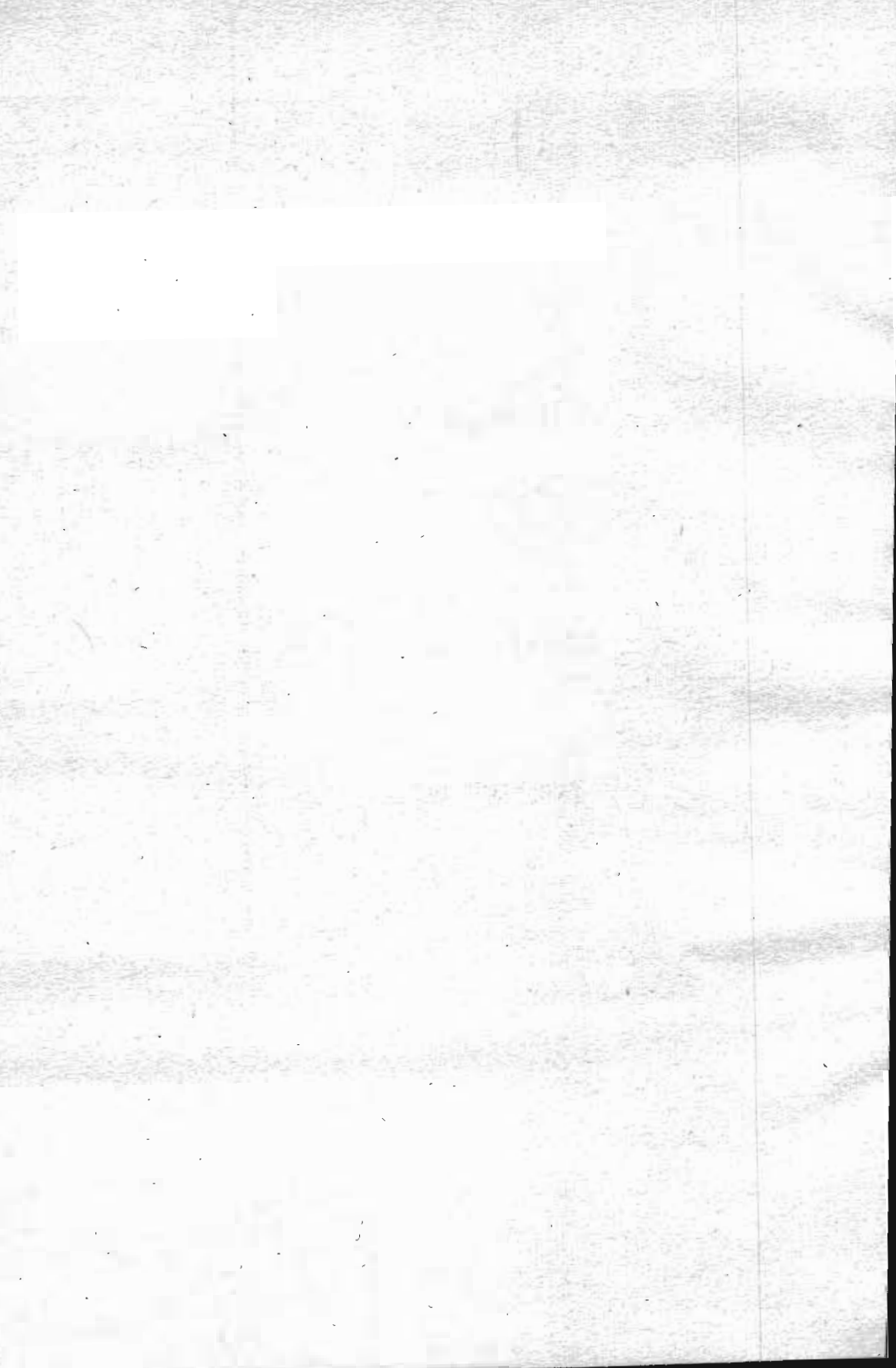


II. ARAŞTIRMALAR



SEDİMENT TAŞINIMININ YAĞIŞ YÜZEY AKIŞ EĞİTİM VE SEDİMENTLE İLİŞKİLERİ ¹

Saim Karakaplan²

ÖZET

Bu araştırma; laboratuvarında kurulmuş olup, eğim dikliği, eğimin konkavlık derecesi, akım nispeti, sediment tatbik nispeti, sediment iriliği ve yağış yoğunluğunun sediment birikimi ve sediment verimi üzerine olan etkilerini incelemek üzere yapılmıştır.

Sediment birikimi, genel olarak, sediment tatbik nispeti arttıkça, fakat eğimin konkavlık derecesi, yatak sonundaki eğim dikliği, yağış yoğunluğu, akım nispeti ve sediment iriliği azaldıkça artmıştır. Bazı testlerde sediment birikmediği gibi, düşük akım nispetinde birkaç teste ise, uygulanan sedimentin hemen hemen hepsi yatakta birikerek kalmıştır. Birikme şekli; akım nispeti, sediment tatbik nispeti ve yağış yoğunluğuna bağlı olarak testten teste çok değişme göstermiştir. Yüksek akım nispeti ve yağış kombinasyonu altında daha az kanallaşma olurken, diğer testlerde yatak boyunca ekstrem erozyon ve birikme sahalarının olduğu görülmüştür. Birikmenin başladığı yerdeki eğimin, yatağın konkavlığına ve yatak sonundaki eğime bağlı olmadığı saptanmıştır.

Sediment verim nispeti, sediment birikme nispeti ile ters orantılıdır. Yani, birikme nispeti arttıkça, sediment verim nispeti artmıştır. Bazı testlerde, sediment verim nispeti sediment tatbik nispetine yaklaşarak denge durumu meydana gelmiştir.

Yatağa kum tanelerinin yapıştırılması ile elde edilen pürüzlü yatağın, sediment taşınımını etkilemediği anlaşılmıştır.

GİRİŞ

Su erozyonu, yamaç tarım arazilerinin önemli bir sorunu olup toprağın

mahsuldarlığını azalttığı gibi, sediment oluşumunda neden olmaktadır. Böy-

1 Purdue Üniversitesi, WL, Ind.'da yapılmıştır.

2) Ziraat Fakültesi Toprak İlimi Bölümü Öğretim Üyesi

lece tarımsal üretim düşmekte, kanallar sedimentle dolmakta, sular kirlenmekte, barajların yararlı hacmi azaltmakta ve taşkınlar artmaktadır. Bu problemler, yamaç arazilerde vuku bulan erozyonu denetim altına almakla ekseriya çözülebilir. Ancak, erozyonun tam bir denetim altına alınması her zaman mümkün olmaz. Ayrıca, İnşaat alanlarından da sediment gelmektedir. Sediment sorununa bir başka çözüm, orijinal yerinden harekete başlayan sedimentin izlediği yol üzerinde biriken miktarını artırmaya yönelik çalışmaları yapmaktır.

Erozyonla oluşan sedimentin bir tesise ulaşan nispeti, yukarı arazilerde biriken miktar ile sınırlıdır. Biriken miktar, iklim ve arazi özelliklerine bağlıdır. Arazi eğimi, eğim şekli, yüzey akış miktarı, sediment yükü, sediment iriliği ve yağış yoğunluğu gibi faktörler bunlar arasındadır. Bir tesise verilecek boyutları saptayabilmek için sediment birikimini etkileyen faktörleri, etki derecelerini ve karşılıklı etkileşim derecelerini bilmek gerekir:

Su erozyonu, toprak parçacıklarının yağış ve yüzey akış tarafından parçalanarak taşınması olayıdır. Bu olay, toprak, yağış, topoğrafya ve tarım şekline bağlıdır (Ellison, 1946, 1947; Meyer ve McCune, 1958; Meyer, 1971; Wischmeier ve Smith, 1965).

Su erozyonu olayı dört alt olaya ayrılabilir. Bunlar: a) yağışla parçalanma, b) yağışla taşınma, c) yüzey akışla parçalanma ve d) yüzey akışla taşınmadır. Toprak yüzüne çarpan yağmur damlaları toprak parçacıklarının dağılmasında başlıca etkidir. Toprak kütesinden kopan parçacıklar ince tabaka şeklindeki akışın ve düşen

damlaların ortak etkileti ile taşınırlar. Yüzey akışla parçalanma ve taşınma olayı, toprağın infiltrasyon hızı aşılıarak toprak yüzeyindeki çukurlar suyla doluncaya ve yüzey akış başlayıncaya kadar başlamaz. Yüzey akış alçak yerlerde toplanma eğiliminde olduğundan toprak yüzeyinde kısa zamanda kanalcıklar oluşur. Kanalcıklarda meydana gelen erozyonun, sediment miktarı üzerine, yağmur damlaları gibi büyük katkısı vardır. Bununla beraber, toprak parçacıklarının eğim aşağı hareketi, hemen tamamen kanalcıklar içerisinde akan yüzey akışla olmaktadır. Bir eğimin sediment verimi; 1) parçalama olayının taşınabilir hale getirdiği toprak miktarına ve 2) akışın taşıma kapasitesine bağlıdır. Şayet, sediment verimi taşıma kapasitesiyle sınırlı ise, sedimentasyon var demektir.

Akışın sediment taşıma kapasitesinin ; akış derinliği, akış hızı ve turbulensi ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Akışın turbulensi ise, akım nispeti, yağış yoğunluğu, hidrolik pürüzlülük ve akış yatağının en kesitinin geometrik yapısına bağlıdır.

Sediment verimi olayında, yüzey akışla taşınmanın önemi 1940'larda anlaşılmış bulunmaktadır. O yıllarda, Lutz ve Hagrove (1944), 267 cm genişlik ve 89 cm uzunluktaki beton kanal içerisinde kumun taşıma durumunu araştırmışlardır. 100 ile 200 mikron arasında değişen irilikteki kum parçacıkları ile çalışan bu araştırmacılar; parça büyüklüğü, eğim dikliği ve akım nispetinin kum parçacıklarının hareketi üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Kaydedildiğine göre, a;) akış derinliği azaldıkça kum parçacıklarının harekete başlaması için gerekli olan akış hızı

eğim dikliğini artırmak suretiyle temin edilmektedir. b) akış derinliği, hareketin başlamasını ve kaybolan kum parçacıklarının miktarını etkileyen önemli bir faktördür ve c) akış hızının maksimum olduğu noktanın, parçacıkların çapı ile yarıçapı arasında değişen derinliklerde olması halinde kum kaybı miktarı en fazla olmuştur.

Daha sonraki yıllarda, Foster ve Meyer (1972) ve Young ve Mutchler (1969)'e ait çalışmalar, yamaç arazilerde oluşan yüzey akışın sediment taşıma kapasitesinin, klasik tipteki yatak yükü denklemleri ile açıklanabileceğini göstermiş bulunmaktadır. Bununla beraber, bu denklemlerin kullanılmasındaki büyük güçlük, genellikle yamaç arazilerde akış yataklarındaki değişimle ilgili olarak hidrolik özelliklerdeki değişimden ileri gelmektedir. Meyer ve Wischmeier (1969), sediment taşıma kapasitesi için akış hızının beşinci kuvveti ile orantılı bir ilişki ileri sürmüşlerdir. Onstad ve Foster (1975), sediment verimini modellendirirken sediment taşıma kapasitesini açıklamak üzere Ünlversal Toprak Kayıp Denkleminde bir modifikasyon yapmışlardır. Ancak, doğru bir ifade de bulunmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır.

Podmore ve Merva (1971), ince tabaka halinde akan suya üstten ilave

edilen parçalıkların suda asılı olarak hareket ettiği mesafeyi araştırdıkları bir çalışmada; a) "Kritik mesafenin" yüzey pürüzlülüğü arttıkça azaldığını, b) "Kritik mesafenin" genel olarak parça büyüklüğüne bağlı olmadığını ve c) eğim arttıkça genel olarak "Kritik mesafenin" de arttığını kaydetmektedirler. Genel olarak, "kritik mesafe" büyüdükçe, ince tabaka akış ile taşıma potansiyeli de büyümektedir.

Yamaç arazilerde sediment birikimi olayı ile ilgili olarak yapılmış tarla çalışmaları çok sınırlıdır. Yaptıkları iki araştırmada Young ve Mutchler (1969, 1969 a) konkav eğimlerin sonuna doğru sediment birikimi olayının meydana geldiğini müşehade etmişlerdir. Araştırmacılar, sediment birikiminin olduğu yerlerde parçacıkların büyüklüklerine göre sınıflandığını kaydetmektedirler.

Bu araştırmaya; eğimin dikliği, eğimin konkavlık derecesi, akım nispeti, sediment tatbik nispeti, sediment iriliği ve yağış yoğunluğunun sediment birikimi ve sediment verimi üzerine olan etkilerini incelemek üzere kurulmuştur. Bu çalışma, başlıca etkileri ve ilişkileri tanımlamak üzere planlanmış, bir temel çalışma niteliğindedir. Bu çalışma sonuçları, bu sahada yapılmakta olan araştırmaların planlanmasında bir rehber olarak hizmet edecektir.

MATERYAL VE METOT

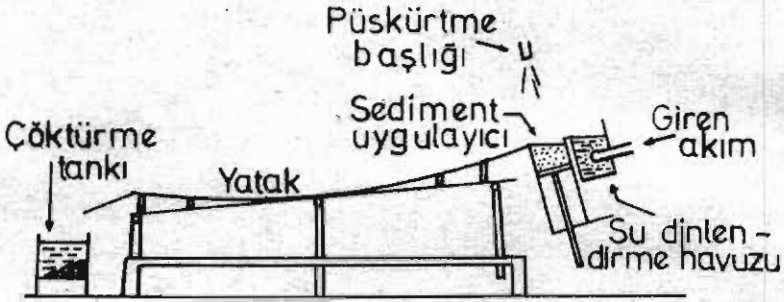
Sediment olarak kullanılan kuvars kum taneleri hava akımı yardımı ile büyüklüklerine göre tasnife tabi tutulmuştur (Skaggs ve arkadaşları, 1968). Araştırmada, küçük ve büyük çaplı olmak üzere iki grup kum kullanılmıştır. Kü-

çük çaplı gruptaki parçacıklar 150-280 mikron ve büyük çaplı gruptaki parçacıklar 510-610 mikron çapa sahiptirler. Hacim ağırlıkları sıra ile 1,55 ve 1,60 gr/cm³ olarak tayin edilmiştir.

Bazı ilavelerle, araştırmada, Benzer ve Meyer (1965)'in geliştirdiği yağmur taklit ediciden yararlanılmıştır. Yağmur taklit ediciye, akım ve sediment uygulayıcı sistemlerle konkav bir yatak ilave edilmiştir. Yağmurlayıcıda,

aynı yoğunluktaki doğal yağışa yakın seviyede enerji sağlayan bir yağmurlayıcı başlık kullanılmış olup, yağmur yoğunluğu 2,87 cm/sa'tır.

Konkav yatağa ait şema şekil 1 de görülmektedir.



Şekil 1. Araştırmada kullanılan konkav yatak ve ekleri
Figure 1. The concave bed and accessories

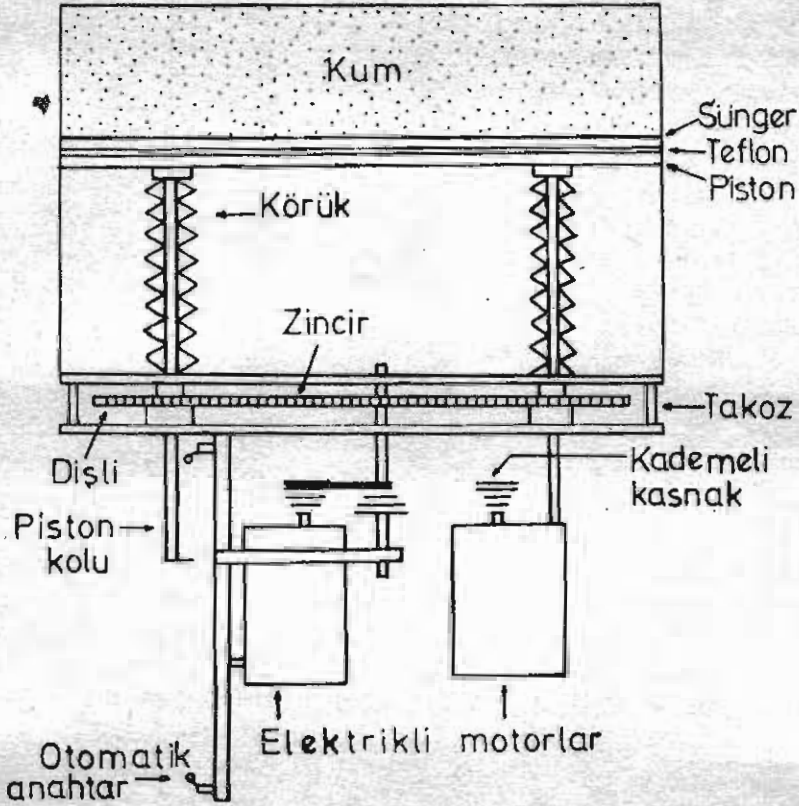
Hem yağış, hem de akım için çeşme suyu kullanılmıştır. Akım için gereken su, sabit seviyeli bir depodan pompalanmıştır. Pompadan çıkan boru üç kola ayrılmış ve her kol üzerine, vana, manometre ve istenilen akım seviyelerini elde edebilmek için boru içerisine değişik çapta dar boğazlar yerleştirilmiştir. Üç kol tekrar birleştirilmiş ve tek bir boru halinde sediment tatbik edici sistemin hemen üst kısmına monte edilmiş olan sakinleştirme havuzuna bağlanmıştır (şekil 1). Akım miktarı, vanalar ve manometreler yardımı ile ayarlanmıştır. Sakinleştirme havuzu boyunca akışın mütecanisliğini temin etmek amacı ile pompadan gelen borunun havuz içerisindeki ucuna etrafı birkaç kat tel örgü ile sarılmış delikli bir boru takılmıştır.

Kum tanelerinin sabit bir oran dahilinde akıma ilavesini temin etmek üzere, gübre dağıtıcısı prensibi ve sedi-

mentin bir rezervuar içerisinde asılı halde tutularak tatbiki yolları denenmiştir. Ancak, Şekil 2'den de görüldüğü gibi, sediment tatbiki için alüminyumdan yapılmış bir dikdörtgen silindir ve piston sistemi uygun bulunmuştur. Sakinleştirme havuzundan gelen ve silindir üzerinden akan su, kum tanelerini pistonun yukarı hareket hızı nispetinde uzaklaştırmıştır. Parçacıkların sediment uygulayıcısı boyunca çok mütecanis bir şekilde hareket ettiği tespit edilmiştir. Kullanılan tekniğin, ıslak sedimentin akıma ilavesinde en uygun yol olduğu saptanmıştır. Sediment uygulayıcının eni 10, 16 boyu 60,96 ve derinliği 43,18 cm'dir. Piston 9,84 x 60,64 cm boyutunda olup, üzerine 10, 16 x 60,96 x 0,32 cm boyutlara sahip bir teflon levha vidalanmıştır. Sızmayı önlemek amacıyla 1 cm kalınlıktaki sünger lastikten 10,16 x 60,96 cm'den

hafifce büyük ölçüde bir parça kesilmiş ve silindirik kum doldurulmadan önce piston silindirin tabanında iken

pistonun üzerine yerleştirilmiştir. Sonra silindire kum doldurulmuştur. Piston; üzerine dış açılmış çubuklar ve or-



Şekil 2. Sediment uygulayıcı sistem
Figure 2. Sediment applicator

tasına dişli dişler açılmış halkaların yerleştirildiği dişli çarklar yardımı ile hareket ettirilmiştir. Elde edilen hareket tarzı, vidalı krikolarda kullanılan benzerdir. Dişli çarklar; sabit devirli ve devir sayısı değişik elektrik motorlar, kayış ve zincir sistemi yardımı ile döndürülmüştür. Düşük akım ve yüksek sediment tatbiki kombinasyonunda, sediment uygulayıcısı boyunca, kumun muntazam bir şekilde ilavesini temin etmek amacı ile, silindirin tam üzerine

takriben 68 cm yukarıya küçük bir su püskürtücüsü başlık yerleştirilmiştir.

Galvanizli metal levhadan eni 61 ve boyu 305 cm olan konkav bir yatak inşa edilmiştir. Lavhayı ıslanabilir yapmak üzere bir kimyasal solüsyon (Das. 1970) kullanılmıştır. Levha, muntazam konkav bir şekil alması için muhtelif noktalardan desteklenmiştir. Metal levhanın yan kenarlarına 7 cm eninde pleksiglas şeritler yerleştirilmiştir. Plek-

siglas ile metalin birleştigi kısım bir macunla sıvanmıştır.

Yatağı terkeden akımla birlikte gelen kumu çöktürmek üzere, yatağın alt ucuna bir tank konulmuştur. Sedimentin birikmeye başladığı yeri ve birikinti şeklini saptamak ve akış hızını ölçmek için suya ilave edilen boyanın geçişini filme almak üzere film makinası kullanılmıştır. Ayrıca, yatağın kenarına filmde görülecek şekilde bir tanıtma levhası ve biri bir saatlik, diğeri 12 saniyelik iki saat yerleştirilmiştir.

Her teste başlamadan önce sediment uygulayıcısından kum taşınması duruncaya kadar, giren akımın akmasına müsaade edilmiştir. Sonra sediment uygulayıcısı çalıştırılmıştır. Böylece, her testin başlangıcında, kısa bir süre sediment tatbiki denge seviyesinde olmuştur. Çıkan akım, sediment tatbik nispetine göre 5 veya 10 dakikada bir örneklenmiştir. Çıkan akımın örneklenme süresi, akım miktarına göre, 30 veya 60 saniyeye ayarlanmıştır. Alınan örnekteki kum hacmi, dereceli silindir yardımıyla ölçülmüş ve ağırlığı kumun hacim ağırlığından hesap yolu ile bulunmuştur. Sediment birikintisinin üst kenarının yatak alt ucundan uzaklığı ölçülerek tayin edilmiştir.

Akımın hızını ölçmek için kullanılan boya, yatağın üst ucuna yakın bir yerden akıma ilave edilmiştir. Boya önünün, yatak üzerinde akımla birlikte aşağıya doğru hareketi, sediment birikinti salhasının üzerine varıncaya kadar saniyede 16 poz çekim ile filme alınmıştır. Fakat, sediment birikinti şekli, her 15 saniyede bir poz olacak şekilde filme alınmıştır. Her testte hız ölçümü dört farklı zamanda yapılmıştır.

Her testte aynı hacimde kum kullanılmıştır. Düşük seviyede kum uygulama nispetinde, test takriben 159 dakika sürerken, yüksek seviyede kum uygulama nispetinde test 44 dakika sürmüştür. Sediment birikimi olmayan testlerde 25 dakika sonra teste son verilmiştir. Her testin sonunda, biriken sedimentin derinliği pleksiglas kenarlığın tepesinden sedimentin yüzüne kadarki derinliğin ölçülmesi ile saptanmıştır. Yatak boyunca, her 30,5 cm'de bir, yatağa dik olarak, eşit aralıklarla 3 ölçüm yapılmıştır. Yatağın her 30,5 cm'lik bölümlerinde biriken sediment hacminin ve ağırlığının tayini için her 30,5 cm'lik bölümdaki kum sıyrılarak ve yikanarak alınmıştır.

Araştırmada kullanılan işlemler cetvel 1'de verilmiştir. Yatağın konkavlık

Cetvel 1. İşlemler ve seviyeleri

Tablo 1. The treatments and their levels

İşlemler (treatments)	Seviye (levels)		
	Ç ₁ = 1457,5	Ç ₂ = 1941,0	A ₃ = 30,9
Çemberin yarıçapı, cm (Radius)	E ₁ = 0,0	E ₂ = 3,0	
Eğim, % (Slope)	A ₁ = 6,4	A ₂ = 12,7	
Akım nispeti, lt/dak (Flow rate)	S ₁ = 122	S ₂ = 450	
Sediment tatbik nispeti, cm ³ /dak (sediment application rate)	K ₁ = 150-280	K ₂ = 510-610	
Kum iriliği, mikron (sand size)	Y ₁ = 0,0	Y ₂ = 2,87	
Yağış yoğunluğu, cm/sa (intensity)	P ₁ = düz	P ₂ = Pürüzlü	
Pürüzlülük (roughness)			

derecesi, ilgili çemberin yarıçapı şeklinde ifade edilmiştir. Yatağın eğimi, yatağın alt ucuna teğet olan hattın eğimi şeklinde verilmiştir. Raporda kolaylık bakımından işlemler ve seviyeleri, hafif ve dip rakamlarla gösterilmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

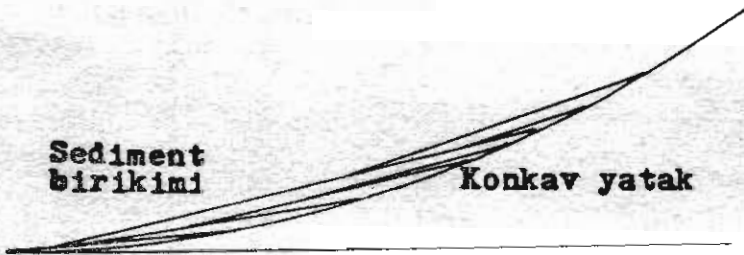
Sediment Birikimi

Yatağın konkavlığı nedeniyle akımın sediment taşıma kapasitesi yatağın üst ucundan alt ucuna doğru azalmıştır. Akımın taşıma kapasitesinin sediment yükünden az olduğu yerde, bu çalışmada da olduğu gibi, sediment birikmeye başlamıştır. Birikintinin üst ucu, taşıma kapasitesinin sediment yüküne eşit olduğu bir noktadır. Birikintinin üst kenarındaki eğim sediment birikintisi daha yukarılara doğru ilerleyerek düzleşmiştir.

Sediment birikintisinin üst kenarı, testin başlangıcında en hızlı, fakat birikinti arttıkça yavaşlayan nispette ilerlemiştir. Dengenin ulaşıldığı yerde, birikintinin üst kenarı stabil bir hal almıştır. Şekil 5. Sediment yığılımı esna-

Pürüzsüz metal yatakta yapılan testlere ilaveten. yatağa 510-610 mikronluk kum tanelerinin yapıştırılması ile elde edilen pürüzlü yatak üzerinde de 510-610 mikronluk kumla 12 adet test daha yapılmıştır. Testler % 20 nispetinde tekerrür edilmiş ve toplam 124 test yapılmıştır.

sındaki tipik profilleri arz etmektedir. Hemen hemen bütün testlerde, testin başlaması ile birlikte sediment verimide başlamıştır. Bununla beraber, bazı testler ($\text{Ç}_2\text{E}_1\text{A}_1\text{S}_2\text{K}_1\text{Y}_1\text{P}_1$ ve $\text{Ç}_2\text{E}_1\text{A}_1\text{S}_2\text{K}_2\text{Y}_1\text{P}_1$) buna istisna teşkil etmiştir. Bu testlerde, sediment birikintisinin alt kenarının ilerleyerek yatağın alt ucuna varması için gerekli zaman, takriben 15 dakika olarak tespit edilmiştir. Yani, bu testlerde sediment birikintisinin bir üst, bir de alt kenarı meydana gelmiştir. Sediment biriktikçe akış yüzeyinin eğim dikliği artmış ve böylece akımın taşıma kapasitesi artarak, birikintinin alt kenarının eğim aşağıya doğru ilerlemesine sebep olmuştur. Birikintinin alt kenarı yatağın alt ucuna ulaşuncaya kadar sediment verimi başlamamıştır.



Şekil 3. Sediment birikimi profili
Figure 3. Sediment deposition profile

Sediment verimi uygulama nispetine hemen hemen eşit olduğu zaman,

sediment birikintisinin yüzeyi bir denge durumu kazanmıştır. Cetvel 2'de

bu duruma örnek testler verilmiştir. Bu durumda, sediment birikimi olmamış, çıkan akımın sediment taşıma kapasitesi, sediment uygulama nispetine eşit olmuştur. Bilhassa, küçük kum taneleri ile yapılan testlerin bazılarında sedi-

ment birikimi sahasında, aşırı erozyon ve birikme sahalalarının oluşması nedeniyle, zahiri denge hali meydana gelmiştir. Aşırı erozyon ve birikme sahalalarının yatağın sonuna yakın olması halinde, sediment verimi şekil 4'de gö-

Cetvel 2. Sediment verimi-sediment tatbik nispeti denge durumu için örnek testler.
Sediment verimi, gr/dak.

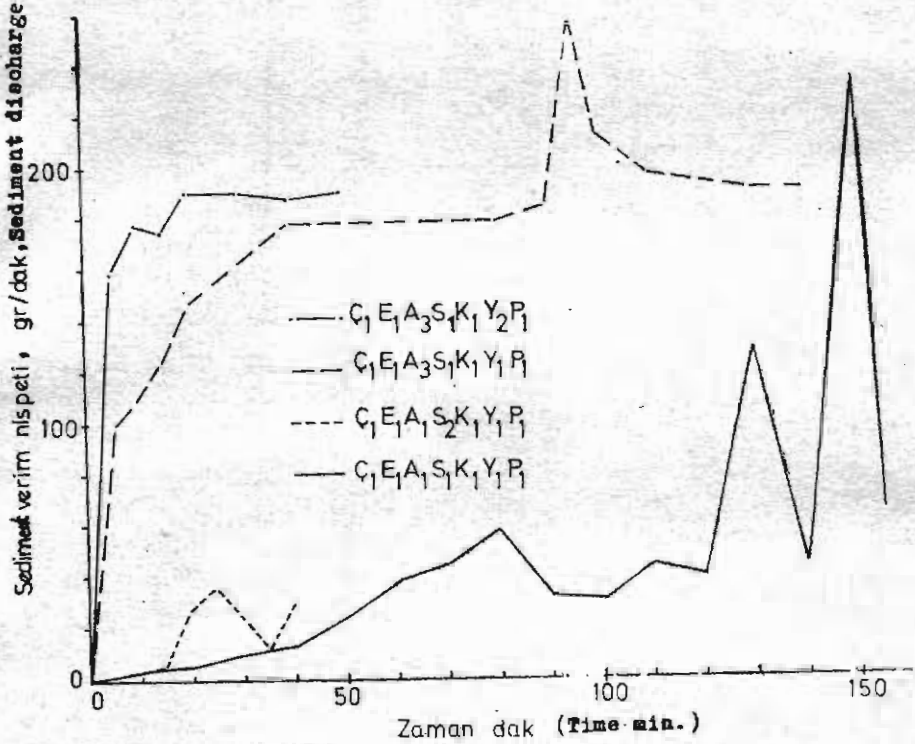
Table 2. Sediment discharge in some tests in which equilibrium reached

Zaman dak	$\text{Ç}_1\text{E}_2\text{A}_1\text{S}_1\text{K}_2\text{Y}_1\text{P}_1$	$\text{Ç}_1\text{E}_2\text{A}_1\text{S}_1\text{K}_2\text{Y}_2\text{P}_1$	$\text{Ç}_1\text{E}_1\text{A}_2\text{S}_1\text{K}_2\text{Y}_1\text{P}_1$
5	54	56	27
10	90	100	42
20	115	136	93
30	136	160	80
50	144	176	112
70	170	176	146
90	174	192	176
110	192	192	189
130	189	202	205
150	205	207	206

rülen $\text{Ç}_1\text{E}_1\text{A}_1\text{S}_1\text{K}_1\text{Y}_1\text{P}_1$ testinde olduğu gibi, sediment uygulama oranından çok daha büyük veya küçük olabilmektedir.

Düşük ve orta akım seviyelerinde, akış eğim aşağı doğru hareket eden bir seri yuvarlanan dalgalar halinde olmakla beraber, yüksek akım seviyesinde akış çok daha düzgün olmuştur. Sediment birikintisinin üst kenarında, yüksek akım seviyesinde bir hidrolik sıçrama hareketinin olduğu görülmüştür. Birikintinin üst kenarında, tam kenardaki eğim, aşağı kısımdaki birikintinin eğiminden önemli derecede daha yatay olmuştur. Düşük ve orta akım seviyesinde meydana gelen yuvarlanan dalgalar sediment birikintisinin üst ucunda herhangi bir tedricen değişen akım etkisini maskeleymiştir.

Yüksek akım seviyesinde birikme yatak enince muntazam olmuştur. Bunun aksine, düşük akım seviyelerinde sediment birikimi ve taşınma olayları kenar etkilerinin ve yatak enince üniform olmayan akım miktarlarının sebep olduğu akım farklılaşmasına çok daha hassas olmuştur. Sonuç olarak sediment taşıma kapasitesi kenar boyunca büyük olmaya ve yatağın orta kısmında daha fazla sediment birikmeye temayül olmuştur. Birikintinin üst kenarından aşağıya doğru birikinti yüzeyi yatak enince üniform olmamıştır. Akım, konsantre olmaya meyletmiş ve lokal erozyon meydana gelmiştir. Alt meyilde lokal birikme sonucu alluviyal koni oluşmuştur. Bu olaylar tesadüflerin etkisi ile oluşmuş gibi gözükmiştir. Cetvel 3'de üç akım seviyesinde



Şekil 4. Sediment uygulama nispetinin sediment verim nispetine etkisi.
Figure 4. Effect of sediment application rate on sediment discharge rate.

Cetvel 3. Bölümler içi ve arası birikinti derinliği, cm.

Table 3. Deposition depth in and among sections, cm.

Bölümler (Sections)	Ç ₁ E ₁ A ₃ S ₂ K ₂ Y ₁ P ₁	Ç ₁ E ₁ A ₂ S ₂ K ₂ Y ₁ P ₁	Ç ₁ E ₁ A ₁ S ₂ K ₂ Y ₁ P ₁
1	0,90 0,90 0,80	1,30 0,20 1,30	0,80 0,80 1,00
2	1,25 1,15 1,15	2,15 1,35 2,15	1,35 1,75 1,65
3	0,90 0,90 0,80	1,80 1,70 1,90	2,10 1,40 2,40
4		1,60 1,50 1,60	1,80 1,20 2,20
5		0,65 0,95 0,95	0,95 1,55 1,15
6			1,20 1,00 1,20
7			0,30 0,30 0,20

sediment birikimindeki değişimler görülmektedir.

Birikmenin başladığı yerdeki eğim ile, sediment yüzdesi, akım seviyesi, sediment tatbik nispeti, kum iriliği ve

yağış yoğunluğunun çoklu regresyon ilişkileri araştırılmıştır. Korelasyon kat sayıları cetvel 4'de verilmiştir. Cetvel 4'de görüldüğü gibi, birikmenin başladığı yerdeki eğim ile akım seviyesi, kum iriliği ve yağış yoğunluğu arasında

Cetvel 4. Birikmenin başladığı yerdeki eğim ile değişkenler arasındaki ilişkiye ait korelasyon katsayıları

Table 4. Correlation coefficients for the relationship between the slope where deposition begins and some factors.

Değişkenler (Factors)	Korelasyon katsayıları
Sediment yüzdesi (Sediment %)	0,87
Akım nispeti (Flow rate)	- 0,62
Sediment tatbik nispeti (Sedi. Appli. Rate)	- 0,44
Kum iriliği (sand size)	- 0,14
Yağış yoğunluğu (Rainfall intensiy)	- 0,10

negatif ilişki vardır. Sediment yüzdesi ve sediment tatbik nispeti ile pozitif ilişki elde edilmiştir. En yüksek korelasyon sediment yüzdesi ile bulunmuştur. Kum iriliği ve yağış yoğunluğu ile elde edilen korelasyon katsayıları, diğer katsayılar ile karşılaştırıldığında çok düşük olduğu görülür. Çoklu regresyon denkleminde sediment tatbik nispeti hariç diğer bütün değişkenler % 1 seviyede önemli çıkmıştır.

Yapılan t testi, birikmenin başladığı yerdeki eğimin yatağın sonundaki eğime bağlı olmadığını göstermiştir ($t=$

0,70 $df = 60$). Ayrıca, birikmenin başladığı yerdeki eğimle yatağın yarıçapı arasında da bağıntı yoktur ($t= 0,29$ $df= 72$).

Birikintinin başladığı yerdeki eğim, yatağın alt ucundan birikintinin üst kenarına kadar ki uzaklık ile ilişkilidir. Akım seviyesi, sediment tatbik nispeti, yatak konkavlığı ve yağışın; testin başlangıcında ve sonunda birikintinin üst kenarının yatak altucundan uzaklığı üzerine etkileri için cetvel. 5'de örnek testler verilmiştir.

Cetvel 5. Araştırma konusu faktörlerin birikinti üst kenarının uzaklığına etkileri. Uzunluk, cm.

Table 5. Effect of treatments on deposition length, cm.

a) Akım seviyesi
(Flow rate)

Test	İlk	son
$\overline{Ç_1E_1A_1S_2K_2Y_1P_1}$	152	211
$\overline{Ç_1E_1A_2S_2K_2Y_1P_1}$	91	155
$\overline{Ç_1E_1A_3S_2K_2Y_1P_1}$	46	99

c) Yatak konkavlığı
(Bed concavity)

Test	ilk	son
$\overline{Ç_1E_1A_1S_2K_1Y_1P_1}$	178	224
$\overline{Ç_2E_1A_1S_2K_1Y_1P_1}$	259	300

e) Kum iriliği
(Sand size)

Test	ilk	son
$\overline{Ç_1E_2A_2S_2K_1Y_1P_1}$	76	117
$\overline{Ç_1E_2A_2S_2K_2Y_1P_1}$	53	117

b) Sediment tatbik nispeti
(Sediment application rate).

Test	ilk	son
$\overline{Ç_2E_2A_2S_1K_1Y_1P_1}$	56	94
$\overline{Ç_2E_2A_2S_2K_1Y_1P_1}$	112	157

d) Yatağın sonundaki eğim
(Slope at the lower end of bed)

Test	ilk	son
$\overline{Ç_2E_1A_2S_2K_1Y_1P_1}$	152	208
$\overline{Ç_2E_2A_2S_2K_1Y_1P_1}$	112	157

f) Yağış yoğunluğu
(Rainfall intensity)

Test	ilk	son
$\overline{Ç_1E_1A_2S_2K_2Y_1P_1}$	91	155
$\overline{Ç_1E_1A_2S_2K_2Y_2P_1}$	76	155

Yağışın birikme üzerindeki etkisi kum parçacıklarının akış tarafından hareket ettirilmesi üzerine etkisi ile ilişkilidir. Yağmur damlasının çarpma etkisi kum parçacıklarının daha ileriye hareket etmesine sebep olmuştur. Bazı testlerde bu etki çok belirgin olmuştur. Örnek olarak, şekil 4'de $\text{Ç}_1\text{E}_1\text{A}_3\text{S}_1\text{K}_1\text{Y}_1\text{P}_1$ ve $\text{Ç}_1\text{E}_1\text{A}_3\text{S}_1\text{K}_1\text{Y}_2\text{P}_1$ testlerinden de anlaşılacağı gibi, yağışlı

testlerde birikme yok, yağışsız testlerde birikme vardır.

Sediment verim nispetinin sediment tatbik nispetine çok yaklaştığı testler üzerinde yapılan çoklu regresyon analizleri birikintinin üst kenarının ulaşılmış olduğu yerdeki eğimin, sediment yüzdesi ile yüksek bir ilişki ($r=0,88$) verdiğini göstermiştir (Cetvel 6).

Cetvel 6. Denge eğimi ve değişkenler arasındaki ilişkiye ait korelasyon katsayıları.
Table 6. Correlation coefficients for the relationship between equilibrium slope and some factors

Değişkenler (Factors)	Korelasyon katsayıları
Sediment yüzdesi (Sediment %)	0,88
Akım nispeti (Flow rate)	-0,62
Sediment tatbik nispeti (Sediment application rate)	0,43

Cetvel 6'daki değişkenlere ait korelasyon katsayıları ile karşılaştırıldığında, yağış ve kum iriliği için hesaplanan korelasyon katsayıları ($-0,17$ ve $0,00034$ sırayla) çok düşüktür. Cetvel 6'daki değişkenlerin hepsinde regresyon denkleminde % 1 seviyede önemli çıkmıştır. Denge eğimi ile başlangıç eğimi arasındaki ilişki $0,89$ gibi yüksek bir korelasyon katsayısına sahiptir.

alındığı yerde erozyon mu yoksa birikme mi olduğuna bağlı kalmıştır. Akım nispeti, sediment tatbik nispeti, ve yağışa bağlı olarak birikintinin yüzey şekli önemli derecede değişiklik gösterir. Yağış ve yüksek akımın her ikisinde birikme sahasında daha az kanallaşma olmasına yol açmışlardır (Cetvel 3).

Birikintinin üst kenarının test başında yatak alt ucundan uzaklığı için tekerrürler arasında t testi yapılmış ve tekerrürler arasındaki farkın % 1 seviyede önemli olmadığı anlaşılmıştır ($t=0,40$ $df=30$). Yatak üzeride biriken toplam sediment miktarı bakımından da tekerrürler arasındaki fark, % 1 seviyede önemli çıkmamıştır ($t=0,29$ $df=30$).

Birikinti üst kenarının test başında yatak alt ucundan uzaklığı ve yatakta biriken toplam sediment bakımından düz ve pürüzlü yatak arasındaki farklar t değerlerinden ($0,49$ ve $-0,08$ $df=22$) de anlaşıldığı gibi % 1 seviyede önemli çıkmamıştır.

Sediment Verimi

Sediment birikintisinin ortalama derinliği, bir dereceye kadar, ölçümün

Sediment verim nispeti sediment birikme nispeti ile ters ilişkilidir. Şekil 4-5 ve 6'dan görülebileceği gibi sediment verim nispeti, denge durumuna

ulaşınca kadar, genel olarak, zamanla bir bakıma doğrusal olarak artmıştır. Çıkan akımın ikinci ve üçüncü örneklerindeki kum miktarı üzerinde yapılan regresyon analizleri akım nispeti ($r= 0,60$) sediment tatbik nispeti ($r= 0,40$) ve yatağın alt ucundaki eğim ($r= 0,40$ ile elde edilen ilişkilerin yatağın ortalama eğimi, akımın sediment yüzdesi, yatak konkavlığı, yağış yoğunluğu ve kum iriliğinden daha yakın olduğunu göstermiştir. Regresyon denkleminde sadece akımın sediment yüzdesi, akım nispeti ve sediment tatbik nispeti % 5 seviyede önemli gözükmiştir.

Yağış, düşük ve orta akım seviyeleri ile kombinasyonda, yağışsız işleme mukayese edildiğinde, genel olarak, sediment verim nispetinde artışa neden olmuştur.

Yağışlı testlerin zaman - sediment verimi eğrileri genel olarak, yağışsız test eğrilerinin üzerinde seyretmektedir (şekil 4-6). Bununla beraber, bu etki yüksek akım nispetinde belirgin olmamıştır. Yine, şekil 4-6'dan anlaşılacağı

gibi sediment verim nispetindeki dalgalanmalar yağışsız testlerde, Meyer ve Monke (1965) tarafından da tespit edildiği gibi, çok daha büyük olmuştur. Yağmur damlalarının çarpma etkisi, oluşan kanalcıkların kenarlarını yıkarak, akımın konsantr olmasını azaltmıştır. Akım nispeti, sediment tatbik nispeti, yatağın sonundaki eğim ve yatağın konkavlık derecesinin sediment verim nispeti üzerine etkileri şekil 4-5 ve 6 da gözükmektedir.

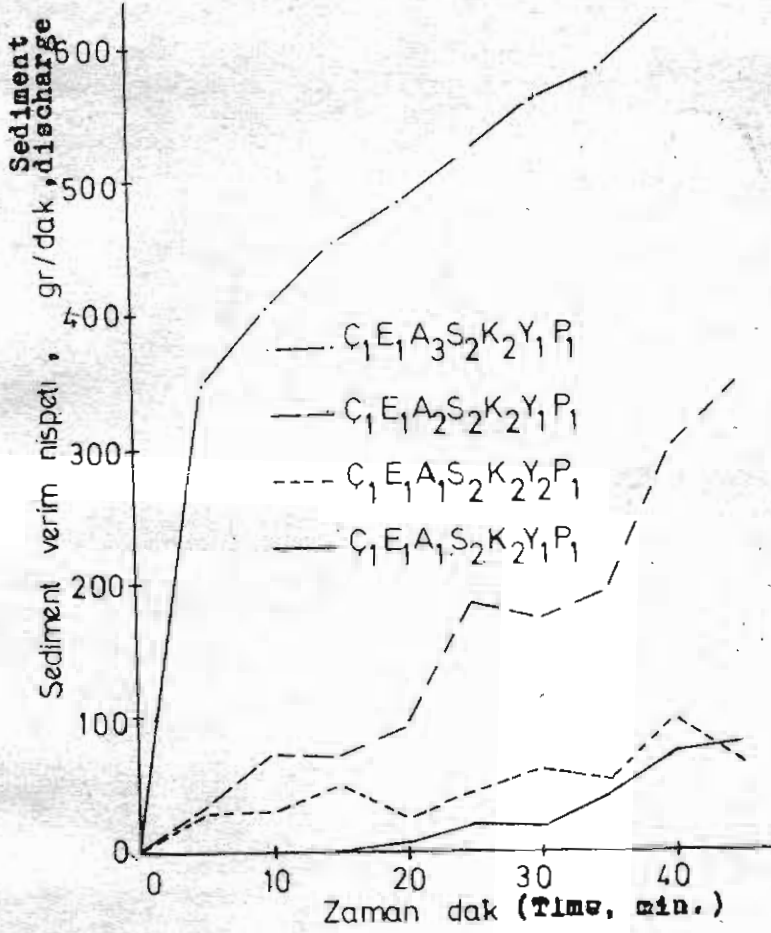
Beklendiği gibi, akım nispeti, sediment tatbik nispeti, yatağın sonundaki eğim ve yağış yoğunluğunun artırılması, sediment veriminde artışa neden olmuştur. Fakat, yatak yarıçapının artırılması sediment verimini azaltmıştır.

Araştırma konusu faktörlerin akımın hızı üzerine etkilerinin büyük olmadığı anlaşılmıştır. Genel olarak, akım nispeti arttıkça akışın hızı da artmıştır. Artış hızı, yatak bölümleri arasında pek fazla değişme göstermemektedir (Cetvel 7).

Cetvel 7. Değişik akım seviyelerinde yatağın alt ucundan başlayarak farklı bölümlerdeki akış hızı, m/sn.

Table 7. Flow velocity in each section of bed at different flow rates, m/sec.

Bölüm (sections)	$\zeta_2 E_2 A_1 S_1 K_1 Y_1 P_1$	$\zeta_2 E_2 A_2 S_1 K_1 Y_1 P_1$	$\zeta_2 E_2 A_3 S_1 K_1 Y_1 P_1$
1			0,65
2			0,65
3	0,43	0,47	0,73
4	0,47	0,45	0,73
5	0,43	0,55	
6	0,46	0,58	
7	0,48	0,61	

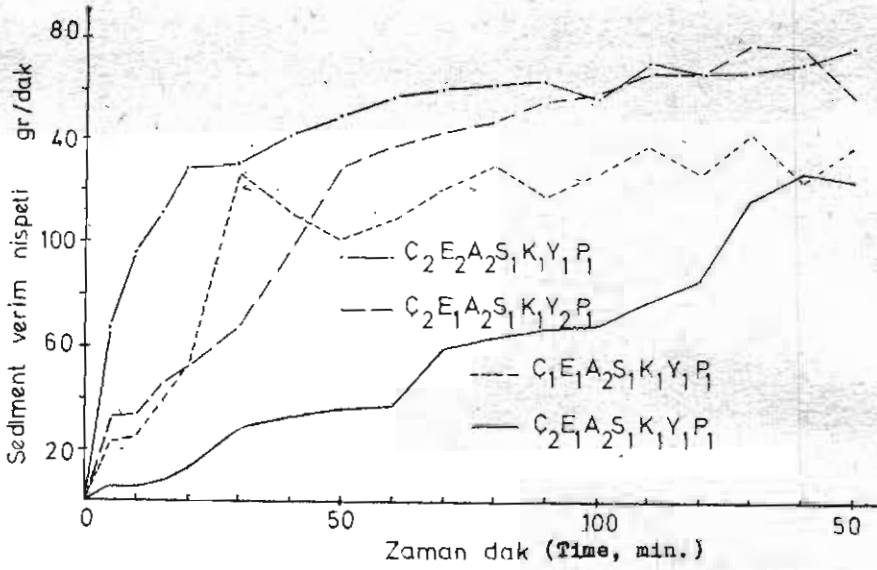


Şekil 5. Akım nispetinin sediment verim nispeti üzerine etkisi.
Figure 5. Effect of flow rate on sediment discharge rate

Birikmenin görüldüğü ilk yerde, akımın sediment taşıma kapasitesinin sediment tatbik nispetine eşit olduğu kabul edilerek, yağışsız testlerde her iki kum iriliği grubunu da dikkate alarak birikmenin başladığı yerdeki eğim ve sediment tatbik nispeti üzerinde yapılan doğrusal olmayan regresyon analizi aşağıda görülen ilişkiyi vermiş bulunmaktadır.

$$T_k = 0,32 a^{0,7,2} e^{1,1}$$

Burada T_k akımın taşıma kapasitesini $g/sn/m$, a akım nispetini $cm^3/sn/m$ ve e eğimi % olarak göstermektedir. Sediment tatbik nispeti ve bu ilişki arasındaki korelasyon katsayısının 0,71 olduğu saptanmıştır.



Şekil 6. Yatağın sonundaki eğimin ve yatak konkavlığının sediment verim nispeti üzerine etkisi.
Figure 6. Effect of the slope at the lower end of bed and bed concavity on sediment discharge rate.

SUMMARY

Sediment Transport in Relation to Rainfall, Flow, Slope and Sediment properties.

This research was conducted to investigate the effects of degree of curvature, flow rate, sediment application rate, sand size, rainfall intensity and slope on deposition and sediment discharge rate.

Deposition generally increased with increasing sediment application rate and radius of curvature, and decreasing the slope at the end of the bed, rainfall intensity, flow rate and sand size. There was no deposition on some of the tests. However, almost all of the sediment deposited on the bed for a few of the test of low flow rate. The pattern of deposition was quite different from test to test, mostly depending on flow rate, sediment application rate and

rainfall intensity. High flow rate and rainfall resulted in less channalisation. In the other cases, there were extreme erosion and deposition areas along the bed. The slope where the deposition begins was found to be independent of the degree of curvature and the slope of the end of the bed.

Sediment discharge rate is inversely related to the rate of deposition. With some tests, sediment discharge rate almost reached the sediment application rate.

Roughening of the surface of the bed with the sand glued to the surface was also found not to affect the deposition.

KAYNAKLAR

- Bubbenzer, G. D. and Meyer, L. D. 1965. Simulation of rainfall and soils for laboratory research. *Trans ASAE*, 8: 73, 75.
- Das, K. C. 1970. Laboratory modelling and overland flow analysis. Ph. D. Thesis. Purdue University, Ind.
- Ellison, W. D. 1946. Soil detachment and transportation. *Soil Conservation*, 11: 179.
- Ellison, W. D. 1947. Soil erosion studies. *Agr. Eng.*, 28: 145-146, 197-201, 245-248, 297-300, 349-351, 402-405, 443-444.
- Foster, G.R. and Meyer, L. D. 1972. Transport of soil particles by shallow flow. *Trans. ASAE*, 15: 99-102.
- Lutz, J. F. and Hargrove, B. D. 1944. Soil movement as affected by slope, discharge, depth and velocity of water. *Agr. Exp. Sta. North Carolina State College, Technical Bulletin No. 78*.
- Meyer, L. D and McCune D. L. 1958. Rainfall simulator for runoff plots. *Agr. Engr.*, 39: 644-648.
- Meyer, L.D. and Monke, E. J. 1965. Mechanic of soil erosion by rainfall and overland flow. *Trans. ASAE*, 8: 572-577, 580.
- and Wischmeier W. H. 1969. Mathematical simulator of the process of soil erosion by water. *Trans. ASAE.*, 13: 754-758, 762.
- 1971. Soil erosion by water on upland areas. *River Mechanics* (H. W. Shen, Editor and Publisher), Ft. Collins, Col.
- Onstad, C. H. and Foster, G. R. 1975. Erosion modelling on a watershed. *Trans. ASAE.*, 18: 288-292.
- Podmore, T. H. and Merva, G. E. 1971. Silt transport by thin film flow. *Trans. ASAE.*, 14 (16): 1065-1067, 1072.
- Skaggs, R. W., Huggins, L. F., and Monke, E. J. 1968. An aerodynamic method for sizing sand and other granular materials. *Proceedings of the Indiana Academy of Science*, 77: 377-388.
- Wischmeier, W. H. 1959. A rainfall erosion index for a universal Soil-Loss Equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23: 246-249.
- and Smith, D. D. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland. *USDA Agr. Handbook*, No. 282
- Young, R. A. and Mutchler, C.K. 1969. Effect of slope shape on erosion and runoff. *Trans. ASAE.*, 12: 231-233, 239.
- 1969 a. Soil movement on irregular slopes. *Water Resources Research*, 5: 184-189.