girdi kaydında IGS ve LGS değişkenlerine ait girdidir. Fakat, sediment yükü birden fazla tane boyutunu içeriyorsa kum sınıfı ve belki siltleri ve killeri de, Tablo 3-1'de gösterilen sınıflandırmalar kapsamında alt sınıflara ayırmak doğru olacaktır. Sediment yükünü tanımlamak için ne kadar sınıflandırma gerekirse o kadar kullanılmalıdır. En küçük boyutla başlamak gerekli olmadığı gibi en iri boyuta doğru sıralama yapmak da gerekmez. Fakat bir kez tane boyutları belirledikten sonra, bu değerlere tüm tane boyutları dahil edilmelidir. Tablo 3-1 de yer alan AGU gradasyonu HEC-6 bünyesinde depolanmış olup, değiştirilemez.

6.3.2 Akarsu yatağında sediment malzemesi

Kum taşınım teorisi, toplam hareketli kum ile daha kaba taneli yükü, akarsu yatağı yüzeyindeki sediment partiküllerinin gradasyonu ile ilişkilendirir. Koruyucu tabaka hesapları, yatak yüzeyinin altındaki malzemenin gradasyonu, ana kayaç derinliği veya yatağın daralmasını önleyecek başka bir malzemenin derinliği hakkında bilgileri gerektirir.

Akarsu yatağındaki sediment malzemesi gradasyonu (su yüzeyi-altı gradasyonu), yatak malzemesi gradasyonu(PF) kayıtlarında ince/kaba tane yüzdesinin fonksiyonu olarak tanımlanır. PF alan 1'de enkesit numaraları kullanılarak, geometrik veri kümesinde yüzey altı gradasyonu tanımlanır. Yüzey altı gradasyonlara, PF girdileri tanımlanmayan enkesitler için doğrusal interpolasyon uygulanır.



Şekil :6-7. Yatak Sedimenti Kontrol Hacmi

Akarsu yatağındaki sediment tanelerinin gradasyonu (yatak yüzeyi gradasyonu) ve sisteme giren yükün granülametrisi birbiriyle yakından ilişkili olup, sediment taşınım teorisinde birbirini tamamlamalıdır. Sediment taşınım hesaplarında önemli derinlik, iki tane çapıdır ve numune alınması zordur. Bu nedenle, HEC-6 kullanımında genel uygulama, sisteme giren yükü ve yüzey-altı gradasyonu belirlemek, yatak yüzeyi gradasyon hesabını ise HEC-6'a bırakmaktır.

6.3.3 Sedimentin özellikleri

Beş temel özellik dikkate alınır: Tane boyutu, özgül ağırlık tane şekli faktörü, birikimin birim ağırlığı ve çökme hızı Yatak malzemesinin özgül ağırlığı 2.65 hazır (önceden tanımlanmış) değere sahip olup, tane şekli faktörünün hazır değeri 0.667'dir. Bu değerler, I2-I4 kayıtlarına yeni değerler girilerek değiştirilebilir. Çökme hızı metodu, I1 kaydında yer alan girdidir.

6.3.4 Sediment taşınımı

6.3.4.1 Kil ve silt taşınımı

HEC-6'da, kil ve silt taşınımı ile ilgili iki metod vardır. Bu metodlar yalnız 300 mg/l'den az asılı madde derişimlerine(konsantrasyonlarına) sahip akımlara uygulanır (Krone 1992). Birinci metod, (I 2 ve I 3 kayıtlarında sırasıyla, MTCL ve MTSL=1) kil siltlerin çökmesine izin verirken oyulmaya izin vermez. İkinci metod, daha önce de tanımlandığı gibi hem çökmeye hem de oyulmaya izin verir. İkinci metod kullanıldığında, çökel oluşumu için kritik kesme gerilme eşikleri ve hem tane hem de kütle erozyonu hızları ile ilgili bilgi edinmek için ilave iki I 2 kaydı gereklidir.

6.3.4.2 Kum ve çakıl taşınımı

HEC-6 programında, çeşitli kum ve çakıl taşınımı bağıntıları yer almaktadır. Aşağıdakileri tanımlamak için I4 kodlu kaydı kullanılır:

- a- Toffaleti'nin (1966) taşınım fonksiyonu
- b- Madden'nin (1963), Laursen (1958) bağıntısı uyarlaması
- a- Yang'ın (1973) kum için akarsu kuvveti
- b- Ackers - White (1973) taşınım fonksiyonu
- c- Colb (1964) taşınım fonksiyonu
- d- Toffaleti (1966) ve Schoklitsch (1930) kombinasyonu
- e- Meyer - Peter ve Müller (1948) kombinasyonu
- f- Taffaleti ve Meyer - Peter ve Müller kombinasyonu
- g- Madden'in (1985, yayımlanmamış), Laursen (1958) bağıntısı uyarlaması
- h- Copeland'in (1990), Laursen bağıntısı uyarlaması (Copeland ve Thomas 1989)
- i- Gözlem verilerine dayanarak HEC-6 kullanıcısı tarafından tanımlanan taşınım katsayıları

İki sediment taşınım ilişkisini içeren seçeneklerde, her sediment boyutuna ait taşınım potansiyeli her iki metod kullanılarak hesaplanır ve en yüksek potansiyel değeri kullanılır.

Hidrolik parametreler ile tane boyutuna göre sediment taşınımı arasında fonksiyonel bir bağıntı geliştirmek için yeterli gözlem verileri varsa, HEC-6 kullanıcısı tarafından J ve K kayıtları kullanılarak geliştirilen bağıntı dikkate alınmalıdır. Her tane boyutu sınıfı (i) ile ilgili fonksiyonel bağıntı şöyledir:

$$GP_i = \left[\frac{EFD.SLO - C_i}{A_i} \right]^{B_i} . EFW . STO \quad (6.1)$$

Burada :

EFD = etkili derinlik

EFW = etkili genişlik

SLO = enerji eğimi

STO = pürüzlülük düzeltme faktörü, (bkz. eşitlik 3-3)

A,B,C, = verilere dayalı geliştirilen sediment taşınım katsayıları

GP = sediment taşınım potansiyeli

Çoğu kez, taşınım potansiyeli, akım direncindeki değişikliklerden etkiler. Bunu dikkate almalı için, STO faktörünü tanımlayan K kaydı kullanılır. STO faktörü GP ile çarpılarak sediment taşınım potansiyeli bulunur. STO şöyle tanımlanır:

$$STO = 10^{-6} . D . n^E \quad (6.2)$$

Burada

D,E = veri kullanılarak geliştirilen sediment taşınım katsayıları

n = Manning'in pürüzlülük katsayısı

STO = GP çarpım faktörü

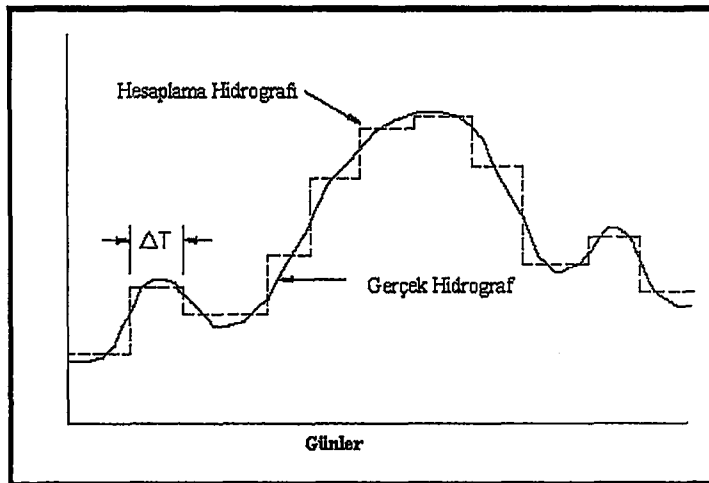
6.4 Hidrolojik veriler

Hidrolojik veriler, Q ile W kayıtları arasında tanımlanmıştır. Suyun debisi, sıcaklık derecesi, mansap su yüzeyi katları ve akım süresi, hidrolojik veriler kapsamındadır. Akarsuyun proje öncesi geometrisi (akarsu yatağının boyutu, şekli ve eğimi) ve sediment bağıntıları tanımlandıktan sonra sediment hesaplarında son aşama, bu verilerin hidrolojik girdilere ve belki, baraj gölü işletme prensiplerine ne ölçüde uygun olduğunu simüle etmektir.

Gerek sediment taşınım gerekse akım hidroloği, debinin doğrusal olmayan fonksiyonlarıdır ve bu nedenle bir debi hidrografının çıkartılması için sürekli simülasyon gerekir. Ana akarsu ile kollarındaki taşkın hidrografları arasındaki uyumsuzluk, akarsu kollarından sisteme giren akımların, ana akarsuya giriş noktalarının doğru tanımlanmasını zorunlu kılar.

6.4.1 Akım Süresi (W)

HEC-6 farklı düzenli akımlar ardalaması olarak sürekli bir hidrograf kullanır. Bu akımların herbiri Şekil.3-9'da görüldüğü gibi, belirli bir süreye (ΔT) sahiptir. Bu işlem, belirli bir süreyi simüle etmek için kullanılan süre aşamalarının sayısını azaltmak ve böylece uygulama süresini kısaltmak amacıyla yapılır. Bu işlemle çıkarılan debi hidrografına “hesaplama hidrografi” denir. Her W kaydına bir Δ değeri girilir (hidrolojik verilerdeki her Q - W kümesi, bir süre aşamasını veya hesaplama hidrografında artışı temsil eder).



Şekil:6-8 Bir Hesaplama Hidrografi

6.4.2 Sınır koşulları

Bir nehir sisteminde üç tip sınır vardır: Memba, mansap ve iç. Memba ve mansap sınırları, sırasıyla, en yukarı akış ve en aşağı akış enkesitlerinde yer alır. Üç tip iç sınır vardır: Yerel akım giriş noktası, akarsu kolu kavşak noktası ve hidrolik kontrol noktası.

HEC-6'nın öngördüğü üç sınır koşulu vardır: Su debisi, sediment debisi ve su yüzey kotu. Su ve sediment debileri, her memba sınırında ve her yerel akım giriş noktasında tanımlanmalıdır. Su yüzey kotu(su seviyesi), ana akarsu mansap sınırında tanımlanmalıdır; hidrolik kontrol noktalarında da tanımlanmalıdır.

6.4.2.1 Memba sınır koşulları

Su debisi

Bir nehir sisteminde herhangi ana akarsu altkesitinin memba tarafından sisteme giren su debisi Q kaydına işlenir. Q kaydındaki her değer, herbir altkesite veya yerel akım giriş noktasına ait hesaplama hidrografındaki ardalamada yer alan düzenli bir akım temsil eder.

Sisteme giren suyun sıcaklık derecesi, Q 'deki bir T kaydının Q ve W verilerine girilmesiyle saptanır. Birinci süre aşaması için su sıcaklık derecesi (T) kaydı gereklidir. Bir başka T kaydı ile karşılaşıncaya kadar bu kaydın, sonraki veriler için değişmeyeceği kabul edilir. Akarsu kolu kavşağında su sıcaklık derecesi, kol/yerel giriş akımı debi katsayısı ve ana akarsu sıcaklık dereceleriyle saptanır. Su sıcaklığı, partikül çökelme hızlarının hesaplanması için gereklidir. Yani bir T kaydının her okunuşunda yeni çökelme hızları hesaplanır.

Sediment debisi

Sediment debi verileri, LQ , LT , ve LF kayıtlarına, sediment yükü tablosuna karşı debi değeri olarak girilir. Bkz. Bölüm 3.3.1.

6.4.2.2 Mansap sınır koşulları

Modelin mansap sınırında, herbir zaman aşaması için bir su yüzeyi kotu (su seviyesi) belirlenmelidir.

HEC-6, mansap sınır koşulunu tanımlamak için üç seçenek sunar:

1. Bir anahtar eğri (seviye eğrisi),
2. Mansap su yüzüyükselme sınırı(R) kayıtları
3. Anahtar eğrisi + R kayıtları.

Birinci seçenek, debinin bir fonksiyonu olarak su seviyesi verilerini içeren bir takım RC kaydından önce yer alan bir \$RATING kaydı kullanılarak tanımlanabilir. Anahtar eğrinin, hidrolojik verilerin başlangıcında yalnız bir kez tanımlanması gerekirken, su yüzeyi kotu, herbir zaman aşaması için Q kaydında verilen debi kullanılarak interpolasyonla saptanacaktır. Anahtar eğri S kaydı kullanılarak değiştirilebilir, veya hidrolojik verilerdeki herhangi bir Q kaydından önce yeni bir takım \$ RATING ve RC kayıtları olarak girilir.

İkinci seçenekte, su yüzey kotunu tanımlamak için anahtar eğri yerine R kayıtları kullanılabilir. Bu seçenek, çoğunlukla, su yüzeyi kotlarının akımın değil fakat sürenin bir fonksiyonu olduğu baraj göllerine uygulanır. Bu metodu kullanmak için, ilk süre aşaması ile ilgili bir R kaydı gereklidir. R kaydının Alan 1'e girilen kot, Alan 1'de bu kotu değiştirecek ve sıfır olmayan değerde başka bir R kaydına rastlanıncaya kadar, bir sonraki her aşamada kullanılacaktır. Böylelikle R kayıtlarını, yalnız su seviyesini yani bir değere getirmek için girmek yeterlidir.

Seçenek 3, ilk iki seçeneğin bir bileşimidir. Bu seçenek HEC-6 kullanıcısına, belirli süre aşamalarında su seviye kotunu kesin olarak saptamak olanağını sağlarken öte yandan mansap su seviye kotunu saptamak için anahtar eğrisini kullanmak olanağını da sağlar. Bu seçenekte, R kaydının, mansap su seviyesi ile ilgili sıfır-olmayan Alan 1 değeri, ilgili süre aşamasına ait anahtar eğrisini geçersiz kalacaktır. Bir sonraki aşamada HEC-6, Alan 1'e sıfır-olmayan değerde başka bir R kaydı bulunmaması kaydıyla, anahtar eğrisini kullanmak üzere geriye gidecektir.

6.4.2.3 İç sınır koşulları

QT kaydı, sisteme giren yerel akımın giriş noktasını veya bir yan kolun akarsuyla birleştiği noktayı tanımlar. Sisteme giren su ve sedimentin debileri ile ilgili verileri tanımlayan metodlar Bölüm 3.4.2.1'de açıklanmıştır (mamba sınır koşulları bölümü).

Akarsu yan kolunun mansap sınırında su seviyesi HEC-6 kullanıcısı tarafından tanımlanamaz; HEC-6, bir yan kolun ana akarsuyla birleştiği yerin enkesit mansabının su yüzey kotunun saptanması görevini, bu yan kolun mansabına verir.

Geometri verilerindeki bir X5 kaydı, bir dahili sınır (veya hidrolik kontrol noktası) oluşturur. Bu sınır ya da noktada su seviyesi tanımlanabilir. İç sınırda tanımlanan su seviyesine, iç sınır koşulu denir. İç sınırdaki su seviyesi, iki seçenekle tanımlanabilir. Geometrik veriler kapsamında bir su yolu rezervuarının sabit işletme kotunu belirlemek için kural-eğrisine benzer bir seçenek tanımlanabilir. Bu amaçla X5 kaydındaki bir su yüzeyi kotu ve bir yük kaydı tanımlanmalıdır. Kuyruk su kotu+yük kaybı değeri, su yolu rezervuar seviyesi artar. Bu seçenek, ilk kez, tüm debilerde sabit yük kayıplarına sahip Hinged Pool işletilmesi için geliştirilmiştir. İkinci seçenek, HEC-6 kullanıcılarına, X5 ve R kayıtları kombinasyonunu kullanarak bir iç sınırda anahtar eğrisini çıkarmak olanağını sağlar. Bu seçenek, ölçme savakları ve düşü yapılarının modellenmesinde yardımcı olmaktadır.

6.4.2.4 Geçirimli sınır koşulu

Hidrolojik verilerde \$B kaydına rastlanması durumunda, sistemde her mansap sınırında bir geçirimli sınır koşulu tanımlanır. Bu geçirimli sınır koşulu, sınıra ulaşan sedimentin, enkesiti değiştirmeksizin geçmesine olanak sağlar. Geçirimli sınır koşulu, mansap sınır koşullarının normal olmadığı (köprü, savak, düşü yapısı, vb.) ve sediment taşınımı / yatak değişimi hesaplarına dahil edildiğinde memba hesaplarında yanlışlıklara neden olabilecek durumlarda yararlıdır.

6.4.3 Hidrolojik girdi örneği

\$ HYD kaydı, bu kaydı hidrolojik verilerin izleyeceğini gösterir. \$ RATING ve RC kayıtları, debi-kot ilişkisini girmek için kullanılır. Herbir süre aşaması Q, Q ve W (veya X) kayıtlarına sahip olmalıdır. Q kayıtları, kullanıcının görüşlerini içerir, ayrıca her süre aşaması için çıktı düzeyini kontrol eder. Taşkın olayı no.1 için Q kaydında sütun 5'de A, sütun 6'da B, su yüzeyi profili hesaplarının seviye A çıktısını ve sediment taşınım hesaplarının seviye B çıktısını verecektir.

Q kaydı, su debisini içerir, ve gün cinsinden süresi W kaydındadır. Uzun süre aşamaları, hesaplama kararsızlıklarına neden olabilir; bunu önlemek için uzun süre

aşamaları daha kısa süreli artımlara ayrılabilir. Süre aşaması 3'de, 10günlük uzun süre aşamasını 20 yarımgünlük artımlara ayırmak için X kaydı kullanılır. Birinci süre aşaması için, bir su sıcaklık derecesi kaydı (T) daima gereklidir. Örneğimizde, ikinci aşaması için (T) kaydı verilmemiştir; bu nedenle, ikinci süre aşaması, birinci süre aşamasındaki sıcaklık derecesi (60°F) kullanacaktır.

Süre aşaması no.3'de R kaydında bulunan Alan 1'de su yüzeyi kotu, mansap sınır için su seviyesini 527 lt olarak belirler. Bu değer, süre aşaması 1'den önce girilmiş olan su seviyesi-Debi anahtar eğrisini geçersiz kılar. Süre aşaması no.4 için başlangıçtaki su seviyesi saptamak için, taşkın olayı no.4'den hemen önceki anahtar eğri (\$RATING ve RC kayıtları) kullanılır; bu eğri, süre aşaması 3'deki R kaydından bulunan kot 527'i geçersiz kılar.

\$\$END kaydı, hidrolojik verilerin ve tüm HEC-6 girdi dosyasının sona erdiğini gösterir.

6.5 Özel Komut Kayıtları

HEC-6 programını daha esnek duruma getirmek için bir komut kayıt yapısı geliştirilmiştir. Geometrik ve hidrolik veriler ile sediment verilerini tanımlamak için E J, \$ HYD ve \$ \$ END kayıtları kullanılır. Bu konutlar tüm veri kümeleri için gereklidir. E J kaydı, geometrik girdinin sonunu, \$ HYD kaydı ise, hidrolojik verilerin başlangıcını gösterir. \$ \$ END, tüm girdilerin sonunu tanımlar. Akarsu kolları ya da yerel akım giriş/çıkış noktalarının modelleri çıkartılmaktaysa, sırasıyla, \$ TRIB ve \$ LOCAL kayıtları gereklidir. Geometrik ve sediment veri kümelerindeki, akarsu yerel/kol verilerini ana akarsu verilerinden ayırmak için \$ TRIB ve \$ LOCAL kayıtları kullanılır.

6.6 Şebeke Modeli

Yan kollarında taşınan sedimentin hesaplandığı bir akarsu şebekesi sistemi, HEC-6 kullanılarak simüle edilebilir. Bu bölümde, bu amaçla gerekli veri ardalaması tanımlanmaktadır.

Şebeke seçeneği modelin kalibrasyonuna ve teyidine yönelik olarak, akarsu şebekesinin her bir kesiminin ayrı ayrı analiz edilmesine olanak sağlayacak şekilde

tasarımlanır. HEC-6 kullanıcısı, küçük çapta bazı değişiklikler yaparak, veri kümelerini birbiriyle ilişkilendirerek şebekenin tümünün kesin analizi yapabilecektir.

Model kesimlerinin işaretlenmesi için doğru metodoloji kullanılması çok önemlidir. HEC-6, her geometrik modeldeki birinci başlık kaydından etiket için bilgi ayırarak, model kesiminin tanımlayıcısı olarak basımını yapar. Bu nedenle, akarsuyun adı ve veri modeli/test/işletme sayı kodu T1 kaydına işlenmelidir. Veri kümesinin tarihi de yararlı bilgidir.

Bu bölümde kullanılan terimlerin anlamları aşağıda açıklandığı gibidir:

Kontrol Noktası	: Ana akarsuyun mansap sınırı ve herbir yan kolun ana akarsuyla birleştiği nokta.
Yerel Akım Giriş/Çıkış Noktaları	: Akarsuyun herhangi bir kesimde, suyun ve sedimentin bu kesime girdiği veya bu kesimden çıktığı noktalar.
Nehir Kesimi (Alt Kesim)	: Bir nehir sisteminde, memba suyu ile bir sediment giriş noktasını ve bir kontrol noktasında mansap sonunu içeren kısım, sediment taşınımı, bir nehir kesimi boyunca hesaplanır.
Yan Kol	: Nehir sisteminin, ana akarsu dışında kalan ve sediment taşınım hesabının yapıldığı kesim.
Ana Akarsu	: Modelin mansap tarafında çıkış noktasına sahip ana kesim.

6.6.1 Nehir kesimlerinin numaralandırılması

Nehir kesimleri ve kontrol noktaları, isteğe bağlı olarak numaralandırılır. Numaralandırma yöntemi örneği Şekil 6-9'de verilmiştir. Her kesimdeki memba en uç giriş noktası I_k olarak tanımlanmıştır; burada k , nehir kesimi numarasıdır. Yerel giriş/çıkış noktaları büyük oklarla gösterilmiş ve $L_{i,j}$ işaretiyle etkilenmiştir; burada, j , kesim i boyunca yer alan yerel giriş/çıkış noktalarının sıralama (ardalama) numarasıdır (mimba doğru). Kontrol noktaları, daire içine alınmış bir sayı ile gösterilir. Nehir kesimlerinin, giriş/çıkış noktalarının ve kontrol noktalarının numaralandırılması şu aşamalarda yapılmalıdır:

Aşama 1- Akarsu şebekesi sisteminin şemasının çıkarılması

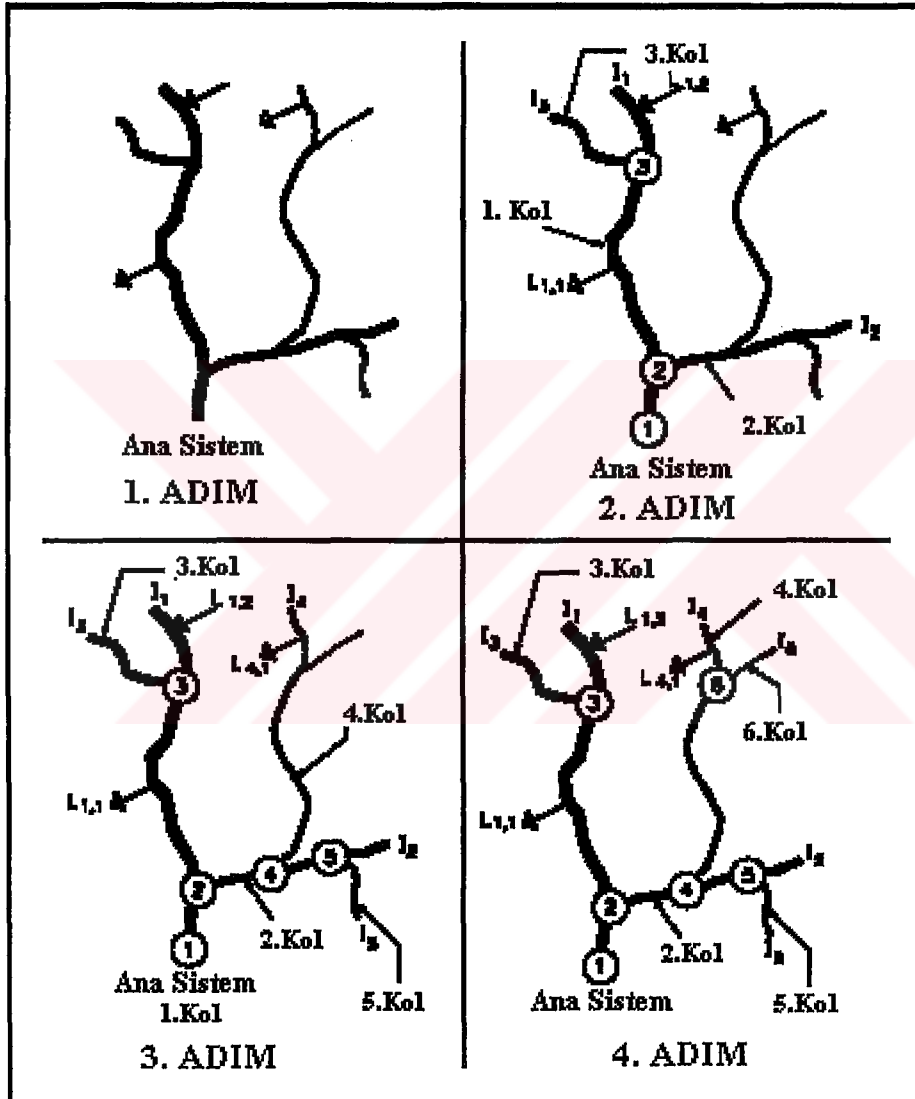
Aşama 2- Yan kolların ana akarsuya döküldüğü kontrol noktalarının 1, 2 ve 3 olarak numaralandırılması. Ana akarsu kesimi 1 ile numaralandırılarak, kollarına 2 ve 3 numaraları verilir. Mimba giriş noktası 1, kesim 2 kontrol noktası I_2 , kesim 3 kontrol noktası I_3 olarak numaralandırılır. Ana akarsu giriş/çıkış noktaları $L_{1,1}$ ve $L_{1,2}$ olarak numaralandırılır.

Aşama 3- Mansap en uç kolundan (kontrol noktası 2) başlayarak, kontrol noktaları 4 ve 5 olarak numaralandırılır. Kontrol noktalarından ayrılan kesimler 4 ve 5 olarak numaralandırılır ve giriş noktaları I_4 ve I_5 işaretlenir. Kesim 4'e giren yerel akım giriş noktası $L_{4,1}$ ile işaretlenir.

Aşama 4- Kesim 2'de mansap en uç kolundan (kontrol noktası 4) başlayarak, kesim 4 boyunca ilerlenir, kontrol noktası 6, kesim 6 ve giriş noktası I_6 işaretlenir. Kesim 6'da yan kol bulunduğu için, kesim 5'deki (kesim 4'ün bir sonraki memba yan kolu) akarsu yan kolları kontrol edilir. Kesim 5'de yan kol bulunduğu ve kontrol noktası 2'de bulunan tüm yan kollar

kontrol edilmiş olduğu için 5. aşamaya geçilir.

Aşama 5- Bir sonraki memba kesimi, kesim 3, yan kollar bakımından kontrol edilir. Yan kol varsa, aşama 3 ve aşama 4'e uygulanan numaralama yöntemi, kontrol noktası 7'e kadar uygulanır. Artık yan kol bulunmadığı için, numaralama işlemi tamamlanmıştır.



Şekil :6-9. Akarsu numaralama sistemi Örneği

6.6.2 Ana akarsu ve yan kolları enkesit veri kümeleri

HEC-6 sistem kesimlerini, enkesit kümelerinin geometrik modeli oluşturacak şekilde biraraya geldikleri sıraya göre tanımlanır. HEC-6, ana akarsu geometrisini okuduktan ve sonunda geometrik veri kümesindeki ilk EJ kaydına eriştikten sonra, bir kayıt daha okuyacaktır. Okuduğu bu kayıt bir \$ TRIB kaydı ise HEC-6, nehir şebekesindeki bir kesim ile ilgili verileri okumaya başlar. Bu işlem, nehir kesimlerini temsil eden tüm geometrik veri kümeleri okununcaya kadar tekrarlanır. \$ TRIB kaydını izleyen CP kaydı, herbir yan kol veri kümesine ait geometri bilgisiyle ilgili kontrol noktası numarasını tanımlar.

6.6.3 Sediment verileri

Ana akarsuda sediment verileri, veri dosyasında geometri verilerini izler. Sediment verileri, su ve sediment özelliklerini, tüm şebekedeki çökellerin granülometrisini (tane boyut sınıflarını) ve birim ağırlıklarını tanımlar. $I_1 - I_5$ arasındaki kayıtlarda sediment özellikleri, akarsu kolları veri kümelerinde yer alıyorsa HEC-6 bu kayıtları atlayacaktır. Bir akarsu kesiminde, bu kesime giren ve/veya kesimden çıkan akımlarla ilgili bilgi, bu kesimin sediment verilerinin bir parçasını oluşturan girdilerdir ve giren/çıkan sediment debileri tablosundan önce yer alan bir \$ LOCAL kaydıyla tanımlanırlar.

Ana akarsu sediment veri kümesi girildikten sonra \$TRIB kaydı ve birinci yan kol sediment verileri kümesi girilir. Sediment verilerinin, daha önce tanımlanan geometri verileri kümeleri ile aynı aralanmaya sahip olması gerektiğinden, bir kontrol numarasının girilmesi gerekmez.

6.6.4 Hidrolojik veriler

Genelde, su debisi ve sıcaklık dereceleri (Q ve T kayıtları), kontrol noktası numaralarının sırasını izleyerek girilir. Kontrol noktasının ait olduğu kesimde yerel akım giriş/çıkış noktaları varsa, bunların debileri ve sıcaklık dereceleri, kontrol noktası bilgilerini izleyen alanlara işlenir. Daha sonra, bir sonraki kontrol noktası ile ilgili bilgiler girilir. Bu yönetimin bir örneği aşağıda açıklandığı gibidir.

Q (Q_1) ve T (T_1) kayıtları alan 1'de yer alan bilgiler, kesim 1'e (bkz. Şekil 6-7) aittir. Bu kayıtlardaki bilgiler, kontrol noktası 1'de su çıkış kesimi 1 ile ilgilidir.

Kesim 1’de alan 2 ($Q_1L_{1,1}$) ve alan 3’de ($Q_1L_{1,2}$ ve $T_1L_{1,2}$) verilen bilgiler, sırasıyla, yerel akım giriş noktaları $L_{1,1}$ ve $L_{1,2}$ ’e aittir. Alan 4 (Q ve T_2), kesim 2’den kontrol noktası 2’ye giren su ile ilgili bilgi içerir. Kesim 3 bilgileri, alan 5’e (Q_3 ve T_3) girilir, ve kesim 3’den kontrol noktası 3’ye giren su ile ilgilidir. Bu işlem, her kontrol noktası ve kesim için tekrarlanır. Akım süresi (W kaydı) verileri, ilgili süre aşamasında yapılan tüm akarsu şebekesi hesaplarında sabit kalır. HEC-6 suyun “güzergahını” belirlemediği için, hidrolojik veriler her kesim için işlemlendirilmeli, tüm sistemin hidrolik ve sediment süreçlerini en iyi simüle eden tek bir süre belirlenmelidir.

6.6.5 Veri kayıt sırası

Veri kayıt zincirinde ilk veri kümesi, geometrik verilerdir. Ana akarsu geometrisinin ardından \$ TRIB, CP ve daha sonra birinci kol, yâni, kontrol noktası 2’de ana akarsuyla birleşen kesim, ile ilgili geometrik model gelir. Birden fazla kontrol noktası varsa, bu kollarla ilgili her veri kümesi, önce bir \$ TRIB komut kaydını daha sonra bir CP kaydını izlemelidir.

Tüm geometrik verileri okuduktan sonra HEC-6, sediment verilerini okur. Her kesim için bir takım olmak üzere, sediment verileri, kontrol noktası numaralarının sırasına uygun dizilmelidir. Bir \$ TRIB komut kaydı, her yan kola ait sediment verilerinden önce gelir.

Hidrolojik veriler, sediment verilerini izler, fakat hidrolojik verilerin girilmesinde, geometrik ve sediment veri kümelerinin girilmesinde kullanılan farklı bir yaklaşım benimsenir. Hiçbir \$ TRIB komut kaydı gerekmez. Bunun yerine, ana akarsu akımı, yerel akımlar ve kontrol noktası akımlarının hepsi aynı Q kaydına işlenir. Mansap sınırı (kontrol noktası 1) başlangıç su yüzey kotu okunur veya hesaplanır, her su debisi ile ilgili su sıcaklık dereceleri okunur ve akım süresi okunur ve akım süresi okunur.

6.6.6 Şebeke sistemleri hesaplama ardalaması

6.6.6.1 Şebeke sistemleri hidrolik hesapları

Öncelikle, ana akarsu su yüzeyi profilleri hesaplanır ve her kontrol noktasında su yüzey kotu belleğe kaydedilir. Su debisinde değişiklik olursa, su debileri karması oluşturarak, ana akarsu ve kolları için yeni su sıcaklık dereceleri hesaplanır. 1 no’lu

kesimin memba tarafına ulaşıldığında, hesaplama işlemleri, 2 no'lu kontrol noktasına geri döner, başlangıç su yüzey kotu bellekten alınır ve akarsuyun 2nci kesimine ait hidrolik hesaplamalar yapılır. Ana akarsuda olduğu gibi, bir yan kol da yerel akım giriş/çıkış noktalarına ve kol birleşme noktalarına ve kol birleşme noktalarına sahip olabilir. Bu noktalara, ana akarsu ile ilgili olarak yukarıda açıklanan aynı hesap sırası uygulanır. 3 no'lu kesime ait hidrolik hesaplamalara, tüm kesimlerin analizi tamamlanıncaya kadar devam edilir; daha sonra sediment taşınma hesaplamalarına geçilir.

6.6.6.2 Sediment hesapları

Verilerin girilmesi ve hidrolik hesaplar, verilerin okunmasında izlenen sırayı ters bir sıralama izler. HEC-6 için önce en uzaktaki yan kolu (en yüksek kesim numarası) işlemlendirmek böylece sedimentin, bir sonraki kesime katkısını saptamak söz konusudur.

En uzaktaki kola ait tüm sediment hesapları tamamlandıktan ve sonuçların basımı yapıldıktan sonra, en uzak koldan önceki kola ait hesaplara geçilir. Ana akarsu sediment hesabından sonra HEC-6, bir sonraki debiyi okunmak için geriye döner. İşlem, tüm debilerin analizi tamamlanıncaya kadar tekrarlanır.

6.7 Diğer Seçeneklerle İlgili Girdi İhtiyacı

6.7.1 Sabit yatak hesapları

HEC-6, HEC-2'de olduğu gibi, bir "sabit-yatak" modeli olarak kullanılabilir. Gerekli minimum kayıtlar, T1 - T3, X1, GR, H, EJ, \$HYO, Q, Q, R, T, W ve \$\$END'dir. H kaydı boş bırakılabilir. İsteğe kayıtlar, NV, X3, X5, \$RATING ve RC'dir. Görüldüğü gibi, T4'den PF'e kadar olan kayıtlar gerekmemektedir; bu kayıtlar varsa, sabit-yatak işlemi, \$HYD-\$\$END arasındaki kayıtları, geometri veri kümesinin EJ kaydından sonraki kayıda kaydırmak suretiyle gerçekleştirilebilir. Sabit-yatak işlemleri,geometrik verilerde, varsa, hâtâları saptamak ve düzeltmek, ve modelin tüm akım değerlerinde hidrolik davranışını analiz etmek için kullanılır.

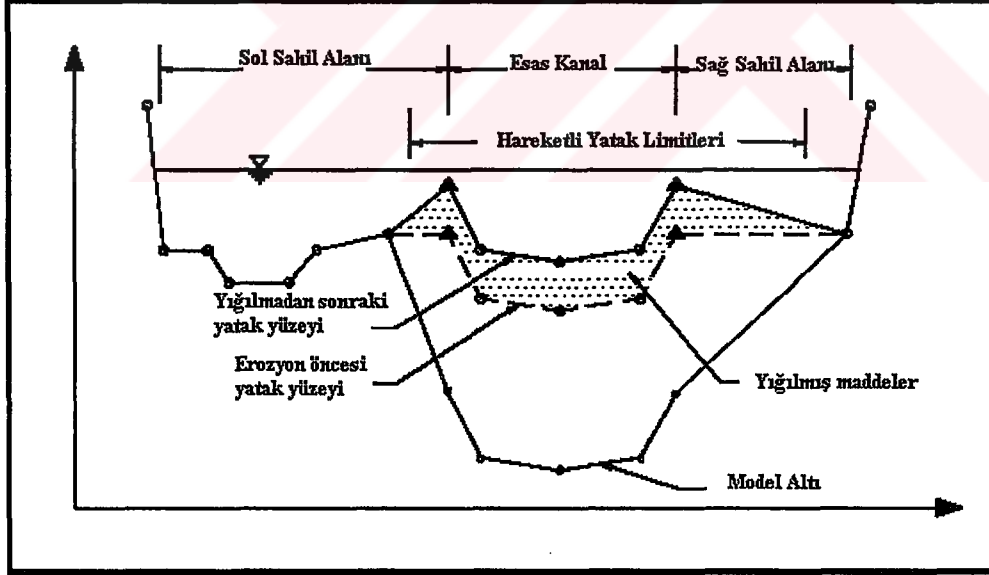
6.7.2 Çoklu sabit yatak işlemleri

Yan kol veya yerel giriş/çıkış noktaları yoksa, bir işlemde en çok on profil hesaplanabilir.

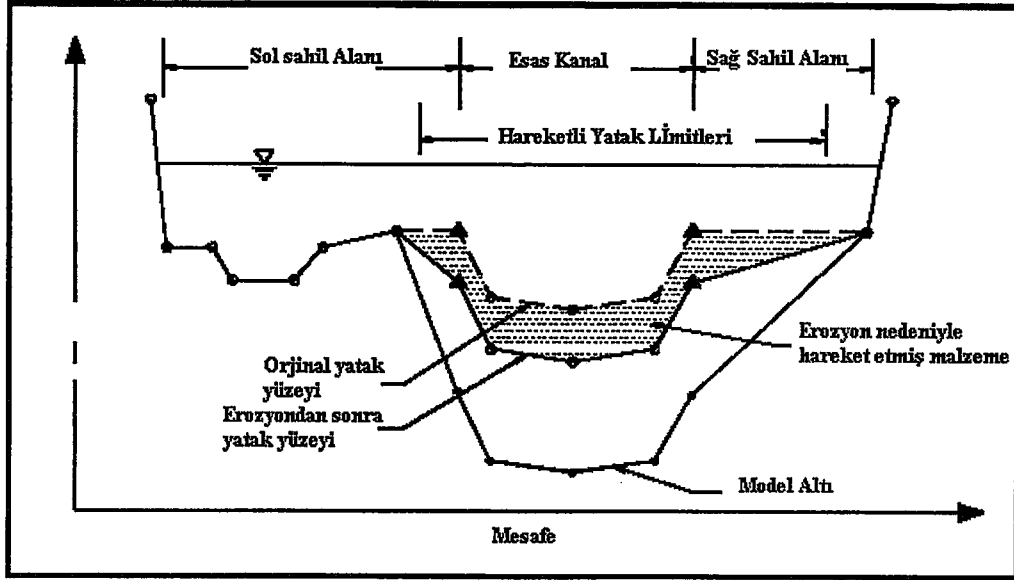
Çoklu profil işlemleri, tekli işlemlerden daha fazla tercih edilir çünkü aynı sayıda debi değeri için, çoklu profil işlemiyle daha öz yazılı daah kolay elde edilebildiği gibi karşılaştırma daha kolay yapılabilir. Bir \$RATING kayıt takım girilmişse, R kaydı gerekmez.

6.7.3 Birikim sonucu enkesitin şekli

Önceden tanımlamayla HEC-6, her enkesitin kotunu ayarlar ve hareketli yatağın ıslak kısmında birikim veya erozyonun sabit miktarıyla koordineli alınmasını sağlar (şekil 6-10). Hirolojik verilerin \$GR kaydı kullanılarak düzensiz birikim seçeneği sağlanır. Düzensiz birikim, su derinliğinin bir fonksiyonu olup zaman içinde yatay birikim yüzeyi ile sonuçlanacaktır. Erozyon ile ilgili yatak kotu ayarlamaları, üniform olarak kalır.



Şekil 6-10. Düzenli Birikim



Şekil 6-11. Düzensiz Birikim

6.7.4 Çoğalan hacim hesapları

HEC-6, herbir enkesitten geçen sediment malzemesi kümülâtif hacmini hesaplayabilir. Bu seçenek, \$VOL kaydıyla başlatılır. HEC-6, herbir enkesite ait kotların tablosunu hazırlamak için depolama hacmini de hesaplar. Kot tablosunu tanımlamak için VR ve VR kayıtları kullanılır.

7. ÖRNEK PROBLEMLER

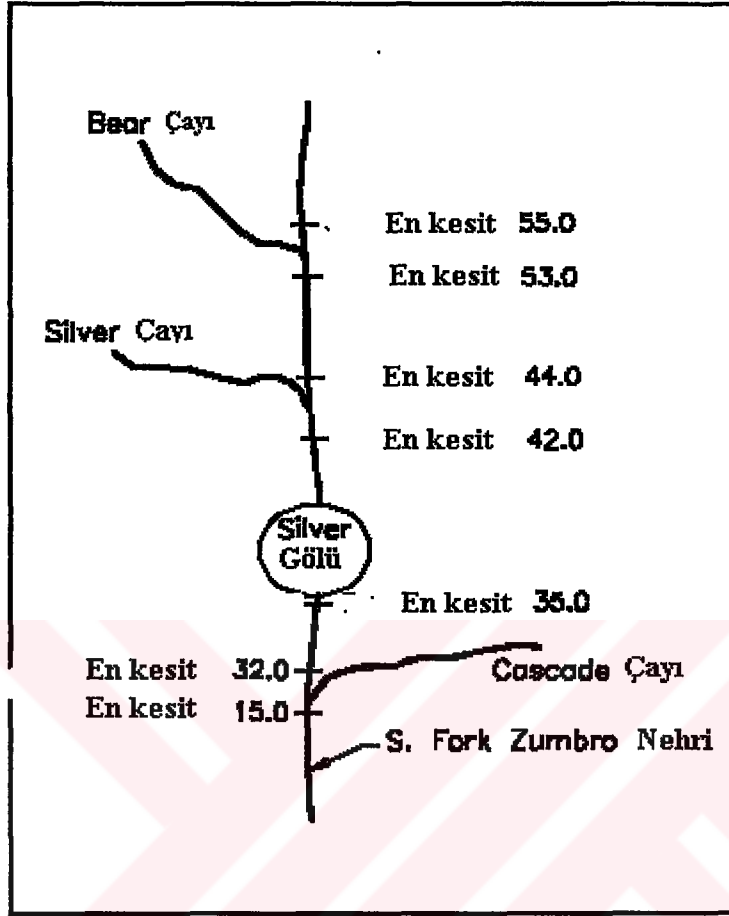
Bu bölümde, çeşitli tipik HEC-6 uygulamalarında girdi veriler ve hesaplanan sonuçlarla ilgili dosyaların içeriğini gösteren çeşitli örnek problemler ele alınmaktadır. Girdi veri kayıtlarına ilişkin detaylı açıklamalar girdi tanımı 6 bölüm kapsamında yer aldığı için burada tekrarlanmamıştır. Örnek problemler, HEC-6 mühendislik uygulamaları için bir rehber niteliğinde değildir. Buradaki örnekler yalnız, farklı koşulların modelini çıkarmak için gerekli verilerin çeşidini ve sırasını göstermek amacıyla verilmiştir. Verilen örnekler hareketsiz-sınırlı (kazanma suyu) sistemlerden, dentritik (dallantılı / çok yan kolu) akarsu sisteminde sediment taşınımının simülasyonuna kadar bir dizi durumu kapsamaktadır.

Gerçek uygulamalardan alınmalarına karşın örnekler, örnekleme amacıyla değiştirilmiştir. Dolayısıyla, bu problemlerde kullanılan parametrelerin değerleri sahadan derlenen verilere dayalı değildir.

Bazı verilerin, birden fazla yöntemli tanımlanmasına olanak sağlayan çeşitli seçenekler vardır. Örneğin, yatak sediment kontrol hacminin derinliği, hidrolik veri (HD) kaydında açıkça tanımlanabilir veya 'H' kaydında model tabanın kotuyla ifade edilebilir; her enkesit adına yalnız bir "H" veya "HD" kaydı gerekeceği için, belirli bir enkesitte iki kayıttan birisi kullanılabilir. Analist, kendi uygulamasına ait uygun seçeneği seçmelidir. Bu seçimde, fiziksel koşullar, incelemenin amaçları, eldeki veriler ve seçilen seçeneğin kolay uygulanabilir olması dikkate alınır.

7.1 Örnek Problem 1- Hareketsiz-Yatak Uygulaması

Başlangıçta, geometrik verileri hazırlarken ve enerji kaybı katsayılarını ayarlarken, çoğu kez, HEC-6 modelini hareketsiz-yatak (kabarma suyu) modeli olarak kullanmak olumlu sonuç verir.



Şekil 7.1 Örnek Nehir Sisteminin Sistematığı

7.1.1 Girdi verileri

Ek 1 - Problem 1'deki veriler, HEC-6'ı hareketsiz-yatak modeli olarak kullanmak için uygundur. HEC-6 verileri, T1, T2 ve T3 olmak üzere üç başlık altında kayıtlar başlar. Bunu, yatak pürüzlülük verileri (NC) ve X1 kaydıyla başlayan enkesit geometrisi izler. GR kayıtları, enkesitin geometrisini bir dizi kot ve istasyon noktaları olarak tanımlar. HD kayıtları, her enkesitte yatağın hareketli kısmını gösterir; HEC-6 modelinin hareketsiz yatakla ilgili uygulamasıyla bir ilişkisi olmamasına karşın bir HD kaydı, veri dosyasındaki her enkesitin GR verilerinden sonra gelmelidir.

Genellikle, HEC-6 veri kayıtları konuma bağlıdır. Enkesitlerle ilgili veriler mansapdan membaya doğru girilir. QT kayıtları, akım giriş/çıkış noktalarını ve akarsu yan kollarının ana kolla birleştiği noktaları gösterir. Oysa, yorum kayıtları,

konuma bağımlı değildir; veri dosyasında herhangi bir yere yerleştirilebilir. Yorum kayıtları, O sahasında boş bir ID kaydı ile gösterilir (bir başka deyişle, kaydın ilk iki harfi veya sütunun yeri boştur). Yorum kayıtları, modeldeki olağandışı durumları kayda geçirmek için, bir veri dosyasının her yerinde kullanılabilir.

Enerji kaydı eşitliğinin (HEC, 1986) bütünlüğünün doğruluğunu artırmak için ilâve hesaplama düğüm noktaları (node) sağlamak için, çoğu kez, tekrarlanmış enkesitler kullanılır. Yorum kayıtlarında görüldüğü gibi, kesit no. 33.3, kesit no. 33.0'ün bir kopyasıdır / tekrarıdır. Bu, kesit no.33.0 veri kayıtlarını kopyalayarak ve bölüm ID numarasını ve profil uzunluklarını değiştirerek gerçekleştirilmiştir. Bu örnekte, kesit no. 33.3, genişlik ve yükseklik ayarlamaları bakımından da farklıdır. Genişlik ve yükseklik değişiklikleri herhangi bir enkesitte yapılabilir. Bir tekrar enkesit, sıfıra eşit istasyon noktaları (Alan 2) sayısı ile X kaydı tarafından tanımlanır; bu tanımlama, bu enkesit için bir önceki enkesitin geometrisinin tekrar kullanılması konusunda HEC-6'a uyarıdır. Tekrar enkesit seçeneği, HEC-6 modelinin geliştirildiği ilk dönemlerde, dosya editörleri ve delgi makinalarındaki sınırlamalar nedeniyle kullanılmış olup, günümüzün daha gelişmiş dosya editörleri (COED gibi) sayesinde, tekrar enkesit yerine kopyalanmış kesitlerin kullanılması önerilir. "Akarsu doğrusal sınırını temsil eden" enkesit teorisini içeren sediment taşınım özelliklerine sahip kopya / tekrar enkesitlerin kullanılmasına dikkat edilmelidir. (Thamas, 1982).

7.1.2 Çıktı

Örnek Problem 1 çıktısı, Ek 1'de verilmiştir. Çeşitli seviyelerde çıktı detayı, HEC-6 kullanıcısının kullanımına hazırdır. Çıktı detayları, bazı girdi veri kalemleriyle kontrol edilir; seçilen girdilerden elde edilen çıktılar her problem kapsamında tanımlanacaktır. Çıktı terminolojisi şöyledir: Hazır (önceden tanımlanmış) çıktı, A-düzeyi B-düzeyi, vb.; birbirini izleyen her seviye daha ileri düzeyde detay sağlar. Hazır (önceden tanımlanmış) HEC-6 çıktısı, en az düzeyde bilgi sağlar.

HEC-6 önce, program versiyonu ve tarihi, simulasyon tarihi ve süresi ile ilgili bilgileri verir. HEC-6 kullanıcısına ileride kaynakça oluşturmak üzere, girdi ve çıktı dosyası adları, çıktı dosyasına girilir. Bunu, geometrik verilerle ilgili bilgiler izler. Örnek problem 1'de, önceden tanımlanmış (minimum) geometrik çıktılar verilir. T1

kaydındaki anahtarlar vasıtasıyla ek bilgi edinilebilir . Her enkesit, X1 kaydındaki kimlik numarasıyla etiketlenir. “Yatak derinliği...”, HD kaydındaki bilgiye dayalıdır. Enkesit ayarlaması ile ilgili bilginin yanısıra sisteme giren kaybı katsayılarında değişikliklerle ilgili bilgi yankılamayla elde edilir. Geometrik veri çıktılarının elde edilmesinden sonra profiller (veya zaman aşamaları) 1 ve 2, hidrolik hesaplar veya kabarma suyu hesapları, için A-düzeyinde çıktı veriler. Bu çıktı, Q kaydı sütun 5’deki bir A değeri tarafından uyarılır ve böylece her enkesitin her arakesitindeki debi, su yüzeyi kotu, enerji eğim hattı kotu dinamik yükseklik, alfa, üst genişlik, ortalama yatak kotu ve ortalama hız çıktı dosyasına kaydedilir. Debi değeri, kabarma suyu hesabı memba yönünden devam ederken, sisteme giren yerel akışların azaldığını gösterir. Yerel akış verileri, nehir anakal debisinin asla negatif değere düşmemesini sağlamak için kontrol edilmelidir. Ortalama yatak kotu (AVG BED), su yüzeyi kotu eksi aktif (etkin) derinliktir . Arakesit 1 sol sahil kesitini, Arakesit 3 sağ sahil kesitini temsil eder. Hidrolik bilgi, geometrik verilerin ilk yorumlanmasında çok yararlıdır; veriler doğrulandıktan sonra A-düzeyi hidrolik çıktı işlemi durdurulabilir.

7.2 Örnek Problem 2- Hareketli Yatak

Daha önce hazırlanmış olan dosyaya sediment verilerinin nasıl ekleneceği aşağıdaki örnekte açıklanmaktadır. Girdi dosyasındaki sediment verileri HEC-6 modelinin, sediment taşınım hızlarını hesaplamasına ve Bölüm 5’de açıklandığı gibi enkesit geometrisini değiştirmesine olanak sağlar. Sediment ile ilgili veriler, hareketli yatağı, yataktaki sedimentin özelliklerini ve gradasyonunu, sisteme giren / sistemden çıkan sediment yükleri ve gradasyonlarını tanımlar. Sediment verileri, \$ HYD kaydının arasına yerleştirilir. Tablo 7-2a’da, Örnek Problem 2 için geliştirilen girdi veriler yer almaktadır.

7.2.1 Hareketli yatak sınırları

Hareketli yatakla ilgili bilgiler, her enkesite ait HD kaydına girilmiştir. Örneğin, 1.0 no’lu enkesitte hareketli yatak sınırları, 10,081 ve 10,250 istasyonlarında tanımlanmıştır. “Sabit” GR noktaları, hareketli yatak istasyonlarının dışında kalan noktalardadır; bir başka deyişle, hareketli yatağın bir sınırı, bir GR noktasıyla çıkışırsa bu nokta hareketlidir ve dışa doğru bir sonraki nokta sabittir. ,

Enkesitin hareketli kısmının düşey sınırı da (başlangıçtaki derinlik) tanımlanmalıdır. Anakayacın yerini tanımlayan veriler, her enkesite ait HD kaydında alan 2'ye girilir. Örnek problem 2'de, 58.0 no'lu kesitin temsil ettiği akarsu kesiminde anakayacın talvegin 10 m altında yer aldığı saptanmıştır. 33.0 no'lu enkesit ile 42.1 no'lu enkesit arasında talveg ile ya beton ya da anakayaç yer almaktadır.

7.2.2 Sediment başlık kayıtları

Başlangıçta beş başlık kaydı (T4 - T8) gerekmektedir; bu kayıtlar, HEC-6 kullanıcısı için sediment verileri dökümanlasyonunda kullanılır.

7.2.3 Sediment taşınım kontrolü parametreleri

Sediment taşınım hızlarının hesaplanmasında ve tane boylarının seçiminde kullanılan parametreler I kayıtlarına işlenir. Örnek Problem 2'de, bir zaman aşamasında tekrar hesaplanması gereken yatak malzemesi gradasyonu tekrar hesaplama sayısı, I1 kaydında 5 olarak belirlenmiştir (bkz. 5.1.4). Bu kayıta yer alan diğer parametreler için önceden tanımlanmış değerleri kullanılır. Örnek Problem 2'de yalnız kumlar ve çakıllar analiz edilir ve yatakta ne de sisteme giren yükte kil veya silt bulunmadığı için I2 veya I3 kayıtları da yoktur. I4 kaydı Alan 3'de 1, Alan 4'de 10 kaydında görüldüğü gibi on kum ve çakıl boyutu irdelenmektedir. Sediment taşınımı hesaplama metodu olarak Yang metodu seçilmiştir (I4 kaydı Alan 2'de 4). Diğer parametreler için hazır değerler seçilmiştir. I kayıtlarda seçilen tane boyu değerlerinin, bu boyutlardan bazıları, yatakta veya sisteme giren malzemelerde bulunmasa bile, gerek yatak malzemesindeki gerekse sisteme giren yükteki tüm tane boylarını kapsayacak şekilde seçilmesi önemlidir.

Hidrolik parametrelerle ilgili "en duraylı" katsayı, I5 kaydı vasıtasıyla seçilmiştir.

7.2.4 Nehir sistemine giren sediment yükleri

Nehir anakolunu membasından giren sediment yükü, sediment yükü tablosundaki değerlerle, tane boyuna göre su debisinin karşılaştırılmasıyla saptanır. Sediment yükü tablosu, LQ, LT ve LF kayıtları kullanılarak oluşturulur. LQ kaydı, su debi değerlerini içerirken, LT kaydı nehir sistemine giren mukabil toplam sediment yüklerini içerir. Örnek Problem 2'de, yük tablosundaki su debi değerleri 1 cfs ile 90,000 cfs arasında değişmekte, ilgili sediment yükleri ise 0.011 ton / gün ile

400,000 ton / gün arasında değişmektedir. Tane boylarının dağılımı, LF kayıtlarında tanımlanmakta olup bu kayıtlar, belirli bir tane boyutunun toplam yükteki payını içermektedir. Veriler, inceden kaba tane boyutuna kadar tüm boyutları kapsayacak şekilde işlenir ve I2 - I4 verileriyle seçilen boyut değerlerine tekâbül etmelidir.

Söz konusu problemde, nehir sistemine yerel olarak giren üç su ve sediment akışı vardır; bunların yerleri, geometrik verilerdeki QT kayıtları tarafından tanımlanır. Sediment yükü / yerel olarak sisteme giren akış tabloları, nehir anakolundan sisteme giren yük verilerine benzer şekilde, LQL, LTL ve LFL kayıtlarında yer alır.

Yerel akışda sediment yükü tabloları, geometrik verilerin ardalamasıyla aynı sırayı izleyerek girilir.

7.2.5 Yatak malzemesi gradasyonu (sınıflandırması)

Yatak sediment kontrol hacmindeki malzemenin ilk gradasyonu, PF (ince tane yüzdesi) ile tanımlanır. Örnek problem 2’de bu veriler, sadece PF kayıtları Alan 2’de 1.0, 32.0 ve 58.0 no’lu enkesitlerde verilmiştir. Bu verilerin hangi enkesitlerde ve kaç enkesitte verileceği, incelmenin amaçlarına, arazide elde edilen verilere, vb. bağlıdır. Ara enkesitler için HEC-6, yatak malzemesi gradasyonuna doğrusal interpolasyon (iç değer biçim) uygulanacaktır. Gradasyon tablolarındaki noktaların, bilgisayar ortamında hesaplamalar için seçilen tane boyu sınıflarına uygun olması gerekmektedir.

7.2.6 Akım verileri

Akım verileri girdi yapısı, daha önce verilen örneklerde tanımlanan yapıya benzer. Ancak, aralarındaki farklardan birisi, Q kayıtlarında sediment hesapları için A-, B- ve C- düzeylerinde çıktılarının seçimidir. Ayrıca, hareketli yatak simulâsyonunun sonuçları bakımından hidrolojik veriler de son derece önemlidir. Simule edilecek kayıt süresinin veya varsayımsal bir olayın ve kullanılacak zaman aşamalarının süresinin seçilmesi sırasında dikkatli davranılmalıdır. Bazı durumlarda su sıcaklık dereceleri de önemli olabilir.

7.3 Örnek Problem 3- Rezervuarlar

HEC-6, rezervuar yerindeki su yüzeyi kotunu, girdi verilerinde tanımlanan bir zaman fonksiyonu olarak kullanmak suretiyle rezervuarları simule eder. Hidrolik hesaplar hala kararlı hal olduğu için su yönlendirmesi (rotalaması) yoktur. (yani, dışa akış her zaman içe akışa eşittir).

7.3.1 Rezervuar verileri

Örnek Problem 3 girdileri Ek 1’de verilmekte ve iki rezervuarlı bir probleme ait verileri göstermektedir; bu rezervuarlardan biri mansap sınırında (Kesit No. 1.0), diğeri Silver Gölü üzerinde olup 35.0 no’lu kesitten başlayarak membada 53.0 no’lu kesit ise örnek gölün memba ucunda yer almaktadır. Mansap rezervuarının işletilmesi, akım verileri R kayıtlarında Alan 1’e işlenen su yüzeyi kotları bir zaman fonksiyonu gibi kullanılarak simule edilir. Aynı şekilde, 35.0 no’lu kesitte, örnek göl rezervuarının mansap sınırını tanımlayan X5 kaydı, su yüzeyi kotlarının zaman aşamalarının R kaydı Alan 2’de bulunacağını gösterir. 53.1 no’lu Kesitte X5 kaydı, gölün memba sınırını tanımlar. İki X5 kaydı, modeli 3 ara kesite ayırır: Mansap rezervuarını temsil eden birinci ara – kesit 1.0 ve 33.9 kesitleriyle sınırlanmıştır; ikinci ara-kesit olan gölün, 35.0 ve 53.0 kesitleriyle, yardımcı memba kesiti olan üçüncü ara-kesit ise 53.1 ve 58.0 kesitleriyle sınırlanmıştır. Böylece, her ara-kesit için elde edilen bilgi, iki rezervuarın ve yardımcı memba kesitinin davranışı analiz etmek için kullanılabilir.

7.3.2 Kot-yüzölçümü ve kot-depolama hacmi tabloları

Kot / yüzölçümü ve depolama hacmi tabloları, akım verilerindeki \$VOL, VS ve VR kayıtları kullanılarak elde edilebilir. Örneğimizde, bu kayıtlar, 6m artımlarla 2832 m kotundan (Kesit No.1.0’ın yaklaşık talveg kotu) 1422 m kotuna (Kesit No. 53.0’ün yaklaşık talveg kotu) uzanan bir dizi yatay düzleme ait tabloların hazırlanmasında kullanılmıştır. Her enkesitin uç noktasının, bu kotlardan daha yüksek olmasına dikkat edilmelidir.; aksi halde, HEC-6, kesitlerin uç noktalarını düşey olarak öteleyecek, yüzölçümleri ile hacimler çok küçük olacaktır.

Örnek Problem 3 ile ilgili çıktı, Ek 1’de verilmiştir. 1 nci zaman aşamasından önce ve 4 ncü zaman aşamasından sonra, VR kayıtlarında tanımlanan her kotta 1.0, 35.0 ve 53.1 kesitlerine ait yüzölçümleri ve depolama hacimleri verilmiştir (söz konusu enkesitlere \$VOL çıktısını sınırlamak için \$PRT seçeneği kullanılmıştır).

Örneğin, 35.0 no’lu kesitte, 2904 m kotta ilk depolama hacmi 148 ha’dır. Buna göre, 2955 m kotun altında 35.0 ile 58.00 no’lu kesitler arasında yaklaşık 17415 m³ sediment birikmiş, Silver Gölünün depolama hacmi azalmıştır. İlgili barajın enkesitinin talveg yüksekliğinin üzerindeki kotlar için tablodaki bilgileri kullanmak yeterlidir. Bu tablolar, kot - birikme ve birikme - mesafe ilişkilerini kurmak için kullanılabilir.

7.3.3 Sediment tutma etkisi

Rezervuarların, sediment tutma etkisi yaratan memba ve mansap uçlarını göstermek için X5 kayıtları kullanılmıştır. Örnek gölü temsil eden orta kesite ait 4 ncü zaman aşamasında 1498.5 m³’lük hacmi Silver Çayından girmiş ve 14377.5 m³’lük hacmi Silver Gölünden geçerek, bu simulâsyonda Göl’e % 91 değerinde bir sedimentasyon tutma etkisi kazandırmıştır. Mansap rezervuarının tutma etkisi % 99’dur. Negatif etkiler, oyulmayı gösterir.

8. SONUÇ

HEC-6, “Nehirlerde ve Rezervuarlarda Oyulma ve Birikme”, bir bilgisayar programıdır. Fiziksel modeller gibi sayısal modeller de, nehir sistemlerinde etkili tahmin yöntemleri olarak kullanılmalrı isteniyorsa, doğrulukları tahkik edilmeli ve kalibrasyonları yapılmalıdır. HEC-6 gibi bir bilgisayar programına verileri yüklemek ve sonuçların güvenilir olduğunu düşünmek cazip gelebilir. Oysa, hareketli-sınırlı bilgisayar programları, tam anlamıyla anlaşılamayan sayısız karmaşık faktörü içermeleri nedeniyle, hareketsiz-sınırlı hidrolıkların basit uzantıları değildir. Programları, prototipi simüle etmekte olduklarını göstermek için doğrulama ve kalibrasyon mutlaka yapılmalıdır.

8.1 Model Performansının Teyidi

8.1.1 Genel

Bir projenin analizi amacıyla bir sayısal modeli kullanmadan önce, modelin performansı teyid edilmelidir. İdeal olarak teyid işlemi iki kademeli bir uygulamayla yapılır: Katsayıların seçilmesi (veya kalibrasyonu) ve katsayıların tahkiki (doğrulanması). Seçim aşamasında, seçilerek ve ayarlanacak katsayıların değerlerinin saptanması, böylece hesaplanan sonuçların, arazide ölçülen değerlerle, kabul edilebilir yanılma payları dahilinde uyuşmasının sağlanması amaçlanır.

8.1.2 Doğrulama işlemi

İkinci aşamayı oluşturan doğrulanma (tahkik) işleminde, sınır koşulları değiştirilir (örneğin, farklı bir zaman aralığı kullanılır) ve katsayılar değiştirilmeksizin simulasyon tekrarlanır.

Birinci aşamada seçilen katsayıların, seçilmeleri sırasında kullanılmayan olaylara uygulandıklarında prototip davranışı da tanımlayıp tanımlamayacakları ikinci aşamada saptanır. Sisteme giren sediment yükü, doğrulama işlemi için seçilen

süredeki yük ile uyumlandırmak amacıyla, gerekirse değiştirilir. Sabit bir debi ile başlayan bir akım hidrografına doğru ilerlenir.

Doğrulama süresi, birkaç yıllık bir süreyi kapsayabilir. Bu durumda, incelemek için, her yıla ait sadece birkaç önemli değer seçilir. İnceleme alanındaki tüm ölçülerde, hesaplanan su yüzeyi katlarını ve aynı sürede oluşan ve gözlemlenen kotları çizilir. Model performansı, mutlak yanılma paylarının ortalaması alınarak nicellendirilebilir. Kuşkusuz, en düşük ortalama yanılma değeri, en iyi performansı gösterir. Performans kalitesi, incelemeye-özgü özellikle tanımlanır ve büyük bir olasılıkla her çalışmaya göre değişecektir.

Modelin performansının yeterli olduğunu ya da başka ayarlamalar gerektiğini ancak iyi bir mühendislik kararı belirleyecektir.

8.2 Bilgisayar Ortamında Hesaplama İle İlgili Görüşler

HEC-6 gibi hareketli sınır modellerinin uygulanması, özellikle 50-100 yıl gibi uzun süreleri kapsayan çalışmalarda, önemli ölçüde hesaplama kaynaklarını gerektirebilir. Sayısal modelin işletilmesi, hesaplama gereksinimlerinden yalnız biridir. Hidrolik verilerin depolanması ve kullanılması, girdi verilerin ve sonuçlarının grafiksel gösterimi için yeterli yazılıma da sahip olmak gerekir. İnceleme erimi (menzili) nispeten kısa, hidrografları genellikle yapan ve kısa süreli, ayrıca sediment yükleri de yapay olarak üretilebildiği için münferit olay analizlerinde, kalibrasyon verilerine pek ender rastlanır.

8.3 Sonuçların Yorumlanması

Fiziksel modellerin yanısıra sayısal modellerden alınan sonuçlar, plan test sonuçlarını baz durum sonuçlarıyla karşılaştırılarak yorumlanmalıdır. Baz durum, hiçbir proje kapsamında olamayan ve önceden tahmin edilen gelecektir. Değişken değerler dışında tüm girdi veriler her iki simulasyonda da aynı olmalıdır. Örneğin, bir barajın yapılması nedeniyle birikme ve ayrışma, baraj inşa edilmemiş olsaydı nehrin ilgili karşılaştırılmak ve barajın neden olduğu sorunlar saptanmalıdır. Buna göre, barajsız durumda proje ömrü boyunca, inceleme alanındaki akarsuyun tüm uzunluğunda meydana gelen sedimentasyon simule edilerek baz test koşulları elde

edilir. Plan Durumu, barajlı durumda simulasyonun tekrarlanmasıyla saptanır. Her iki simulasyonun sonuçları karşılaştırılarak barajın etkisi değerlendirilir.

Dünyada kullanımı her geçen gün geliştirilerek yaygınlaşan bu model, özellikle hidrolojik bazı verilerin eksikliği nedeniyle ülkemizdeki havza ve rezervuarlarda henüz uygulanamamaktadır. Bu eksiliğin kısa zamanda giderilmesiyle bu konudaki çalışmaların ülkemizde de hız kazanacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

A) Kitap ve Kitap Bölümleri

Akbari, Ghulam Hussein. , 1987. A Study of Reservoir Sedimentation, Ankara.

Bagnold, R. A., 1941. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. W. Morrow, New york.

Beyazıt, Mehmetçik., 1996. Mechanism of Sediment Transport. Sediment Transport Technology, Proceedings, Vol. 1.

Garde, R. J. ve Ranju, Raga., 1978. Mechanics of Sediment Transport and Alluvial Stream Problems. Wiley Eastern, Limited. New Delhi.

Graf, W. Hans., 1971. Hydraulics of Sediment Transport.. Mc Graw Hill Book Company. New York.

Julien, Pierre Y., 1995. Erosion and Sedimentation. Cambridge University Press. Melbourne.

Lara, J. M., 1962. Revision of the Procedure to Compute Sediment Distribution in Large Reservoirs. U. S. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.

Linsley, Ray K.; et. Al., 1992. Water Resources Engineering. Mc Graw Hill, Inc. Singapore.

Morris ,G.L., Fan, J., 1999. Reservoir Sedimentation Handbook. USA

Munson, B. R.; Young, D.F., 1990. Okiishi, T. H. Fundamentals of Fluid Mechanics. Arico Printers Pte. Ltd. Singapore

Simons Darly B. ; Şentürk, Fuat.,1992. Sediment Transport Technology.; Water and Sediment Dynamics. Book Crafters, Inc. Michigan.

U.S. Army Corps of Engineers, Hyrologic Engineering Center, 1993. HEC-6 Scour and deposition in Rivers and Reservoirs User's Manual, Davis,CA.

Yahn, M. S, 1977. Mechanics of Sediment Transport. Biddles Ltd. Oxford.

Yang, Chih Ted, 1996. Sediment Transport Theory and Practice. Mc Graw Hill, Inc. Singapore.

Yanmaz, Melih, 1997. Applied Water Resources Engineering. METU Press. Ankara.

B) Süreli Dergilerdeki Makaleler

Ackers, P and W.R. White, 1973. Sedimet Transport: New Approach and Analysis. *Journal of the Hydraulic Division, American Society of Civil Engineers.* 99(HY11):2041-2061

Bagnold, R. A., 1956, Flow of Cohesionless Grains in Fluids. *Philosophical Trans. ASL*, No. 964, Vol. 249.

Borland, W. M. ve Miller C., R., 1960. Distribution of Sediment in Large Reservoirs. *Transactions of ASCE* Vol. 125.

Colby, B. R. ve Hembree, C. H., 1955. Computations of Total Sediment Discharge, Niobrara River Near Cordy, Nebraska. *USGS, Water Supply Paper*, 1357.

Einstain, H. A., 1950. The Bed Loan Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows. *USDA. Tech. Bull.* No. 1926.

Gilbert, K. G., 1914. The Transportation of Debris by Running Water. *U. S. Geol. Survey*, Prof. Paper 86.

Günerman, H., 1975. Rezervuar Tuzaklama Verimi, *D.S.İ Teknik bülten*, Sayı 31, D.S.İ matbaası, Ankara.

Kalinske, A. A., 1947. Movement of Sediment as Bed Load in Rivers. *Trans. AGU*, Vol. 28, No. 4.

Kramer, H., 1935. Sand Mixture and Sand Movement in Fluvial Models. *Trans. ASCE*, Vol. 100, pp.798-878.

Laursen, E. M., 1958. Total Sediment Load of Streams. *JHD, Proc. ASCE*, Vol. 95, No. HY-1.

USECE, 1989. Sedimentation Investigations of Rivers and Reservoirs. *EM 1110-2-4000*.

UNESCO. Method of Computing in Lakes and Reservoirs. *A contribution to the International Hydrological Program*. Paris, France, pp. 65 - 164.

Williams, J. R.; Berndt, H. D., June 1972. Sediment Yield Computed with Universal Equation. *J of the Hydraulics Div., ASCE*, Vol. 98, No. HY6, pp. 1057-1070.

C) Akademik Konferanslarda Sunulan Bildiriler

Adıgüzel, F., Çevik H., 1990. Baraj ve Rezervuarlarında Sedimentasyon İncelemesi. *Planlama Semineri*, Şanlıurfa.

Arpacioğlu, F., 1969. Rezervuarlarda Sediment Problemi ve Göletlerde Rusubat Miktarı Hesabını Veren Üiversal Metod. *D.S.İ Genel Md. Hidroloji Semineri*, Ankara.

Meyer – Peter, E.; Muller, R., 1948. Formulas of Bed Load Transport. Proc. *IAHR, 2nd Congress*. Stocholm.

Tankırcı, G., 1997. Akım Süreklilik Eğrisi, Sediment Taşınımı ve Havza Verimi Hesabı. *Kar ve Sediment Semineri*, Bursa.

D) Tezler

Asaad,R., 1990. Türkiye’deki Baraj Haznelerinde Katı Madde Çökelmesinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı, Adana.

İlter, K., 1985. Rezervuar Sedimentasyonu ve Seyhan ile Çubuk 1 Rezervuarlarının Sedimentasyon Durumunun İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı, İstanbul.

Kayhan, B.A., 2000. Nehir erozyonu Hidroliği ve Rezervuar Ölü Hacim Hesaplama Metodları. *Yüksek Lisans Tezi*. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale.

Özgür, C.A., 1997. Baraj Göllerinde Sedimentasyon. *Yüksek Lisans Tezi*. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.

Yalçınkaya, F., 1991. Reservoir Sedimentation in Turkey. *M. Sc. Thesis*, Dept. Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara.

Yener (Kutoğlu), Audrey Gülay, 1994. Estimation of Sediment Yield Rates of Reservoirs in Turkey. *M. Sc. Thesis*, Dept. Civ. Eng., Middle East Technical University. Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

01.06.1976 Ankara doğumlu olan Murat Barış MANDEV aslen Rize’lidir. İlk öğrenimini Gazi Osman Paşa İlkokulu, orta ve lise öğrenimini Mustafa Kemal Lisesi’de tamamlayan yazar, 1994 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazanmış, 1998 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Halen bir özel inşaat firmasında proje mühendisi olarak meslek hayatını sürdürmektedir.

