

“MIT Açık Ders Malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

12.163./12.463 Yeryüzü Süreçleri ve Yüzey Şekillerinin Evrimi
2004 Güz

Bu materyallerden alıntı yapmak veya Kullanım Şartları hakkında bilgi almak için
<http://ocw.mit.edu/terms> ve <http://tuba.acikders.org.tr> sitesini ziyaret ediniz.”

V. Çökelme ile Oluşmuş Alüvyal Nehir Profillerinin Evrimi

A. Özet : Sediman Taşınımı ve Akış Mekanikliğinin Temelleri

1. Momentumun Korunumu, Düzenli Tekdüze Akım

$$\tau_b = \rho g h S$$

$$S = -\frac{dz}{dx}$$

$$\tau_b = \rho C_f \bar{u}^2$$

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = C_f^{-1/2}$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}}$$

Not : Sürekli Olmayan : $\frac{\partial \bar{u}}{\partial t}$ genellikle küçüktür. Özel Durumlar : Baraj selleri vb.

Düzensiz Akış : $\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}$; $\rho g \frac{\partial h}{\partial x}$ bükümler civarında, nokta barlarda, kanal eğiminde yada genişliğinde ani değişimlerin olduğu yerlerdeki akıslarda önemlidir.

2. Hız Profilleri

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_o}$$

$$\langle u \rangle = \frac{u_*}{k} \left(\ln \frac{h}{z_o} - 1 \right) = u \Big|_{z=3.7h}$$

3. Sediman Taşınımı

Koruyucu Kuvvet

$$\tau_* = \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho)gD}$$

Düzenli Uniform Akış

$$\tau_* = \frac{hS}{((\rho_s - \rho)/\rho)D}$$

Hareketin oluşumu için gerekli kritik makaslama stresi

Shield diyagramı $\tau_{*cr} = f(R_{ep})$

(Görünür parça Reynold sayısı)

Çakıl için : $\tau_{*cr} \approx 0.03 - 0.06$

Boyutsuz Sediman Taşınımı

$$q_s = \frac{Q_s}{w}$$

$$q_{s*} = \frac{q_s}{\sqrt{((\rho_s - \rho)/\rho)gDD}} = \frac{q_s}{R_{ep}v}$$

Yatak Yüğü Taşınması (çakıl)

$$q_{s*} = 8(\tau_* - \tau_{cr*})^{3/2}$$

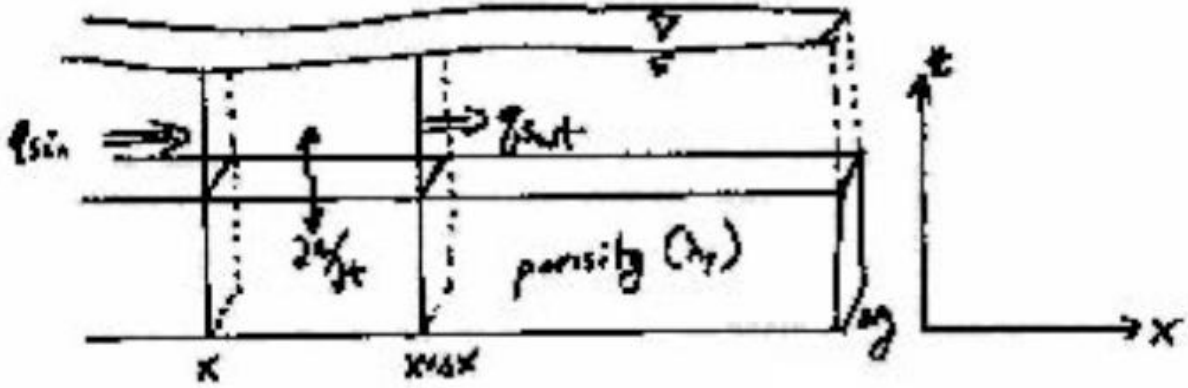
Toplam Yüğü Kum Taşınımı

$$q_{s*} = \frac{0.05}{C_f} \tau_*^{2.5}$$

B. Exner Eşitliğı (Erozyon Eşitliğı) : Kütle Korunumu (Sediman)

Kütle Korunumunun Kökeni – Erozyon Eşitliğı

ÇİZİM: Kontrol, genişilik Δy , uzunluk Δx , q_{s_in} , x , q_{s_out} , $x + \Delta x$



Eğer daha fazla sediman içeri gelir ve çıkarsa, yatak/tabaka yüksekliği artar (çökelme)

Eğer daha fazla sediman dışarı çıkar, daha az gelirse, yatak/tabaka yüksekliği azalır (erozyon)

Birim zaman için Δt , sediman hacmi artarsa $= q_{s_in} \Delta t \Delta y$

Birim zaman için Δt , sediman hacmi azalırsa $= q_{s_out} \Delta t \Delta y$

Birim zamanda sediman hacminde değişim olursa;

$$\Delta V_s = q_{s_in} \Delta t \Delta y - q_{s_out} \Delta t \Delta y$$

Birim zamanda tabaka hacminde değişim olursa;

$$\Delta V_{bed} = \Delta x \Delta y \Delta z = \frac{\Delta V_s}{1 - \lambda_p} = \frac{q_{s_in} \Delta t \Delta y - q_{s_out} \Delta t \Delta y}{1 - \lambda_p}$$

Tabaka kesitinde değişim için, $\Delta x \Delta y \Delta t$ ile bölünür.

$$\frac{\Delta z}{\Delta t} = \frac{1}{(1 - \lambda_p)} \left(\frac{q_{s_in} - q_{s_out}}{\Delta x} \right) = - \frac{1}{(1 - \lambda_p)} \left(\frac{\Delta q_s}{\Delta x} \right)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = - \frac{1}{(1 - \lambda_p)} \frac{\partial q_s}{\partial x}$$

Sediman taşınımının temel kurallarını $q_s = f(\tau_b)$ hatırlayacak olursak;

Aşınım (erozyon) eşitliğini zincir kuralını kullanarak

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{(1-\lambda_p)} \frac{\partial q_s}{\partial \tau_b} \frac{\partial \tau_b}{\partial x}$$

şeklinde geliştirebiliriz.

Bu nedenle aşınmayı makaslama kuvvetinin arttığı bölgelerde, çökmeyi ise makaslama kuvvetinin azaldığı bölgelerde görürüz.

C. Kanal Genişliği Kapanımı

Problem : Yukarıda, akış derinliği, makaslama kuvveti, birim genişlik için boşalım ilişkisine göre yapılan ilişkiler, kanal genişliğinin akış aşağı değişimi Q_w , değişen yamaç (S), değişken D_{50} , değişken bitki örtüsü vb.

Alüvyal nehir profili evrimi problemini çözmek için kanal genişliğinin akış aşağı nasıl geliştiğini belirlememiz gerekir.

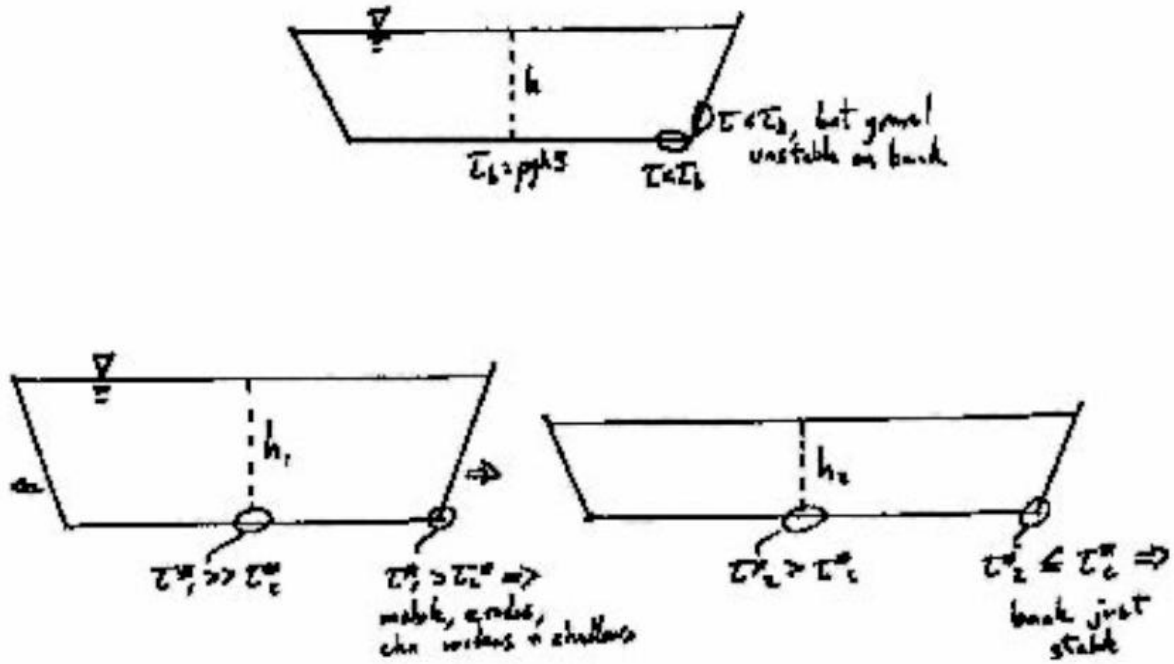
1. Hidrolik Geometri (Leopold ve diğerleri, 1950)

Ampirik (deneysel) $w \propto Q^{0.5}$

2. Denge (Equilibrium) (aşamalı) düz, Çakıltaşlı kanallar (Parker 1978)

Kavram: Kanal, kenarlar tam duraylı hale gelinceye, eşik noktasına gelinceye kadar genişlerler, (erozyon = genişleme)

ÇİZİM



Kritik yada Denge Durumu : $\tau_* = (1 + \varepsilon)\tau_{*c}$; $\varepsilon = 0.2 * 0.4$

Bankfull akışında özet durum : Hareketli yatak, duraylı kenarlar, genellikle düşük taşınım evresi

Bu nedenle, verilen Q_w, D_{50}, S, C_f genişlik (W) değerleri akış aşağı artmakta, böylece h azalarak $\tau_* = (1 + \varepsilon)\tau_{*c}$ eşitliğini oluşturmaktadır.

3. Kumlu, Menderesli Kanallar

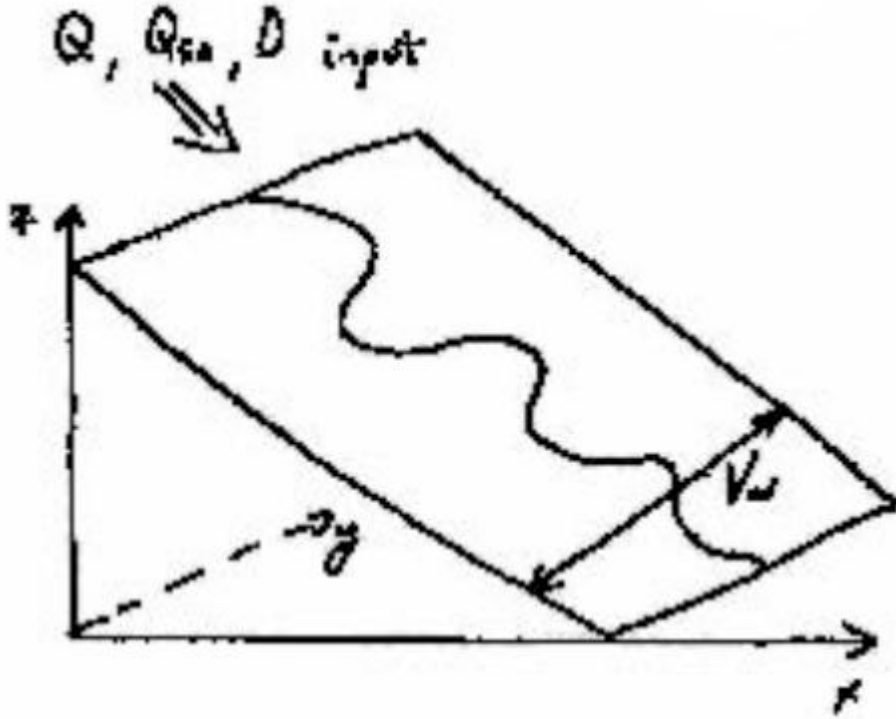
Teori çok iyi geliştirilmemiş olmakla birlikte, bazı veriler sabite yakın shield stresi göstermektedir.

$$\tau_* = (1 + \varepsilon)\tau_{*c} ; \varepsilon = 1.2 - 1.4$$

Aksi takdirde, genelde $\tau \gg \tau_{*c}$ varsayımı büyük oranda kabul edilebilir hassasiyettedir.

D. Alüvyal Düzlük Eğim İlişkileri (Paola, 1992'den düzeltmelerle)

TANIMLAMA ÇİZİMİ



1. Kütlenin Korunumu (Su)

$$Q = \bar{u}hw$$

$$\frac{Q}{V_w} = q_v = \bar{u}h \frac{w}{V_w} = \bar{u}h\beta \quad ; \quad \beta \equiv \frac{w}{V_w}$$

q_v birim vadi genişliği için su boşalımını ifade eder, bu değer daha önce birim vadi genişliği için su boşalımını ifade eden q yerine kullanılmıştır.

Paralel Drenaj : $v_w = \text{sabit}$, lateral su yada sediman girdisi yok, süzülme yada buharlaşma ile su kaybı yok.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

2. Kütlenin Korunumu (sediman)

$$Q_s = q_s w$$

$$\frac{Q_s}{V_w} = q_{sv} = q_s \frac{w}{V_w} = q_s \beta$$

Formüldeki q_{sv} birim vadi genişliği $[m^2 / s]$ için sediman taşınımını ifade eder.

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{1 - \lambda_p} \frac{\partial q_{sv}}{\partial x}$$

3. Momentumun Korunumu

$$\begin{aligned} \tau_b &= \rho g h S & S &= -\frac{dz}{dx} \\ \tau_b &= \rho C_f \bar{u}^2 & C_f^{-1/2} &= \frac{\bar{u}}{u_*} \end{aligned}$$

4. Sediman Taşınımı (Yatak Yükü = Çakıl)

$$q_{s*} = \frac{q_s}{\sqrt{((\rho_s - \rho)/\rho)gDD}} = 8(\tau_* - \tau_{cr*})^{3/2}$$

Birim kanal genişliği için boyutsal sediman akışı

$$q_s = 8\sqrt{((\rho_s - \rho)/\rho)gDD} \left(\frac{\tau - \tau_{cr}}{(\rho_s - \rho)gD} \right)^{3/2}$$

$$q_s = \frac{8}{\rho^{3/2} ((\rho_s - \rho)/\rho)g} (\tau - \tau_{cr})^{3/2}$$

5. Kanal Genişliği Kapanımı

Örgülü, çakıllı tabaka kanalı,

$$\tau = (1 + \varepsilon) \tau_{cr}$$

$$\tau - \tau_{cr} = \tau \left(\frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} \right)$$

Menderesli, kumlu tabaka kanalı,

$$\tau - \tau_{cr} = \tau$$

6. Kanal Kapanım Kuralları Kullanılarak elde edilen Sediman Akışı İçin Bağlıntılar

$$q_s = \frac{8c_w}{\rho^{3/2} ((\rho_s - \rho)/\rho)g} \tau^{3/2}$$

$$c_w = \left(\frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} \right)^{3/2} \text{ örgülü, çakıllı tabaka kanalı}$$

$$c_w = 1 \text{ menderesli, kumlu tabaka kanalı}$$

Bu bağıntıyı birim vadi genişliği q_v için su boşalımı ve eğime göre yazınız

Kütlenin Korunumu için bu iki bağıntıyı kullanarak;

$$\tau^{3/2} = -\rho g h \frac{\partial z}{\partial x} (\rho C_f \bar{u}^2)^{1/2}$$

Su için Kütlenin Korunumunu kullanarak;

$$\tau^{3/2} = -\rho^{3/2} g \sqrt{C_f} h \bar{u} \frac{\partial z}{\partial x} = -\rho^{3/2} g \sqrt{C_f} \frac{q_v}{\beta} \frac{\partial z}{\partial x}$$

Sediman akışı için bağıntı yerine koyduğunuzda (birim kanal genişliği)

$$q_s = -\frac{8c_w q_v \sqrt{C_f}}{\beta((\rho_s - \rho)/\rho)} \frac{\partial z}{\partial x}$$

$$q_s = -K_f \frac{\partial z}{\partial x} \quad ; \quad K_f = \frac{8c_w q_v \sqrt{C_f}}{\beta((\rho_s - \rho)/\rho)} \quad (\text{Flüvyal taşınım katsayısı})$$

Tane boyutuna bağlı mı? Neden? Kanal Genişliği Kapanımı tane boyutunu açıklar. Örneğin kanal genişliği tane boyutuna bağlı olarak gelişir.

q_s birim kanal genişliği için sediman taşınımını ifade eder.

7. Kütlenin Korunumu (Sediman)

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{1 - \lambda_p} \frac{\partial q_{sv}}{\partial x}$$

Anımsayınız, q_{sv} birim vadi genişliği için sediman taşınımını ifade etmektedir.

$$q_{sv} = \beta q_s = -\beta K_f \frac{\partial z}{\partial x}$$
$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{1}{1 - \lambda_p} \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta K_f \frac{\partial z}{\partial x} \right)$$

v_w, C_f, q 'nin sabit olduğunu varsayalım (β sabit değil ve sıfır değerinde olsun)

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\beta K_f}{1 - \lambda_p} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \quad (\text{difüzyon eşitliği})$$

Etkin Yayılabilirlik

$$D_f = \frac{\beta K_f}{1 - \lambda_p} = \frac{8c_w \rho q_v \sqrt{C_f}}{(\rho_s - \rho)(1 - \lambda_p)}$$
$$\frac{\partial z}{\partial t} = D_f \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$$

(Akış yukarı erozyonal kaynak alanından türemiş) Sediman akışı Q_{so}

Denge Durumunda:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = 0 = \frac{\partial q_{sv}}{\partial x}$$

Bu nedenle birim vadi genişliği q_{sv} için sediman akış değeri denge durumunda sabittir.

$$q_{sv}(x) = q_{sv}|_{x=0} = \frac{Q_{so}}{V_w}$$

Denge durumu olsun yada olmasın, akış eğiminin bütün sedimanları taşıyabilecek değerde olması gerekir.

$$q_{sv}|_{x=0} = \frac{Q_{so}}{V_w} = -\beta K_f \frac{\partial z}{\partial x}|_{x=0}$$

Bu nedenle, ağız eğimi bütün durumlarda

$$\frac{\partial z}{\partial x}|_{x=0} = -\frac{Q_{so}}{V_w \beta K_f} = -\frac{Q_{so}}{w K_f} = -\frac{Q_{so} \beta ((\rho_s - \rho) / \rho)}{w 8c_w q_v \sqrt{C_f}} = -\left[\frac{(\rho_s - \rho)}{8c_w \rho \sqrt{C_f}} \right] \frac{Q_{so}}{Q}$$

olmak zorundadır.

Formülde parantez içindeki değerler fiziksel sabitleri içermektedir. Ağız eğimi lineer olarak Q_{so} / Q oranına bağlıdır. Vadi genişliği ve sediman porozitesi ağız eğimini etkilememektedir.

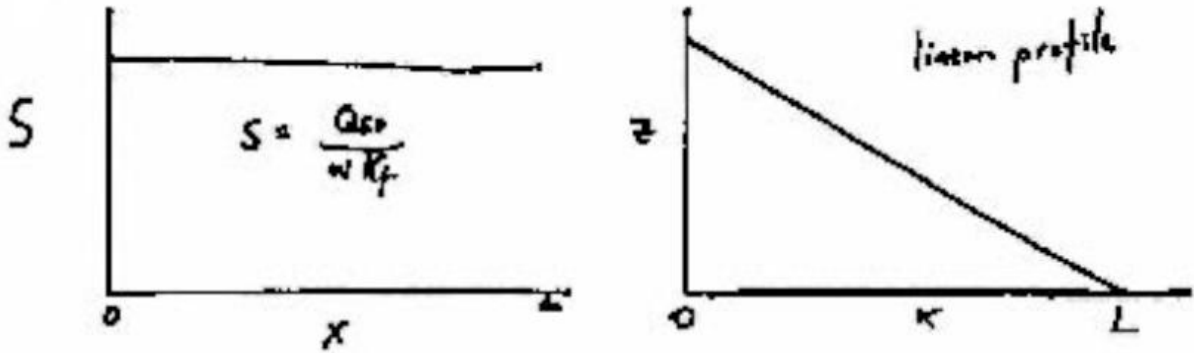
Denge durumunda:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = 0 = \frac{\beta K_f}{1 - \lambda_p} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \text{const} = \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{x=0} = -\frac{Q_{so}}{wK_f}$$

(lineer profil, eğim = ağız eğimi)

ÇİZİMLER



8. Çökmenin (σ) Denge Durumu Profili Üzerine Etkisi

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\sigma + \frac{\beta K_f}{1 - \lambda_p} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$$

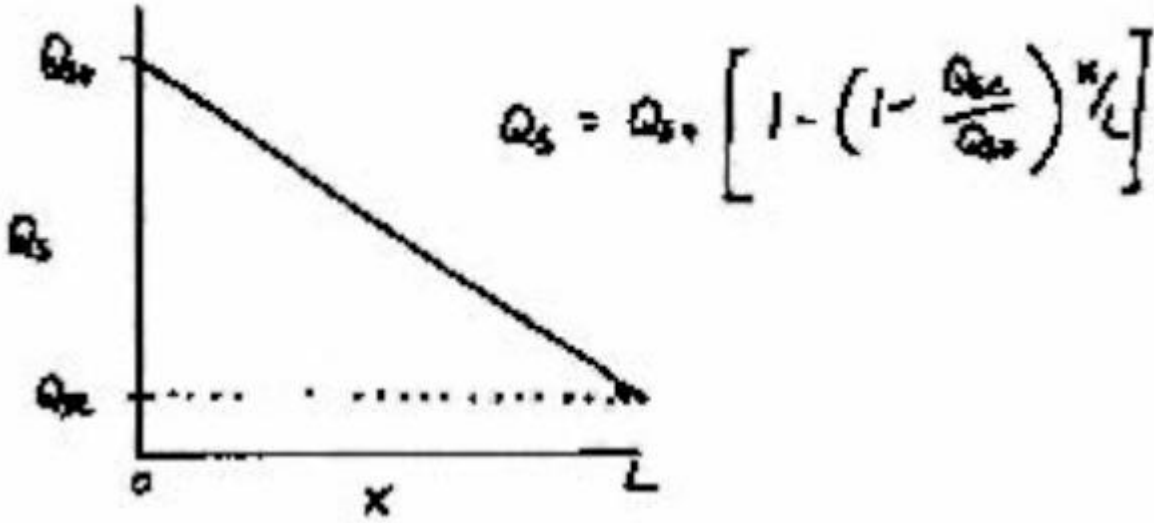
Denge durumunda, Arzalanma oranı çökmeyi dengelemek zorundadır ve burada uniform kabul edilmiştir.

Sınır koşulları

$$Q_s \Big|_{x=0} = Q_{so} \quad ; \quad Q_s \Big|_{x=L} = Q_{se}$$

$$Q_s(x) = Q_{so} \left[1 - \left(1 - \frac{Q_{se}}{Q_{so}} \right) \frac{x}{L} \right]$$

vermektedir. Q_{so} 'dan Q_{se} 'ye lineer bir azalış.



Ve denge durumu olduğu sürece, çökme çökmeyi dengelemek zorundadır, çökmenin toplam hacim oranı $((Q_{so} - Q_{se}) / (1 - \lambda_p))$ alüvyal düzlük alanına (LV_w) bölündüğünde çökme oranı

$$\sigma = \frac{Q_{so} - Q_{se}}{(1 - \lambda_p)V_w L} \text{ eşitliğini vermektedir.}$$

Bu konuda bir başka düşünme şekli ise alüvyal düzlüğün (L) uzunluğunu neyin oluşturduğu sorusunu sormaktır. Cevap yukarıdaki bağıntıda L değerini çözerek verilebilir. Temelde, çökmenin toplam hacim oranı, vadi genişliği ve çökme oranı alüvyal düzlüğün uzanımını yada bir çökme havzası içine çakıl gelişiminin uzaklığını verir:

$$L = \frac{Q_{so} - Q_{se}}{(1 - \lambda_p)V_w \sigma} \text{ Çakıl gelişimi durumu için } Q_{se} = 0 \text{ ilgili durum olacak. Tüm çakıllar çakıl}$$

kenarında çökelmektedir.

Bu nedenle, sistem boyutu, sistem boyunca $(Q_s(x))$ dağılımını kontrol eden değerleri çözümlendiğimizde, “sistem eğimi ve boyuna profili neyin oluşturduğu” sorusunu sorabiliriz. $(Q_{se} = Q_{so})$ ’de olduğu gibi) sıfır birikimde, alüvyal düzlük sabit eğim ve lineer profile sahip olur. Çökmenin birikme ile dengelendiği durumda, profil konkav mı yoksa konveks mi olur? Özetle, sediman akışı bu durumda lineer olarak sistem boyunca azalır. Çakıl düzlükleri için, $Q_{se} = 0$

$$Q_s(x) = Q_{so} \left[1 - \frac{x}{L} \right]; \text{ ile } L = \frac{Q_{so}}{(1 - \lambda_p)\partial_w \sigma}$$

$$Q_s(x) = Q_{so} - x(1 - \lambda_p)V_w \sigma ; \text{ bu değer beklendiği üzere } x=L \text{ iken, } Q_s = 0 \text{ 'dir.}$$

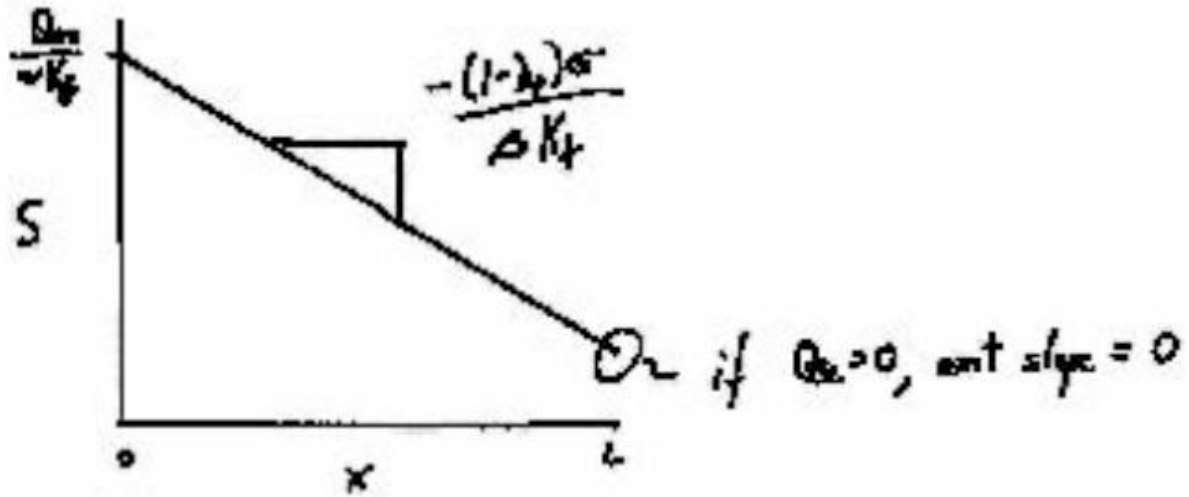
Yukarıdaki formüllerden, yersel olarak eğim, lineer olarak sediman akışına bağlıdır.

$$\frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{Q_s}{wK_f} = -\left[\frac{(\rho_s - \rho)}{8c_w \rho \sqrt{C_f}} \right] \frac{Q_{so}}{Q}$$

böylece bağıntıyı $Q_s(x)$ 'nin yerine koyarsak;

$$\frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{Q_s}{wK_f} = -\frac{Q_{so} - x(1-\lambda_p)\gamma_w\sigma}{wK_f} = -\frac{Q_s}{wK_f} + \frac{x(1-\lambda_p)\sigma}{\beta K_f}$$

$$-\frac{\partial z}{\partial x} = S = \frac{Q_{so}}{wK_f} - \frac{(1-\lambda_p)\sigma}{\beta K_f} x$$



Doğal olarak, aynı sonucu doğrunun kütlelen korunumu (yada erozyon-taşınım) eşitliğini kullanarak da bulabiliriz.

Denge durumunda

$$\frac{\partial z}{\partial t} = 0 = -\sigma + \frac{\beta K_f}{1-\lambda_p} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \quad ; \quad \sigma = \frac{\beta K_f}{1-\lambda_p} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$$

Bir kez entegralini aldığımızda :

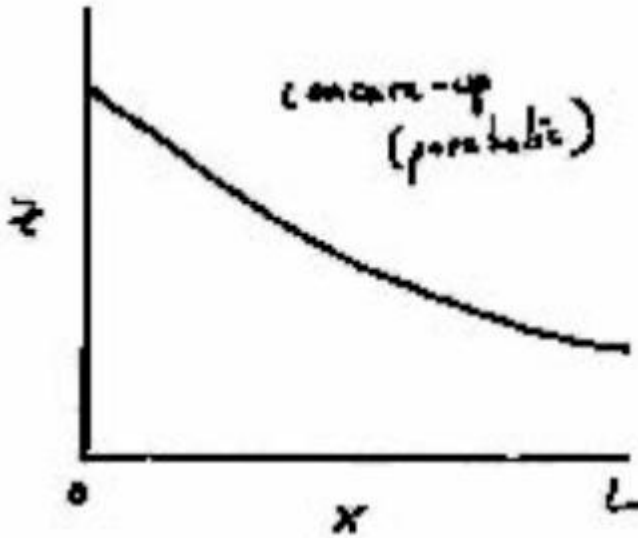
$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{(1 - \lambda_p) \sigma}{\beta K_f} x + const$$

$$const = \left. \frac{\partial z}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{Q_{so}}{wK_f}$$

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{(1 - \lambda_p) \sigma}{\beta K_f} x - \frac{Q_{so}}{wK_f}$$

$$S = -\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{Q_{so}}{wK_f} - \frac{(1 - \lambda_p) \sigma}{\beta K_f} x$$

Eğimli içbükey profil ağızdan itibaren lineer olarak, flüvyal yayılabilirlik, çökme oranı, sediman porozitesi ve kanal genişliğinin vadi genişliğine oranına bağlı olarak azalmaktadır. % 100 poroziteli sınır durumu beklendiği üzere sıfır çökme (çökme) noktasında buluşurlar.



9. Yükselmenin Denge Durumu Profiline Etkisi

$$\frac{\partial z}{\partial t} = U + \frac{\beta K_f}{1 - \lambda_p} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$$

Doğrudan benzeşik, kaynak teriminin tersi işaret, hemen çözüme geçerek:

$$S = -\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{Q_{so}}{wK_f} + \frac{(1-\lambda_p)U}{\beta K_f} x$$

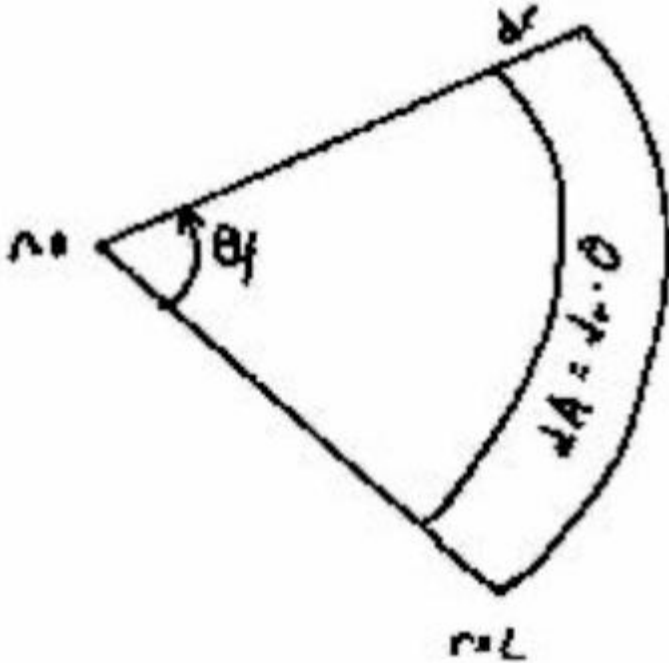
Eğimli içbükey profil ağızdan itibaren lineer olarak, flüvyal yayılabilirlik, çökme oranı, sediman porozitesi ve kanal genişliğinin vadi genişliğine oranına bağlı olarak azalmaktadır. % 100 poroziteli sınır durumu beklendiği üzere sıfır çökme (çökme) noktasında buluşurlar.

Bu sonuç, oyulmuş nehir sistemlerinin alüvyal düzlükleri dendritik drenaj ağlarına bölmesinden dolayı geçerli değildir. Burada belirtilen sonuç, kanal ileri geri sürüklenerek tek boyutlu bir formu oluşturmaktadır – birikmiş sistemlerde beklenen eğilmenmiş bir düzlük. Bölünmüş sistemleri daha sonra tartışacağız.

10. Denge Durumunda Alüvyal Yelpezelerin Adaptasyonu/Uyumu (birikme=uniform çökme)

Dairesel olarak simetrik bir yelpaze düşünelim, r dairesel (radyal) pozisyon, (0'dan L 'ye) yelpaze pasta şekilli ve apeks açısı θ_f 'dir.

ÇİZİM

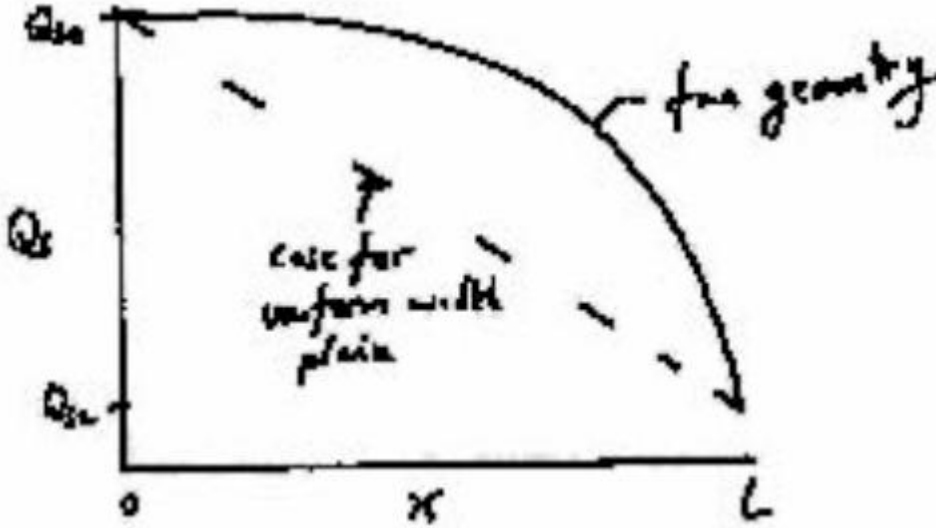


Sınır durumları:

$$Q_s|_{r=0} = Q_{so} \quad ; \quad Q_s|_{r=L} = Q_{se}$$

$$Q_s(r) = Q_{so} \left[1 - \left(1 - \frac{Q_{se}}{Q_{so}} \right) \left(\frac{r}{L} \right)^2 \right]$$

eşitliğini vermektedir. Doğrusal olmayan değer Q_{so} 'dan Q_{se} 'ye düşmektedir, çünkü yelpaze alanı yelpaze aşağısına doğru uzaklığın karesi (r^2) ile büyümektedir.



Yine, denge durumunda çökme çökmeyi dengelemek zorundadır. Alüvyal yelpaze alanı ile $(Q_f L^2 / 2)$ bölünen çökmenin toplam hacim oranı $((Q_{so} - Q_{se}) / (1 - \lambda_p))$ çökme oranına eşittir:

$$\sigma = \frac{Q_{so} - Q_{se}}{(1 - \lambda_p) \theta_f (L^2 / 2)}$$

Denge durumu yelpaze boyutu için çözersek:

$$L = \sqrt{\frac{Q_{so} - Q_{se}}{(1 - \lambda_p) \theta_f (\sigma / 2)}}$$

Böylece, sistemin boyutuna, sistem boyunca gelişen Q_s örgüsüne etki eden kontrolleri ve bunun alüvyal yelpaze geometrisinin gelişime bağlı olarak nasıl farklılık gösterdiğini ortaya koymuş olduk. Şimdi hangi farkın yelpaze geometrisini boyuna profile dönüştürdüğü sorusunu sorabiliriz. Sezgisel olarak, profil alüvyal düzlüğe göre aşağı yukarı içbükey midir? Özetle, bu durumda sediman akışı yelpaze boyunca uzaklığın karesi ile azalmaktadır. Çakıllı yelpazenin playa çökelleri ile bulunduğu durumda, $Q_{se} = 0$ 'dır ve

$$Q_s(r) = Q_{so} \left[1 - \left(\frac{r}{L} \right)^2 \right] \quad L = \sqrt{\frac{Q_{so}}{(1-\lambda_p)\theta_f(\sigma/2)}}$$

ile

$$Q_s(r) = Q_{so} - \frac{(1-\lambda_p)\theta_f\sigma}{2} r^2 \quad ; \text{ bu eşitlik beklediği üzere, } r=L \text{ durumunda } Q_s = 0 \text{ 'dır.}$$

Yukarıdaki formüllerden biliyoruz ki, yersel olarak eğim lineer olarak sediman akışına bağlıdır.

$\frac{\partial z}{\partial r} = -\frac{Q_s}{wK_f}$; (alüvyal düzlüklerdeki durumdan fark yoktur) Bu nedenle bağıntıyı $Q_s(r)$ 'nin

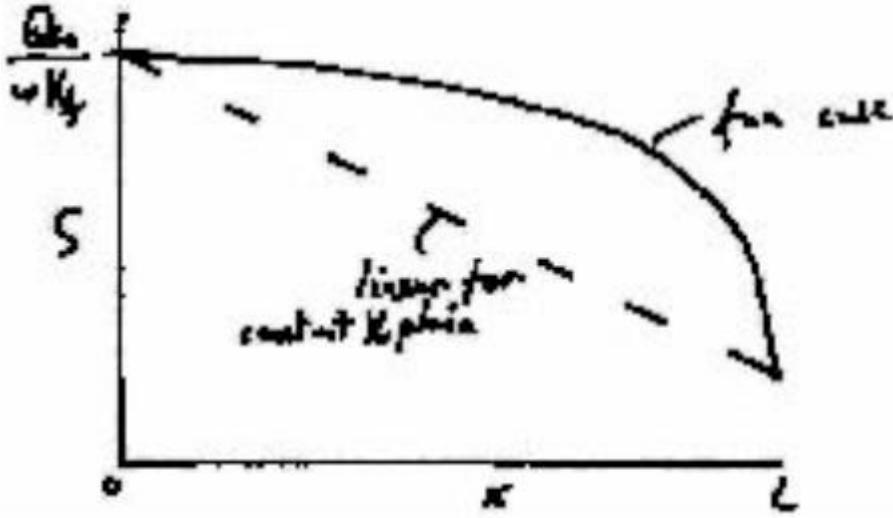
yerine koyarsak;

$$\frac{\partial z}{\partial r} = -\frac{Q_s(r)}{wK_f} = -\frac{Q_{so} - (1-\lambda_p)\theta_f\sigma/2 r^2}{wK_f} = -\frac{Q_s}{wK_f} + \frac{(1-\lambda_p)\theta_f\sigma}{2wK_f} r^2$$

$$-\frac{\partial z}{\partial r} = S = \frac{Q_s}{wK_f} - \frac{(1-\lambda_p)\theta_f\sigma}{2wK_f} r^2$$

elde edilir.

Bu nedenle, alüvyal yelpazelerin iç bükey özellikleri alüvyal düzlüklerden oldukça belirgindir. Yelpaze-kafasına yakın kesimlerde eğim hemen hemen sabit kalmakta (lineer profil) $Q_s(r)$ değeri yavaş yavaş düştüğünde daha alt kesimlerde yelpaze eğimli çok hızlı bir şekilde 0 değerine düşmektedir.



11. Yoğunluğa (perturbation) Sistem Tepki Süresi

Tepki süresi yayılım (difüzyon) denkleminde iyi bilinmektedir (Paola ve diğ. 1992 yayınına bakınız)

$$D_f = \frac{\beta K_f}{1 - \lambda_p} \text{ (Etkin yayılım)}$$

$$T_{eq} = \frac{L^2}{D_f}; L = \text{sistem (alüvyal düzlük) uzunluğu}$$

Tepki süresinin yavaş ($T > T_{eq}$) ve hızlı ($T < T_{eq}$) pertürbasyonlara ait grafiklerini (Paola ve diğ. 1992) yayınında görünüz.