

T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
2021-YL-042

JET AKIMININ RİJİT BİTKİ BÖLGESİNDEKİ DAVRANIŞI

MOHAMMAD BASHİR QANBARİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Ayşe YÜKSEL OZAN

Bu tez Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından MF-21002 proje numarası ile desteklenmiştir.

AYDIN-2021

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca teşvik ve tecrübesini esirgemeyen ve bu çalışmanın şekillenip ortaya çıkmasında, bilgi, birikim ve katkılarıyla bana rehberlik eden değerli tez danışmanım hocam Sayın Doç. Dr. Ayşe YÜKSEL OZAN olmak üzere, lisans ve yüksek lisans ders aşamasında görüşlerinden ve bilgi birikiminden faydalandığım ve deneylerim sırasında beni yollandıran değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Cenk OZAN' na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerim sırasında bana yardım eden inşaat mühendisliği lisans öğrencisi Efe Mert YILDIRIM arkadaşşıma çok teşekkür ediyorum.

Maddi ve manevi destekleriyle öğrenim hayatım boyunca her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mohammad Bashir QANBARİ

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
RESİMLER LİSTESİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Konunun Kapsamı ve Amacı	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. JET AKIMLARI	3
2.1.1. Batık Jet Akımları	3
2.1.2. Serbest Jet	4
2.1.2.1. Türbülanslı Serbest Jet Akımına ait Akım Alanlarının Sınıflandırılması	5
2.1.3. Duvar Jeti	7
2.1.4. Literatüre Taraması	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1. DENEYSEL ÇALIŞMASI	22
3.1.1. Deney Sistemi	22
3.1.2. Hız Ölçümleri	25
3.1.3. Deney Programı	26
3.1.4. Deney Sistemine ait Fotoğraflar	32
4. BULGULAR	36
4.1. Hız Dağılımı	36

4.1.1. Düşey doğrultusundaki hız dağılımı,.....	36
4.1.2. Akım Doğrultusundaki Hız Grafikleri.....	42
4.1.3 Yanal Doğrultudaki Hız Grafikleri.....	46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	54
5.1. Sonuçlar	54
5.2. Öneriler.....	55
KAYNAKLAR.....	56
BİLİMSEL ETİK BEYANI	60
ÖZGEÇMİŞ.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ϕ	: Bitki yoğunluğu
D	: Jet çapı
d	: Tekil bitki çapı
ADV	: Akustik dopler hız ölçer
LDV	: Lazer Dopler hız ölçer
H	: Kanaldaki su yüksekliği
h	: Bitki örtüsü yüksekliği
s	: Bitkiler arası çapraz mesafe
SJ	: Batık serbest jet koşulları
HVh5	: Yüksek yoğunluk bitki örtüsü, bitki yüksekliği 5 cm
HVh10	: Yüksek yoğunluk bitki örtüsü, bitki yüksekliği 10 cm
LVh5	: Düşük yoğunluk bitki örtüsü, bitki yüksekliği 5 cm
LVh10	: Düşük yoğunluk bitki örtüsü, bitki yüksekliği 10 cm
Re	: Reynolds sayısı
u	: Akım Doğrultuda zamansal ortalama hız
v	: Yanal doğrultuda zamansal ortalama hız
w	: Düşey doğrultuda zamansal ortalama hız
U₀	: Jet çıkış hızı
ν_*	: Akışkanın kinematik viskozitesi
Q	: Debi
LE	: Büyük eddy benzeşimi (Large Eddy Simulation)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Jet akımı, $Re=30000$ (Dyke, 1982)	4
Şekil 2.2. Türbülanslı su jeti, $Re=2300$. (Porquie, 1994)	5
Şekil 2.3. Jet çıkışından farklı mesafelerde hız profilleri (Vargas, 2001)	6
Şekil 2.4. Türbülanslı duvar jetini şematik gösterimi (Tachie, 2000)	7
Şekil 2.5. Hız profili $U(z)$, üç farklı derinlik oranı H/h , burada H su derinliği ve h ise bitki örtüsü yüksekliğini ifade etmektedir.(a) Karasal bitki örtüsü sınırlanmamış limit değeri ifade etmektedir. Bu durumda, bitki üzerindeki akım alanında meydana gelen düşey momentum taşınımı bitki örtüsü içindeki akımı kontrol etmektedir. (b) Derinlik oranı azaldıkça, bitki örtüsü içindeki basınç gradyanları, $\partial P/\partial x$, türbülanslı gerilim ile karşılaştırılabilir hale gelmektedir. (c) Derinlik oranı sınır değer olan $H/h = 1$ 'e ulaştığında, türbülans ölçeği oluşan kayma akımının uzunluk ölçeğinden (L_s) art-iz bölgesindeki eddy ölçeğine (L_w) doğru azalmaktadır.....	9
Şekil 2.6. Su bitkileri ve gövde ölçeği art-iz türbülansı ile bir kanal akıntısındaki jet akım modelleme örneği (Mossa vd., 2017).....	10
Şekil 2.7. Çapraz akımda tipik bir yuvarlak düşey jet yapılarının taslağı. (Fric ve Roshko, 1994.)	12
Şekil 2.8 Bitkili kanalda 3D şematik düşey jet.....	18
Şekil 2.9 Benzeşim yapılan kanal deneyi. (a) yandan görünüşü (b) üstten görünüşü	19
Şekil 2.10 Bitki dağılımları. (a) Bitki örtüsü olmayan; (b) Tek sıralı bitki örtüsü dağılımı; (c) Çift sıralı bitki örtüsü dağılımı; (d) Elmas bitki örtüsü düzenlemesi.	20
Şekil 3.1. Deney sistemi, a) Üstten görünüş, b) Yandan görünüş	22
Şekil 3.2. Deney sistemi en kesit.....	23
Şekil 3.3. Düşük yoğunluklu (LV), $\phi_1=0.01$ ($N_1=172$ IP/m ²) Bitki dağılımında bitkilerin yerleşimi (Birimler mm'dir.).....	24
Şekil 3.4. Yüksek yoğunluklu (HV), $\phi_2=0.08$ ($N_1=1142$ IP/m ²) Bitki dağılımında bitkilerin yerleşimi (Birimler mm'dir.).....	24

Şekil 3.5. Akım yönü hız ölçüm alanı	24
Şekil 3.6. Akım yönü hız ölçüm alanı yandan görünüşü.....	25
Şekil 3.7. 3D Akustik doppler hız ölçer-aşağı bakan probe (ADV), (https://www.sontek.com/argonaut-adv)	26
Şekil 4.1. $x/D=0$ ve $y/D=0$ noktasında (jet çıkışı) düşey doğrultuda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı	37
Şekil 4.2. $x/D=3.2$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı ..	37
Şekil 4.3. $x/D=6.4$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı ..	38
Şekil 4.4. $x/D=0$ ve $y/D=0$ noktasında (jet çıkışı) düşey doğrultuda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı	39
Şekil 4.5. $x/D=3.2$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı ..	39
Şekil 4.6. $x/D=6.4$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı ..	40
Şekil 4.7. $x/D=0$ ve $y/D=0$ noktasında (jet çıkışı) düşey doğrultuda boyutsuz (w/U_0) hız dağılımı	40
Şekil 4.8. $x/D=3.2$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz (w/U_0) hız dağılımı ..	41
Şekil 4.9. $x/D=6.4$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz (w/U_0) hız dağılımı ..	42
Şekil 4.10. $z/D=0.56$ ve $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı	43
Şekil 4.11. $z/D=0.96$ ve $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı	43
Şekil 4.12. $z/D=1.76$ ve $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı	44
Şekil 4.13. $z/D=2.56$ ve $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı	45
Şekil 4.14. $z/D=3.36$ ve $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı	45
Şekil 4.15. $z/D=4.16$ ve $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı	45

Şekil 4.16. $x/D=0$ ve $z/D=0.96$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı	46
Şekil 4.17. $x/D=3.2$ ve $z/D=0.96$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı	47
Şekil 4.18. $x/D=6.4$ ve $z/D=0.96$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı	47
Şekil 4.19. $x/D=9.6$ ve $z/D=0.96$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı	48
Şekil 4.20. $x/D=15.2$ ve $z/D=0.96$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı	49
Şekil 4.21. $x/D=21.6$ ve $z/D=0.96$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı	49
Şekil 4.22. $z/D=0.96$ ve $x/D=0$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı	50
Şekil 4.23. $z/D=0.96$ ve $x/D=3.2$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı	50
Şekil 4.24. $z/D=0.96$ ve $x/D=6.4$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı	51
Şekil 4.25. $z/D=0.96$ ve $x/D=9.6$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı	52
Şekil 4.26. $z/D=0.96$ ve $x/D=15.2$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı	52
Şekil 4.27. $z/D=0.96$ ve $x/D=21.16$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı	53

RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1. Deney sisteminin genel görünüşü.....	32
Resim 3.2. Deney sistemi ve bilgisayar bağlantısının genel görünüşü	32
Resim 3.3. HVh10 için genel görünüm	33
Resim 3.4. Hv10 için üstten görünüm	33
Resim 3.5. LVh5 için üstten görünüm.....	34
Resim 3.6. LVh10 için üstten görünüm.....	34
Resim 3.7. LVh10 için yandan görünüm.....	35

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Deney Şartları.....	26
Tablo 3.2. Serbest Jet'e için Deney Programı	27
Tablo 3.3. Engellenmiş Jet-LVh5 için Deney Programı	28
Tablo 3.4. Engellenmiş Jet-LVh10 için Deney Programı	29
Tablo 3.5. Engellenmiş Jet-HVh5 için Deney Programı	30
Tablo 3.6. Engellenmiş Jet-HVh10 için Deney Programı	31

ÖZET

JET AKIMININ RİJİT BİTKİ BÖLGESİNDEKİ DAVRANIŞI

Qanbari M. B. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendislik Program, Yüksek Lisans Tezi, Aydın, 2021.

Amaç: Bu araştırmada, rijit batık bitki örtüsü bölgesinde bulunan batık jet akımının davranışı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar serbest jet akım alanı ile karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem: Yapılan çalışmada bitki örtüsü, 1 cm çapında ve 5 ile 10 cm yüksekliğinde plegsiglas çubuklar kullanılarak benzeştirilmiştir. İki farklı bitki örtüsü yoğunluğu dikkate alınmıştır. Bunlar, düşük yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_1=0.01$ - $N_1=172$ IP/m²) ve yüksek yoğunluklu bitki örtüsüdür ($\phi_2=0.08$ - $N_2=1142$ IP/m²). Deneylerde hız ölçümleri 3 boyutlu akustik doppler hız ölçer (Acoustic Doppler Velocimeter-ADV) ve 3 boyutlu aşağı bakan probe (3D Down-looking probe) ile yapılmıştır.

Bulgular: Yapılan araştırmada zamansal ortalama hız profilleri akım doğrultusunda, yanal doğrultuda ve düşey doğrultuda çizilerek incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre özellikle yüksek yoğunluklu bitki örtüsünün batık jet akımının sönümlenmesinde etkin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kısa bitki örtüsü koşullarında jet akımın serbest jete benzer davranış göstermiştir. Buna ilave olarak, batık jet akımın yanal doğrultuda jet çıkış çapının dört katı mesafeden sonra etkinliğini yitirdiği belirlenmiştir.

Sonuç: Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda özellikle yüksek yoğunluklu bitki örtüsünün ve yüksekliği fazla olan bitki örtüsünün jet akımının dağılımı üzerinde ciddi bir etkisi olduğunu göstermiştir. Bitki yoğunluğu, bitki yüksekliği gibi parametrelerin atık suyun sucul ortamda dağılımı açısından çok önemli olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ADV, Bitki örtüsü, Hız profili, Jet akımı,

ABSTRACT

JET FLOW BEHAVIOUR AT RIGID VEGETATION LAYER

Qanbari M. B. Aydın Adnan Menderes University, Graduate School of Natural and Applied Science, Civil Engineering Program, Master's Thesis, Aydın, 2021.

Objective: The behavior of the submerged jet flow in the region of rigid submerged vegetation was investigated in this study. The obtained results were compared with the free submerged jet flow results.

Material and Methods: In this study, vegetation was simulated using plexiglass rods with a diameter of 1 cm and heights of 5 and 10 cm. Two different vegetation densities were selected; which are low density vegetation ($\phi_1=0.01$ - $N_1=172$ IP/m²) and high-density vegetation ($\phi_2=0.08$ - $N_2=1142$ IP/m²). In the experiments, velocity measurements were made with a 3D Down Looking Probe and 3D Acoustic Doppler Velocimeter-ADV.

Results: In this research, the time average velocity profiles were examined in the flow direction, lateral direction and vertical direction. The results showed that especially high-density vegetation effected in damping the submerged jet flow. Furthermore, vegetation with smaller high showed a similar behavior to the unobstructed jet flow conditions. In addition, it was determined that the submerged jet flow lost its effectiveness after a distance of four times the nozzle jet diameter in the lateral direction.

Conclusion: The results obtained in this study showed that especially high-density vegetation and higher-height vegetation had serious effects on the distribution of the jet flow. It has been determined that parameters such as plant density and plant height are very important for the distribution of wastewater in the aquatic environment.

Keywords: ADV, Jet flow, Vegetation, Velocity profile

1. GİRİŞ

1.1. Konunun Kapsamı ve Amacı

İnsanoğlunun hayatını daha sağlıklı sürdürülebilmesi için çevreyi temiz tutması gerekmektedir. Doğada bulunan sular ve sularda bulunan bitkiler doğal yaşamı etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Ayrıca sularda bulunan bitkiler su akımlarını etkileyerek akım hızında değişikliklere neden olmaktadır. Bununla birlikte akarsulardaki bitki örtüsü sucul yaşamın önemli birleşenlerden biridir ve aynı zamanda hidrolik pürüzlülüğü de etkilemektedir. Her bitki türü, özelliklerine göre ekosisteme farklı katkılarda bulunmaktadır.

Sucul bitki örtüsü ekosistem için çok önemli bir role sahiptir. Besin maddelerinin alımı ve oksijen üretimi su kalitesinin artırmaya sebep olmaktadır. Ayrıca, bitki örtüsü, çökelti ve çözünmüş maddelerin taşınmasını etkileyen akım yapısını ve türbülansı da etkilemektedir. Özellikle hidrolojik koşulları değiştirebilecek değişken bir iklim döneminde, bitki örtüsü gelişiminin izlenmesi hem ekolojik katkıyı korumak hem de gıda ve erozyon risklerini kontrol etmek için çok önemli bir faaliyet olmaktadır (Mossa vd., 2017). Bitkilerin sağladığı ek direnç, bitki örtüsü içindeki ortalama akım hızının azalmasına neden olur. Bitki örtüsü direnci, taşkın yatağındaki hareketi önemli ölçüde değiştirerek taşkın yönlendirmesini etkilemektedir (Nepf ve Vivoni, 2000).

Son yıllarda atık suyun jet akımı şeklinde atmosfere ve sucul ortama (deniz, akarsu, göl vb...) deşarj edilmesi pratikte çok kullanılmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda çok önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Ancak, literatür incelendiğinde bu konudaki çalışmaların yeterli olmadığı ve bu konuda bilimsel açıdan boşluklar olduğu görülmektedir. Türbülanslı jet akımları, bırakıldıkları ortamda oluşan başlangıç karışımında önemli rol oynamaktadırlar. Kirli suyun tekil veya çoklu türbülanslı jet akımları şeklinde doğaya bırakılması, bırakıldıkları ortamda çok karmaşık bir akım yapısına sebep olmaktadır. Bu karmaşık akım yapısına örnek olarak, jetin sapması ve jet yörüngesinde titreşimler, jet vortex yapısındaki değişimler, jet gerisinde oluşan ikincil ters akımlar, tabakalı akım formundan dolayı jet dağılımının engellenmesi gibi durumlar verilebilir. (Yang ve Hwang, 2001)

Jet apı, jet çıkış ucu şekli, jet batıklık oranı, jet debisi gibi başlangıç jet koşulları, taban topoğrafiyası, fiziksel özellikler gibi ortam sınır koşulları ile akım derinliği, akım debisi gibi ortamdaki akıntı koşulları jet karışımını çok ciddi bir şekilde etkilemektedir (Fischer vd., 1979; Mossa, 2004 vd; Smith ve Mungal, 1998). Mevcut literatür incelendiğinde, bitki örtüsü ve batık jet akımı etkileşiminin daha detaylı incelenmesinin gerekli olduğu görülmüş ve bu nedenle jet akımı ve rijit bitki örtüsü etkileşimi farklı bitki koşulları için araştırılmıştır.

Bu çalışmada, batık bitki örtüsünün olduğu bölgeye deşarj edilen batık jet akımına ait hız alanları ölçülmüştür. Bunun için, düşey doğrultuda, akım doğrultusunda ve yanal doğrultuda jet akımına ait hız verileri ölçülmüştür. Yapılan çalışmada 4 farklı bitki örtülü koşullar ve serbest batık jet koşulu olmak üzere toplam 5 durum için deney yapılmıştır. Bunlar, i) serbest batık jet akımı, ii) Düşük yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_1=0.01$) ve 5 cm'lik bitki yüksekliği, iii). Düşük yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_1=0.01$) ve 10 cm'lik bitki yüksekliği, iv). Yüksek yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_2=0.08$) ve 5 cm'lik bitki yüksekliği ve v) Yüksek yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_2=0.08$) ve 10 cm'lik bitki yüksekliğidir. Bu araştırmada bitki örtüsünü benzeştirilen çubuklar plegsiglastan yapılmıştır. Deneylerde, hız ölçümleri 6 farklı derinlikte gerçekleştirilmiştir. Tabana yakın olan noktada ($z/D=0.56$) sadece üç farklı koşullarda deney yapılmış, Bunlar, SJ, HVh5 ve LVh5'dir. HVh10 ve LVh10 deneylerde ise ($z/D=0.56$) noktasında, ADV probu bitki örtüsü içine giremediği için deney yapılamamıştır. Deneylerde hız ölçümleri 3 boyutlu akustik doppler hız ler (Acoustic Doppler Velocimeter-ADV) ve 3 boyutlu aşağı bakan probe (3D Down-looking probe) ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar batık serbest jet akımı ile karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Jet Akımları

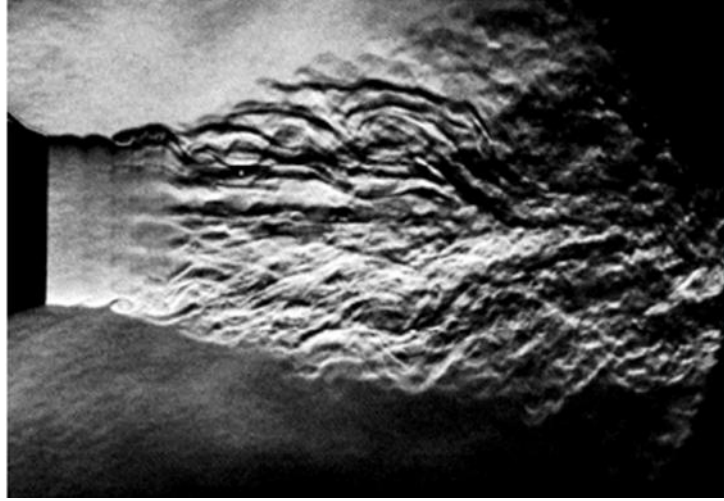
2.1.1. Batık Jet Akımları

Doğada ve endüstride karşılaştığımız jet akımları genellikle türbülanslıdır. Jet akımları aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Piquet, 2001);

- Dairesel jet (Round jets)
- Akım alanındaki düzlemsel jet (Plane jets in a coflowing stream)
- Akım alanındaki dairesele jet (Round jet in a coflowing stream)
- Girdap jet (Swirling jets)
- Radyal jet (Radial jets)
- Duvar jeti (Wall jets)

Jet, belirli bir basınç altında bir ağızdan ya da açıklıktan yüksek hızla akan bir akışkan akımıdır. Jet akımları akışkan akımının, hızda, sıcaklıkta veya konsantrasyonda ani bir süreksizliğinin söz konusu olduğu bir alan ile karşılaştığı teğetsel ayrılma yüzeyinin içinde kaldığı akımlardır (Şekil 2.1). Bu ani süreksizlik, ayrılma yüzeyinde düzensiz eddylerin olduğu kararsız bir akımdır. Bu eddyler karşılaştıkları süreksiz yüzeyde önemli enerji ve momentum değişimlerine neden olmaktadır. Jet akımında meydana gelen bu karışım bölgesini, jet çıkışında oluşmaya başlayan ve ilerledikçe büyüyen eddyler meydana getirmektedir. (Davies vd., 1962)

Bu çalışmada dikkate alınan jet akımı batık, dairesele duvar jetidir. Jet akımındaki ve ortamdaki akışkan için su dikkate alınmıştır.



Şekil 2.1. Jet akımı, $Re=30000$ (Dyke, 1982)

2.1.2. Serbest Jet

Serbest, dairesel jet, akışkanın belirli bir hızla ve sınırlama olmadan bir akışkan kütesinin içine veya açık alana deşarj olmasıdır. Eğer jetin deşarj olduğu ortamdaki akışkan hareketsiz ise standart jet, jet ile aynı yönde bir hareket söz konusu ise akım alanındaki (co-flowing) jet, eğer jetden daha hızlı bir hareket söz konusu ise art-iz akımı olarak adlandırılır (Porquie, 1994).

Jet akımında deşarjdan sonra meydana gelen gelişme, jetin hızı, jetin geometrisi, çıkış noktasındaki akım koşulları gibi çeşitli parametrelere bağlıdır. Jet akımları için en önemli parametre Reynolds sayısıdır. (Porquie, 1994) Reynolds sayısı, atalet kuvvetlerin viskoz kuvvetlere oranı olan boyutsuz bir sayıdır ve $Re = U_0 D / \nu_*$ şeklinde ifade edilmektedir. Burada, U_0 hızı, L karakteristik uzunluğu ve ν_* akışkanın kinematik viskozitesini ifade etmektedir (Vargas, 2001). Büyük Reynolds sayılarında jet türbülans şiddetinin artması beklenmektedir (Porquie, 1994).

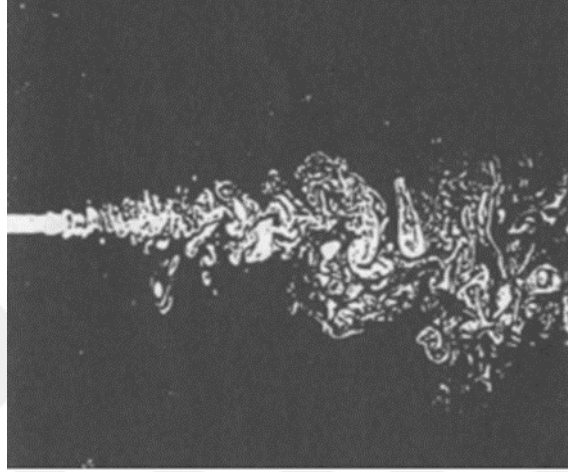
McNaughton ve Sinclair (1966), yaptıkları çalışmada Reynolds sayısının $100 < Re < 28000$ aralığında çalışmış ve serbest jet için aşağıdaki sınıflandırmayı yapmışlardır;

1. $Re < 300$ için dissipated laminer jet. Burada Re , jet çıkış Reynolds sayısını ifade etmektedir. Bu durumda, viskoz kuvvetler atalet kuvvetlerinden daha etkindirler ve jet hızlı bir şekilde ortamdaki akışkan içinde yayılmaktadır.

2. $300 < Re < 1000$ için tamamen gelişmiş laminar jet oluşmaktadır. Bu durumda jetin ortamdaki akışkan içinde yayılması belirgin değildir.

3. $1000 < Re < 3000$ için geçiş ya da yarı türbülanslı jet söz konusudur.

4. $Re > 3000$ için tamamen gelişmiş türbülanslı jet meydana gelmektedir.

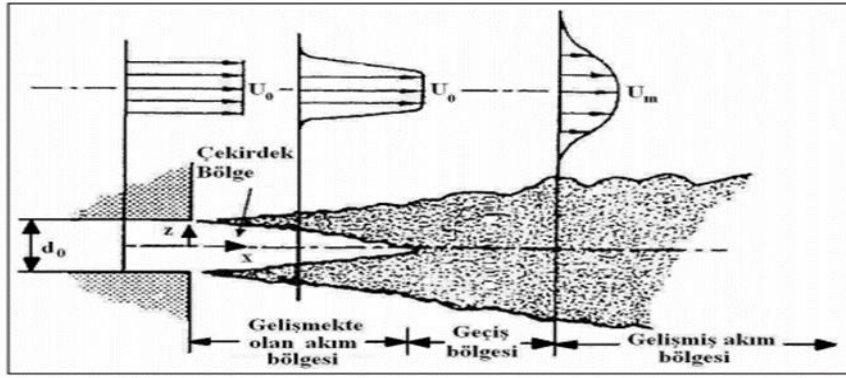


Şekil 2.2. Türbülanslı su jeti, $Re=2300$. (Porquie, 1994)

2.1.2.1. Türbülanslı Serbest Jet Akımına ait Akım Alanlarının Sınıflandırılması

Şekil 2.3’de görüldüğü gibi türbülanslı jet akımında dört farklı bölge söz konusudur (Vargas, 2001);

1. Gelişmekte olan akım bölgesi (ZFE)
2. Geçiş bölgesi
3. Gelişmiş akım bölgesi (ZEF)
4. Sonlanma (uzak akım) bölgesi



Şekil 2.3. Jet çıkışından farklı mesafelerde hız profilleri (Vargas, 2001)

Gelişmekte olan akım bölgesi: Gelişmekte olan akım bölgesi, yakın jet bölgesi olarak da bilinmektedir. Bu bölge, jet çıkışında başlamakta ve yaklaşık altı jet çapı sonunda sona ermektedir. Jet akımının başlangıçta sabit bir hıza sahip olduğu kabul edilmektedir. (Vargas, 2001)

Geçiş Bölgesi: Bazı araştırmacılar geçiş bölgesinin, çekirdek bölgenin bitmesi ve aksenal hızın sabit bir oranda azalmaya başlaması arasında bir bölge olduğunu belirlemişlerdir. Fakat, geçiş bölgesinin her zaman akım oluşum bölgesi ile oluşmuş akım bölgesinin birleşiminde, iki çizginin kesişimi olarak belirlenemeyeceği belirtilmiştir. (Vargas, 2001)

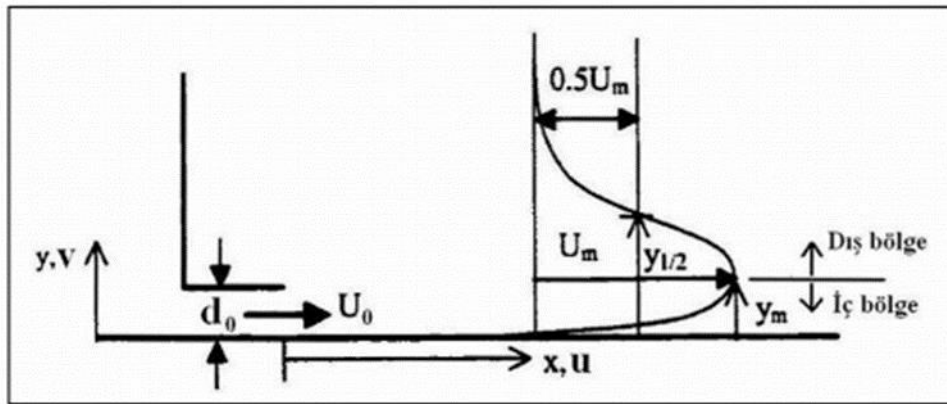
Gelişmiş akım bölgesi: Gelişmiş akım bölgesinde öncelikle, çekirdek bölge tamamıyla yok olmuştur. Akım tamamen gelişmiştir, çünkü akımın yayılması, yapısında bir değişiklik olmadan devam etmektedir. Gelişmiş akım bölgesi jet akımının, jet çıkışındaki başlangıç koşullarından etkilenmediği akım alanı olarak ifade edilmektedir. Bu bölgede, jet eksenindeki hız sabit bir oranla azalmaktadır. (Vargas, 2001)

Sonlanma (Uzak Akım) Bölgesi: Uzak akım bölgesinde ($<100L$), ortalama aksenal hız sıfıra yaklaşmaktadır. Bu bölgede, ortam koşulları jet akımı üzerinde başlangıç koşullarına göre daha etkilidir. (Vargas, 2001)

2.1.3. Duvar Jeti

Mühendislik uygulamalarında, doğada ve endüstride yer alan birçok akışkan akımı türbülanslıdır ve katı bir cidar tarafından etkilenmektedir. Birçok akım dinamiği cidar yakınında yer almaktadır. Bir cidarla sınırlanmış akımlarda Reynolds gerilmelerinin pik değerleri, türbülans kinetik enerji üretimi gibi olaylar cidar yakınında meydana gelmektedir. Daha da önemlisi, bir akım alanında yüzey yakınındaki ısı, kütle ve momentum transferleri cidar yakınındaki türbülanslı akım tarafından kontrol edilmektedir. Cidar yakınındaki türbülanslı akımda taban kayma gerilmesi en önemli parametrelerden biridir.

Türbülanslı duvar jeti bir duvar boyunca konumlanan, jet başlangıcında sahip olduğu momentum nedeni ile ortamdaki akışkandan daha yüksek hıza sahip olan bir kayma akımıdır. (Launder ve Rodi, 1981). Duvar jetinin şematik gösterimi Şekil 2.4’de belirtilmiştir. Burada, x ve y sırasıyla boyuna ve düşey yönleri ifade etmektedir. Bu çalışmada, y_m ve $y_{1/2}$ sırasıyla iç bölge yüksekliğini ve yarım jet genişliğini ifade etmektedir. (Tachie, 2000)



Şekil 2.4. Türbülanslı duvar jetini şematik gösterimi (Tachie, 2000)

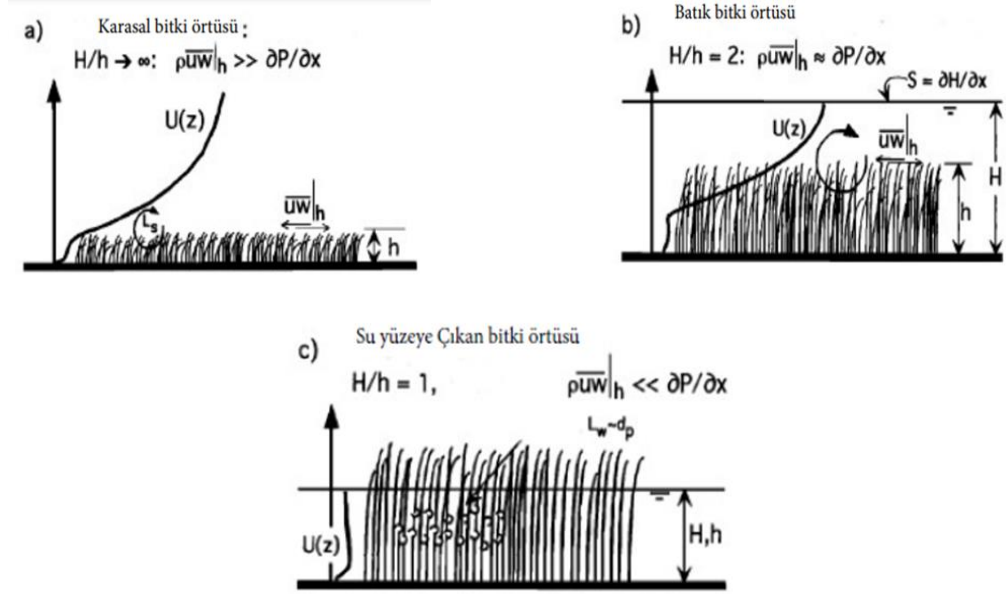
Duvar jetinde akım alanı iki bölgeye ayrılmaktadır (Tachie, 2000). Bunlar:

1. İç bölge: Katı cidardan (hızın sıfır olduğu nokta) başlayıp yerel hızın maksimuma ulaştığı nokta arasındaki düşey mesafeyi kapsamaktadır ($y \leq y_m$). Cidar normalindeki hız gradyanının çok büyük ($\partial U / \partial y$) ve viskozitenin etken olduğu çok ince bir tabakayı (viskoz alt tabaka ve geçiş bölgesini kapsamaktadır) ifade etmektedir.

2. Dış bölge: Yerel hızın maksimuma ulaştığı nokta ile akım alanının dışına kadar olan mesafedir ($y > y_m$). Viskoz etkilerin önemsiz olduğu (atalet kuvvetlerinin etkin olduğu) bölgedir.

2.1.4. Literatüre Taraması

Nepf ve Vivoni (2000), yaptıkları çalışmada farklı yüksekliklere sahip bitki örtüsünün akım alanındaki etkilerini araştırmışlardır. Birçok su bitki örtüsü için derinlik oranı, H / h , büyük değildir (Şekil 1b ve 1c) ve bu sınırlı derinlik hem ortalama akımı hem de türbülanslı akımı etkileyebilmektedir. Bu çalışmada, momentum kaynakları, türbülans ve değişim dinamiklerini göz önünde bulundurarak, batık olmayan bitki koşulundan ($H / h = 1$) batık olan bitki koşuluna geçiş araştırılmıştır. Ayrıca, esnek bitki koşulları da incelenmiştir. Artan akım hızı ile birlikte, sucul bitkiler dört farklı hareket sergiler: (1) dik, (2) hafifçe sallanan, (3) güçlü, tutarlı sallanma (monami) ve (4) yatık (Ackerman ve Okubo 1993; Murato vd., 1984; Grizzle vd. 1996). Bu çalışmada, hidrolik olarak benzer davranışa sahip olan ilk iki durum incelenmiştir.



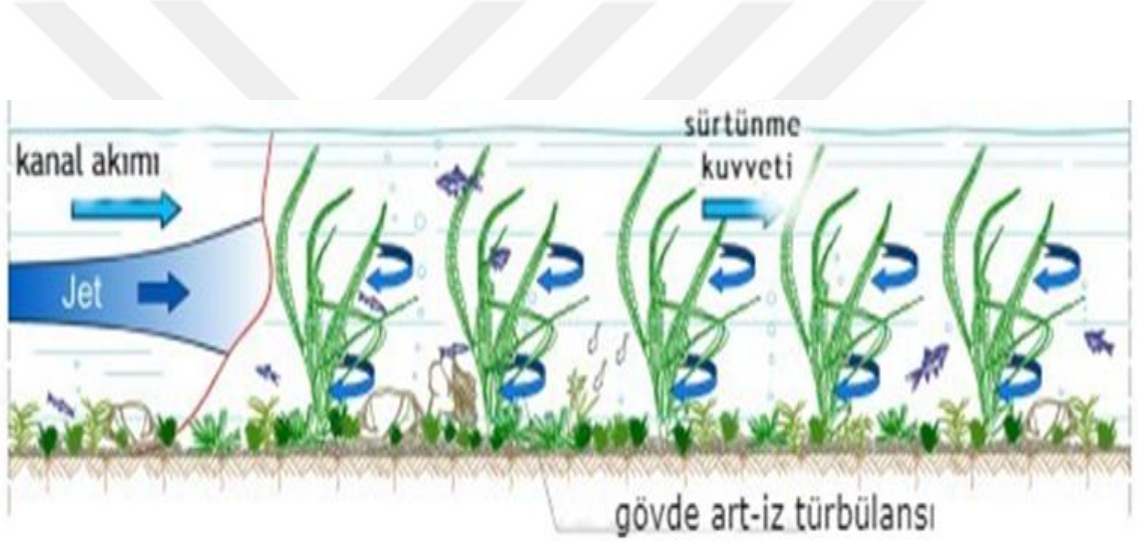
Şekil 2.5. Hız profili $U(z)$, üç farklı derinlik oranı H/h , burada H su derinliği ve h ise bitki örtüsü yüksekliğini ifade etmektedir. (a) Karasal bitki örtüsü sınırlanmamış limit değeri ifade etmektedir. Bu durumda, bitki üzerindeki akım alanında meydana gelen düşey momentum taşınımı bitki örtüsü içindeki akımı kontrol etmektedir. (b) Derinlik oranı azaldıkça, bitki örtüsü içindeki basınç gradyanları, $\partial p / \partial x$, türbülanslı gerilim ile karşılaştırılabilir hale gelmektedir. (c) Derinlik oranı sınır değer olan $H/h = 1$ 'e ulaştığında, türbülans ölçeği oluşan kayma akımının uzunluk ölçeğinden (L_s) art-iz bölgesindeki eddy ölçeğine (L_w) doğru azalmaktadır. (Nepf ve Vivoni 2000)

Nepf ve Vivoni (2000), bu deneysel çalışmayı Cambridge üniversitesi, İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Parsons Laboratuvarında gerçekleştirmişlerdir. Deneyler, 24 m uzunluğunda ve 38 cm genişliğinde, cam duvarlı bir kanalda ve 7,4 m uzunluğunda bitki örtüsü ile $h=16$ cm yüksekliğinde bitiler dikkate alınarak yapılmıştır. Her bitki, $w = 0,3$ cm genişliğinde altı çubuktan oluşmuş ve kısa (2 cm), sapa (çap, 0,64 cm) demetlenmiştir. Çubuklar 0,025 cm kalınlığında vinil plastikten yapılmıştır. Nepf and Vivoni (2000), hız ölçümlerini üç boyutlu akustik Doppler hız ölçümü (ADV) ile ölçülmüş ve 2D lazer Doppler (LDV) ile gerçekleştirmişlerdir.

Nepf ve Vivoni (2000), deneyler sırasında sucul bitki örtüsü içindeki iki farklı akış bölgesi belirlemişlerdir. İlk bölge, "Akım doğrultusundaki değişim bölgesi" olarak adlandırılan alt bitki örtüsü, esas olarak akım doğrultusunda meydana gelen taşınım yolu ile ortamdaki su ile yer değiştirmektedir. Bu bölgede türbülans, bitki sapı ve art-iz bölgesi

ölçeğinde üretilmiştir. Türbülans seviyesi, bitki sapı art iz koşullarını belirleyen bitki sapı Reynolds sayısına büyük ölçüde bağlıdır. İkinci bölge, "Düşey değişim bölgesi" olarak adlandırılan üst bitki örtüsü, ağırlıklı olarak düşey değişim vasıtasıyla ortamdaki su ile yer değiştirmektedir. Bu bölgede ortalama ve türbülanslı hız özellikleri, bitki örtüsünün tepesinde oluşan kayma tabakasından güçlü bir şekilde etkilenmiştir. Bu bölgede alt bölgenin aksine, bitki örtüsünün detayları, türbülans ve ortalama hız için daha az önemli olduğunu görülmüştür

Mossa vd. (2017), akım alanında bulunan bitki örtüsünün, jet yayılımına ve türbülans karışımına etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, türbülans uzunluk ölçekleri, türbülans difüzyon katsayıları ve taşınım terimleri, engellenmiş bir akım alanına giren türbülanslı bir jet için akım doğrultusunda ve düşey doğrultuda analiz edilmiş ve bitki örtüsü olmayan jet akım alanı sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Su bitkileri ve gövde ölçeği art-iz türbülansı ile bir kanal akıntısındaki jet akım modelleme örneği (Mossa vd., 2017)

Mossa vd. (2017) deneylerini yatay bir tabana sahip düz bir dikdörtgen kanalda gerçekleştirilmiştir. Deney kanalı 25,0 m uzunluğunda, 0.40 m genişliğinde ve 0.50 m derinliğinde bir kanalda yapılmıştır. Kanalın yan duvarları ve alt yüzeyi Pleksiglastan imal edilmiştir. Rijit bitki örtüsünü, benzeştirmek için dairesel çelik silindirler kullanılmıştır. Jet, kanalın giriş ve yan duvarlara sırasıyla 15,0 m ve 0,2 m mesafede deney kanalının ortasına yerleştirilmiştir. Anlık hızın üç bileşeni (u , v , w), üç boyutlu Nortek Akustik Doppler Hız Ölçer (ADV) kullanılarak belirlenmiştir.

Mossa vd. (2017), silindirin jet davranışı üzerindeki etkilerini anlamak için iki farklı deney yapmışlardır. İlk deneyde bitki olmayan kanala deşarj edilen jeti araştırırken, ikinci deneyde bitki örtülü kanala deşarj edilen jet incelemiştir.

Mossa vd. (2017)'nin elde ettiği sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

Akım alanında türbülanslı jet problemi birçok çevresel koşulla ilgisi nedeniyle yaygın olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, düzenli bir silindir dizi benzeşimi, engellenmiş bir akım ortamına deşarj olan türbülanslı jet akımı incelenmiştir. Sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

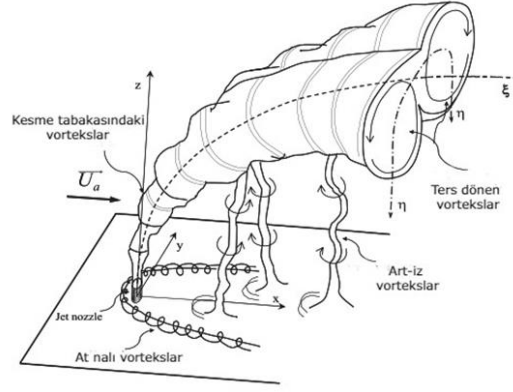
1- Engelsiz akımdaki jet durumundan farklı olarak, bir silindir dizisinin varlığında, enine difüzyon gelişirken, akım yönünde türbülanslı difüzyon azaltılmıştır. Engellenmiş durumda, akım yönünde ve enine türbülanslı difüzyon katsayıları aynı büyüklükte olduğu belirlenmiştir.

2- Silindir dizisinin varlığı, jetin boyuna doğrultuda hem difüzyonu hem de taşınımı azalmaktadır. Bununla birlikte, tekil silindirler etrafındaki akım yönünün enine sapması nedeniyle, yanal dağılımda aynı derecede azalma meydana gelmemiştir.

3- Jet kesiti ile kanal akımı arasındaki ara bölgede Reynolds kayma gerilmeleri çok küçüktür. Sonuç olarak, silindirlerin çevresindeki art-iz oluşumu nedeniyle türbülanslı enerjinin üretim terimi, viskoz yayılım ile dengelenmiştir.

Ben Meftah vd. (2015) yaptıkları deneysel çalışmada bitki örtülü akım alanında bulunan düşey jet akımını araştırmışlardır. Yapılan bu çalışmada, deşarj edilen atıksu ve engellenmiş alıcı su kütlelerinin etkileşimlerinin anlaşılmasına katkıda bulunmak planlanmıştır. Bu amaçla, batık olmayan bitki örtüsü tarafından engellenen türbülanslı bir momentum jetinin hidrodinamik akış yapılarını analiz edilmiştir.

Pathak vd. (2006), çapraz akımda bir jetin tüm akım alanının dört ana girdap yapısı ile karakterize edildiğini belirtilmiştir: (i) jet ve çapraz akım arasındaki ara yüzde oluşan ve Kelvin Helmholtz tipi kararsızlıklara atfedilen kayma tabakası girdapları; (ii) jetin akım yukarısındaki ters basınç gradyanı nedeniyle at nalı girdapları; (iii) jetin iç kısmında art-iz girdaplar oluşur ve (iv) ters yönde dönen vorteks çiftleri (CRVP), jet ucundan hemen sonra çapraz düzlemde oluşur ve akım alanında aşağı yönde baskın yapılar haline gelir (şekil 7).



Şekil 2.7. Çapraz akımda tipik bir yuvarlak düşey jet yapılarının taslağı. (Fric ve Roshko, 1994.)

Ben Meftah vd. (2015) deneylerini, İtalya’da bulunan Bari Teknik Üniversitesi, İnşaat, Çevre ve Kimya Mühendisliği laboratuvarına kurulan 25.0 m uzunluğunda, 0.40 m genişliğinde ve 0.50 m yüksekliğinde doğrusal ve dikdörtgen bir açık kanalda gerçekleştirilmiştir. Kanalin giriş ve çıkışında kararlı akımı şartlarını oluşturan sürekli çevrimi sağlayan bir hidrolik devresi vardır. Kanaldaki akım derinliği ve hızın kontrolü, hareketli düşey kapaklar ile sağlanmaktadır.

Ben Meftah vd. (2015) deneylerde kullandıkları bitki örtüsünü düşey, rijit, dairesel ve dişli çelik silindirler kullanarak benzeştirmişlerdir. Silindirlerin yüksekliği $h=0.31\text{m}$ ve çapı $d=0.003\text{m}$ olarak dikkate alınmıştır. Jet ucu, deney alanının ortasında, kanalın giriş ve yan duvarlarına sırasıyla 15.0 m ve 0.2 m uzakta yerleştirilmiştir. Jet, $d=0.003\text{ m}$ çapında dairesel metalik bir borudan oluşturularak akım alanına deşarj edilmiştir. Kanal tabanından jet ucuna düşey mesafe $z_0=0.03\text{m}$ olarak dikkate alınmıştır.

Ben Meftah vd. (2015), deneylerinde bitki alanındaki akım hem üç boyutlu hem de bireysel gövdenin ölçeğinde oldukça heterojendir. Bu nedenle, anlık üç boyutlu hız bileşenleri, üç boyutlu ADV kullanılarak doğru bir şekilde ölçülmüştür. Nortek tarafından üretilen, Akustik Doppler Velocimeter (ADV) sistemi ve CollectV yazılımı verileri elde etmek için ve ExploreV yazılımı ise verileri analiz etmek için kullanılmışlardır.

Ben Meftah vd. (2015), üç deney senaryosu gerçekleştirilmiştir: (i) bitki etkisi olmadan jet yapısını bilmek amacıyla, engelsiz bir kanal akımına bir jet deşarjı oluşturulmuştur, (ii) ana çevre akım üzerindeki bitki etkilerini anlamak için jet olmadan incelenmiştir, (iii) birinci ve ikinci senaryoları birleşerek engellenmiş bir kanal akımına jet deşarjı incelenmiştir.

Ben Meftah vd. (2015)'nin elde ettiği sonuçlara göre jet hızının jet çıkışından itibaren mansap yönüne doğru hızla azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca, akım içindeki jet etkisinin farklı koşullarda önemli ölçüde değiştiği belirlenmiştir. Aynı hidrolik koşullar altında, jetin engelli kanal akımında engelsiz olana göre daha yüksek oranda etki ettiği açıkça görülmüştür. Jet yörüngesi, bir akıma deşarj edilen, jetin en önemli parametrelerinden biridir. Bu çalışmada, jet yörüngesi, akım eksenini düzleminde ortaya çıkan hızın maksimum değerinin yeri olarak tanımlanmıştır. Rijit bitki örtüsü, akım alanını ve hız dağılımlarını önemli ölçüde etkileyerek enine akım hareketinde önemli bir artışa neden olmuştur. Silindirik bitki dağılımı içinde boyuna ve enine değişim bölgeleri bulunurken düşey değişim bölgesi ihmal edilecek mertebededir. Rijit bitki örtüsü, ortalama kanal hızını azaltarak jetin akıma daha fazla etki etmesini sağlamıştır.

De Serio vd. (2018), bitki yapısı içindeki türbülanslı akımın neden olduğu taşınım ve saçılım hakkında kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Özellikle, bitki örtülü kanallardaki hız ölçümleri hem esnek hem de rijit batık bitki örtüsü için gerçekleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

De Serio vd. (2018), rijit bitki örtüsü deneylerini Bari Politeknik Üniversitesi İnşaat, Çevre, Arazi, Yapı ve Kimya Mühendisliği Bölümü'nde (İtalya) yatay bir tabana sahip olan kanalda gerçekleştirilmiştir. Kanal 25,0 m uzunluğunda, 0,40 m genişliğinde ve 0,50 m derinliğindedir. Kanalın yan duvarlar ve taban yüzeyi Pleksiglas'tan yapılmıştır. Bitki örtüsü dizisi, dişli yanal yüzeyleri olan düşey, rijit ve dairesel çelik silindirlerden yapılmış ve dolayısıyla pürüzlü silindirler olarak kabul edilmiştir. Silindir çapı $d = 0.003$ m belirlenmiştir. Silindir uçları, 3 m uzunluğunda, 0.02 m kalınlığında ve 0.4 m genişliğinde kontrplak plakaya yerleştirilmiş ve bu plak kanal tabanı boyunca sabitlenmiştir. Silindirler düzenli olarak $s=0.05$ m mesafede boyuna ve enine yerleştirilmiştir. Anlık üç boyutlu akım hız bileşenleri, 3D Akustik Doppler Velocimeter (ADV) sistemi kullanılarak ölçülmüştür.

De Serio vd. (2018), esnek bitki örtüsü deneylerini İtalya, Palermo Üniversitesi Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda oluşturulan doğrusal bir laboratuvar kanalda gerçekleştirmişlerdir. 11.2m uzunluğunda ve 0.4m genişliğinde dikdörtgen bir kanal oluşturulmuştur. Kanal taban eğimi %0.4 olarak dikkate alınmış ve 1.60 m uzunluğunda esnek bitki örtüsü alanı belirlenmiştir. Bitki örtüsü yüksekliği (batmadan önceki yükseklik) 7.8cm ve esneklik yüksekliği 2.6cm olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışma, $Q = 35$ l/s debi ile gerçekleştirilmiştir.

De Serio vd. (2018)'nin deney sonuçlarında, zaman ortalaması alınan yatay hız, türbülanslı kinetik enerji, uzunluk ölçekleri ve difüzyon katsayıları ayrı ayrı incelemiştir. Ayrıca, ortalama akım nedeniyle türbülanslı kinetik enerjinin advectif taşınması da araştırılmıştır. Planlanan akım için tipik bir akım davranışı gözlenmiş ve iki silindir arasında maksimum hız değeri görülmüştür. Ayrıca akım, her bir silindirden ayrılarak tipik art-iz bölgesine sebep olmuştur. Bitki örtüsünün mevcudiyetinde, bitki olmayan akımla kıyaslandığında, tüm derinliklerde türbülanslı kinetik enerjinin arttığını görülmüş, böylece akımdaki rijit bitki yapısının neden olduğu artan türbülans etkisi belirlenmiştir. Bitki örtüsünün varlığında, her iki bitki dağılımı için ortalama hız azalmıştır.

De Serio vd. (2018), deneysel sonuçların analiz ettiklerinde bitki örtüsü yoğunluğunun advectif süreçlerde önemli bir parametre olduğunu görmüşlerdir. Türbülanslı kinetik enerji ve dolayısıyla olası bir çözünmüş maddenin taşınmasının bitki örtüsü yoğunluğuna bağlı olduğu belirlenmiştir. Seyrek bitki örtüsü durumunda, türbülans eddyleri ve izleyici taşınması yanal bir şekilde meydana gelmiştir. Bu durumda hem bitki örtüsü yoğunluğu hem de bitki Reynolds sayısı etkisinde meydana gelen yanal bir hareket söz konusu olmuştur.

Hui vd. (2010), bitki örtüsü ile ilgili direnç katsayısının belirlenmesi için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sulak alanlardaki hidrolik koşullar öncelikle bitki örtüsü ile ilişkili akım direnci ile belirlenmektedir. Bu çalışma, ekolojik faktörlerin (çap ve esneklik) ile ilgili direnç katsayısı üzerindeki etkilerine odaklanmıştır. Üç farklı hidrolik özelliklere sahip olan bitki örtüsü kullanılmıştır. Sulak alanlardaki hidrolik koşullar öncelikle bitki örtüsü ile ilişkili akım direnci ile belirlenmektedir. Mevcut çalışmalarda sonuçlar, doğal bitkileri temsil edebilen yapay bitkiler kullanılarak elde edilmiştir (Wu 2008; Zhang ve Su 2008). Ancak bu sonuçlar doğal bitkiler için geçerli değildir. Hui vd. (2010) çalışmalarında direnç katsayısını, Bernoulli denklemi, Darcy direnç formülü ve direnç katsayısı ifadesi dikkate alarak hesaplamışlardır. Deneysel çalışmayı, 22,6 m uzunluğunda, 1,0 m genişliğinde ve 0,8 m derinliğinde cam duvarlı bir kanalda gerçekleştirmişlerdir. Deney sırasında, bitki yaprakları, kompozisyon ve düşey ekolojik faktörler (çap ve esneklik), çalılar ve ağaçlar gibi direnç katsayısını etkileyen çeşitli etkili faktörleri dikkate alınmıştır. Dört farklı deney yapılmıştır. İlk iki yapraklı çalılar ve sazlıklar olarak tekli kombinasyonlar tasarlanırken, diğer ikisi, çalılar-otlar ve çalılar-sazlar gibi karışık kombinasyonlardan oluşturulmuştur. Deneylerde akım üniform olarak belirlenmiştir. Hız ve su seviyesini ölçüm yapmak için dört bölüm belirlenmiştir. Ve her bölümde farklı yükseklikte ölçüm yapılmıştır. Su seviyeleri,

bilgisayarda çalışan yazılıma bağı olan basınç dönüştürücü ile ölçüm yapılmıştır.

Hui vd. (2010)'nin elde ettiği sonuçlara göre dağınık halde bulunan çalı-ot karımına ait direnç katsayısı, tekil çalı-ot grubuna ait direnç katsayısından daha farklıdır. Ayrıca, otların yüksekliğinin çok üstünde, direnç katsayısının eğrilerinin eğilimi aynı gösterilmiştir. Otların direnç katsayısı üzerindeki etkisi sadece otların yüksekliğinin biraz üzerinde belirlenmiştir. Direnç katsayısının eğrilerinin bitki çapına karşı eğilimi farklı koşullar altında değişmiştir. Tekli çalı kombinasyonun direnç katsayısı bitki çapı ile artarken, çalı-ot veya çalı-sazlık karışık kombinasyonun direnç katsayısı azalmıştır.

Wilson vd. (2003), açık kanallarda bulunan farklı şekillerdeki esnek batık bitki örtüsü ve akım etkileşimini araştırmışlardır. Bu çalışmada, bitki örtüsünün akım alanındaki etkisi iki farklı bölgede çalışılmıştır. Bunlar, ilk olarak batık bitki bölgesinin bulunduğu kısım, ikinci olarak bitkinin üst bölgesinde akım alanı içinde kalan kısımdır. Bitki koşulları, aynı yükseklikte yapraklı ve yapraksız esnek çubuklar olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmada, bitki formunun ortalama akım alanı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini ve bu nedenle potansiyel olarak nehir ve sulak alan sistem yönetimi stratejilerini etkileyebileceği görülmüştür.

Wilson vd. (2003), esnek bitki örtüsü boyunca üniform akım türbülansının özelliklerini iki farklı bitki örtüsü dikkate alarak incelemişlerdir. Bunlar, aynı yükseklikte yaprak olmayan esnek çubuklar ve yapraklı esnek çubuklar. Bu çalışmada bitkinin biyomekanik özelliklerinin incelenmesi Trondheim Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir (Dubi 1995; Lovas 2000). Burada sulak bir bitki modeli kullanmış ve kullanılan bitki örtüsü yaygın olarak karşılaşılan nehir bitkilerine morfolojik ve biyomekanik bir benzerlik taşımaktadır (Larsen vd. 1990). Yeşillik olmadan, çubuk benzeri bitki örtüsü uzun otlara veya sazlıklara eşdeğer olarak kabul edilmiş ve yeşillikli bitkiler bir takım sucul makrofit türlerine benzeştirilmiştir.

Wilson vd. (2003), esnek sucul bitki örtüsü için deneylerini, 0,5 m genişliğinde ve 10 m uzunluğunda bir kanalda, boyuna taban eğimi 1/1000 dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler, Norveç Hidroteknik Laboratuvarı'nda (Trondheim, Norway) yapılmıştır. Bitki örtüsünün uzunluğu, üniform bir akımı oluşturmak için yeterli olacak şekilde 7 m olarak dikkate alınmıştır. Akış derinliği, farklı derinlik oranları (H / h) elde etmek için değiştirilmiştir. Burada h , bitki yüksekliği ve H , su derinliğidir. Derinlik oranları 1.5 ila 3.4 arasında değişmektedir. Hız ve türbülans değerlerini ölçmek için 25 Hz frekansta üç boyutlu yandan bakan Akustik Doppler Velocimeter probe kullanılmıştır. 240 sn örnekleme süresi

dikkate alınmıştır

Wilson vd. (2003), elde ettikleri hız profili sonuçlarına göre bitki tabakasındaki ortalama akımın büyük ölçüde geciktiği ve artık hız dağılımının artık logaritmik profile uymadığını belirlemişlerdir. Bu bulgular hem rijit hem de esnek bitki örtüsü için geçerlidir (Tsujiimoto vd. 1992; Nepf ve Vivoni 1999). Hem çubuk hem de yapraklı bitki için profiller ortalama hızda önemli değişiklikler göstermiş ve yatay kayma tabakasının oluşumunu karakterize etmiştir. Bitki tabakası içinde, yapraklı olan bitki örtüsünün ortalama hızı yapraksız bitki örtüsünün ortalama hızın yarısından daha az gözlenmiştir.

Wilson vd. (2003), yapraklı bitkinin artan yüzey alanının, bitki örtüsü ve yüzey akım bölgesi arasındaki momentum transferini değiştirdiğini belirtmişlerdir. Yapraklar, bitki örtüsünün üzerindeki akım alanında meydana gelen Reynolds gerilmesinin en yüksek değerini daha büyük bir değere ulaşmasına sebep olmuştur. Türbülanslı kayma tabakası, çubuk bitki alanında yapraklı bitki alanına göre daha fazla nüfuz etmiştir. Yaprak yüzeylerinin sebep olduğu direnç ek bir türbülansa sebep olmuştur. Meydana gelen bu ek türbülans ise maksimum türbülans gerilme seviyesini bitki örtüsünün üzerindeki bölgede meydana gelen seviyeye çıkartmıştır. Akım derinliği boyunca çubuk dizisi tarafından üretilen daha yüksek türbülans gerilmesi, bitki yaprakları ve tabanın yüzey akım bölgesi arasındaki kayma etkileşiminin ve türbülanslı karışımın, yapraksız çubuklarda, yapraklı çubuklardan daha büyük olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, yapraklar daha büyük sürtünme kuvvetleri oluşmasına rağmen büyük olasılıkla yaprakların daha büyük yüzey alanı tarafından düşey momentum değişiminin engellenmesi nedeniyle kayma türbülansı azalmıştır.

Wilson vd. (2003), bitkinin yapraklarının önemli ölçüde momentumu azalttığını ifade etmişlerdir. Buna bağlı olarak, bitki bölgesi içindeki baskın hız değerleri akım alan bölgesine nazaran oldukça azalmıştır. Batık bitki örtüsünün seviyesi arttığında, 'yapraklı' bitkiler için yaprak tabakasındaki akışkan türbülansın büyüklüğü yapraksız bitkilere göre bozulmamıştır. Ayrıca, dikkate alınan gövde yoğunluğu için, yapraklı bitkiler yapraksız bitkilere göre ortalama hızı önemli ölçüde azaltmıştır. Bu bulgular, nehir ve sulak alanların restorasyonu ve iyileştirilmesi açısından oldukça önemlidir. Yapraklı bitki örtüsü yapraksız bitki örtüsüne göre hız ve taban kayma gerilmesine daha farklı etki gösterilmiştir.

Jarvela (2005), esnek bitki örtüsünün üzerindeki akım yapısını ve akım direnci üzerindeki etkilerini araştırmak için deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Buğday bitkisi ile yapılan deneylerden ortalama hız profilleri ve türbülans karakteristikleri belirlenmiştir.

Ayrıca, esnek buğday üzerindeki ortalama hız profillerini ve türbülans özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Jarvela (2005), deneyleri 50 m uzunluğunda 1,1 m genişliğinde, cam duvarlı bir kanalda gerçekleştirilmiştir. Deneyde kanalın uzunluğu 36m olarak belirlenmiş ve kanalın merkezinde 6 m uzunlukta bitki örtüsü yerleştirilmiştir. Bitki örtüsü ince duvarlı metal kutularda dikilmiştir. Deneyler sırasında buğday, oldukça esneklik göstermiştir. Bitki örtüsünün ortalama yüksekliği 280 mm ve çapı 2.8 mm olarak belirlenmiştir.

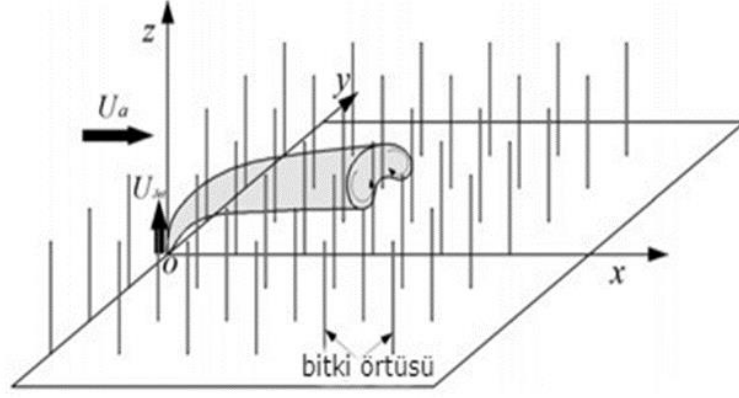
Jarvela (2005), deneylerde dört farklı akım derinliği, $h=0.30$, $h=0.40$, $h=0.5$ ve $h=0.70$ m ve üç farklı debi $Q=40$ lt/sn, $Q=100$ lt/sn, $Q=143$ lt/sn dikkate alınmıştır. Tüm deneylerde üniform olmayan akım belirlenmiştir. Akım hızı, Nortek 3D akustik Doppler (ADV) kullanılarak ölçülmüştür. Hız profilleri üç boyutlu konumlarda, $x=3.5$ m, $x=3.65$ m ve $x=3.8$ m’de ölçülmüştür.

Jarvela (2005)’nın deneylerinde dikkate aldığı her bir test çalışması için üç düşey hız profilinin hemen hemen aynı olduğu görülmüş, ancak pürüzlülük örtüsündeki doğal değişkenlik nedeniyle dağılım belirgin olmuştur. Genel olarak, belirlenen hız profilleri esnek bitkilerin üzerindeki tipik profillerle karşılaştırılabilir nitelikte olduğu görülmüştür. Böylece, buğday bitki örtüsünün üzerindeki akım logaritmik hız kanuna göre hesaplanmıştır.

Jarvela (2005)’nın yaptığı bu çalışmanın sonuçları u_{*2} ’nin basit tanımının ($u_{*2} = \sqrt{g(h - h_{p,m})S_s}$) kayma hızını hesaplamak için kullanılabileceği belirlenmiştir. Bu değişiklik ile yaklaşım, karmaşık türbülans ölçümleri gerektiren orijinal formülünden daha pratik ve uygulanabilir bir hale gelmiştir. Diğer bir avantajı ise bu yaklaşımın sayısal bir modelleme çerçevesi içinde uygulanmasının kolay olmasıdır.

Xiao vd. (2019), büyük eddy benzeşimi (LES) ile bitki örtülü bir akışta dairesel bir jetin hidrodinamiğinin ile ilgili sayısal bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sayısal çalışmanın sonuçları, Ben Meftah vd. (2015) tarafından yapılmış deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Şekil 1’de hesaplama modeli gösterilmiştir. Çapı D olan dairesel jet, hesaplanan alanın merkezine yerleştirilmiş ve koordinat sisteminin orijini olarak belirlenmiştir. Çapı D ve yüksekliği 103.3D olan bitki örtüsü silindir olarak modellenmiş ve düzenli olarak akım yönünde ve enine aynı mesafelerle yerleştirilmiş ($\Delta s = 16.7D$). Hesaplama alanında, deneysel alanın bir kısmı sırası ile akım yönünde (x), enine (y) ve düşey (z) doğrultularında olmak üzere $260D \times 133.3D \times 123.3D$ boyutlarında dikkate alınmıştır.

Bitki örtüsü bölgesinin uzunluğu $150D$ belirlenmiştir. İki farklı koşulda yapılan deneyler dikkate alınmıştır. Bunlardan ilki bitki olmayan jet akımı (CJ1 to CJ2) ve ikincisi de bitki örtüsünde yayılan jet akımı (CJV1 to CJV2).



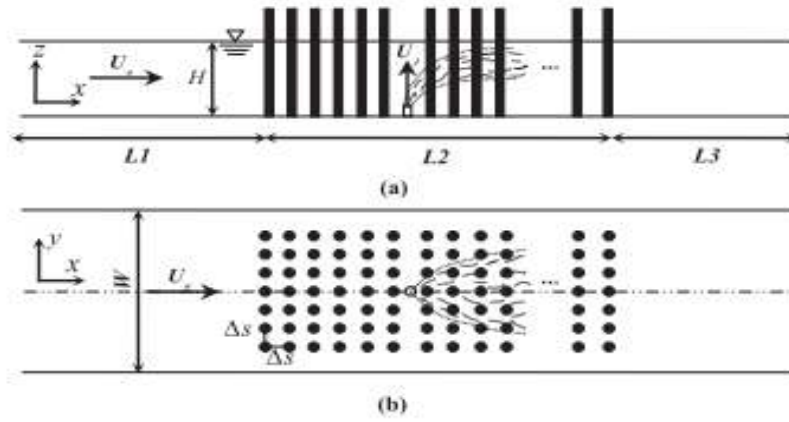
Şekil 2.8. Bitkili kanalda 3D şematik düşey jet. (Xiao vd. 2019)

Xiao vd. (2019)'in elde ettiği sayısal sonuçların deneysel verilerle tutarlı olduğu belirlenmiştir. Engelli akımdaki jet hız dağılımı, engelsiz bir akımdan daha yüksek etki göstermiştir. Ayrıca, jet- akım hızının artırılması ile jet nüfuzunun arttığı belirlenmiştir. Bitki örtüsünün varlığı kanal hızını azaltılmış ve bitki örtüsü olmayan koşullara göre jet penetrasyon yüksekliğinde önemli bir artışa neden olmuştur.

Xiao vd. (2018), bitki örtülü kanal akımında ortama verilen düşey jetin davranışını büyük eddy benzeşimi (LES) belirlemeye çalışmışlardır. Büyük eddy benzeşimi, ortaya çıkan rijit bitki örtüsü ile bir akıma enjekte edilen düşey yüzer bir jetin araştırılması için kullanılmıştır. Bu çalışma ile türbülanslı jet'in vorteks yapılarının bitki örtüsü ile jet davranışı ve akım alanındaki gelişimini belirlemeyi hedeflemektedir. Elde edilen sonuçlar ortalama hız profili ve sıcaklık alanı deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bitki örtüsü olan ve bitki örtüsü olmayan testler arasındaki benzerlikler ve farklılıklar da incelenmiştir.

Xiao vd. (2018), çalışmasında dikkate aldığı akım şartları Şekil 1'de gösterilmiştir. Sayısal alanın boyutları, akım, enine ve düşey yönlerde sırasıyla $280D \times 80D \times 52D$ olarak dikkate alınmıştır. Bitki örtüsü bölgesinin (L2) uzunluğu $200D$ belirlenmiştir. Silindirler düzenli olarak sıralanmış ve aynı mesafe $\Delta s = 10D$ ile boylamasına ve enine yerleştirilmiştir.

Silindirin yüksekliği 0.26m ve çapı 0,003 m olarak belirlenmiştir.

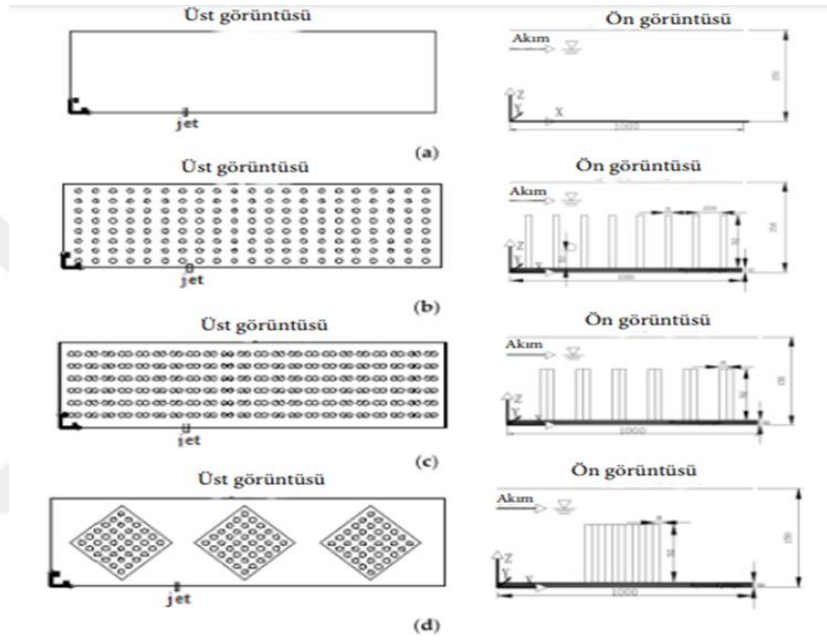


Şekil 2.9. Benzeşim yapılan kanal deneyi. (a) yandan görünüşü (b) üstten görünüşü

Xiao vd. (2018), elde ettikleri sayısal sonuçların deneysel sonuçlar ile tutarlı olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, bitki örtüsü testleri için jet yörüngelerinin benzeşiminde bazı tutarsızlıklar vardır. Jet yörüngesi ve jet eksen, mevcut akışkan içindeki jet difüzyonunu ve nüfuzunu açıklamak için araştırılmıştır. Bitki örtüsünün varlığı kanal hızını azaltır ve bitki örtüsü olmayan testlere kıyasla jet etkisinin yüksekliği ve seyreltmede önemli bir artışa neden olmuştur. Ek olarak, arka planda dağıtılmış türbülans üreten çevre bitki örtüsü nedeniyle jet atık sularının güçlü yayılması ve seyreltilmesi sağlanmıştır. Vorteks yapılarının zamansal ve mekansal evrimi, bitki örtüsünün jet gelişimi üzerindeki etkisini açıklamak için analiz edilmiştir. Bu simülasyonda türbülanslı bir jetin jet çekirdeği, sürüklenmeye bağlı büyük ölçekli vorteksler ve ince ölçekli türbülans gibi tipik özellikleri gözlenmiştir. Bitki örtüsü tarafından üretilen Kelvin-Helmholtz frekansını tanımlamak için spektral analiz kullanılmıştır.

Teng vd. (2018), rijit bitki örtüsü içeren açık kanallı akımında yanal jet akımının türbülanslı akım karakteristikleri üzerindeki etkisini çalışmışlardır. Bunun için farklı bitki dizilimlerini dikkate almışlardır. Jet akımı ve bitki örtüsü arasındaki etkileşimin belirlenmesi için aşağıdaki belirtilen akım koşulları incelenmiştir: (1) açık kanaldaki yanal jetin ortalama akış alan dağılımının değişimi; (2) düşey bir çizgi boyunca boylamasına jet akış hızı; (3) yanal bir jetin yörüngesi ve (4) türbülans yoğunluğu ile Reynolds stresi.

Teng vd. (2018), deneyleri Xi'an Teknoloji Üniversitesi'nin Ulusal Ekolojik ve Su Koruma Laboratuvarı'nda gerçekleştirmişlerdir. Kanal 7,3 m uzunluğunda, 0,3 m genişliğinde ve 0,25 m yüksekliğinde pleksiglastan yapılmıştır. Ölçüm alanı yaklaşık 20 cm x 20 cm belirlenmiştir. Rijit bitki örtüsünü benzeştirilmek için şeffaf pleksiglas çubuklar kullanılmış ve çubukların çapı $d=0.8\text{cm}$ ve yüksekliği 9.2 cm olarak dikkate alınmıştır. Çubuklar, 100 cm uzunluğunda, 30 cm genişliğinde ve 0.05 cm kalınlığında bir PVC levha üzerine monte edilmiştir. Deneylerde dikkate alınan bitki dağılımları aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 2.10. Bitki dağılımları. (a) Bitki örtüsü olmayan; (b) Tek sıralı bitki örtüsü dağılımı; (c) Çift sıralı bitki örtüsü dağılımı; (d) Elmas bitki örtüsü düzenlemesi.

Teng vd. (2018), jet akımı ve bitki örtüsü arasındaki etkileşimi ayrıntılı olarak anlamak için, önce su olmayan bir ortamda bir jetin etkilerini incelenmiş ve ardından yanal bir jetin farklı bitki örtüsü düzenlemelerine sahip akım alanı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Deney sırasında jet akımı su yüzeyinde bir çift ters girdap oluşturmuştur. Hız, dairesel şekilden düz bir şekle değişmiş ve yavaş yavaş jet kesitinde böbrek şekline dönüşmüştür. Bitki örtüsünün olduğu bölgedeki doğrusal akım hızı, su derinliği oranı boyunca benzer davranış göstermiştir. Bitki alanında, bitki dağılımı ve bitki direnci farklıdır. Serbest alanda, özellikle su yüzeyine yakın bölgede bitki örtüsünün olmaması nedeniyle akım hızı belirgin şekilde artmıştır. Bitki örtüsünün varlığı akımın yüzeye yakın bölgede hızını arttırmış ve bitki örtüsü alanının iç

kısımında ve kanal tabanının yakın yerlerde akım hızı azalmıştır. Akım, bitki örtüsünün varlığından büyük ölçüde etkilenmiş ve hız dağılımı çok karmaşık hale gelmiştir. Bununla birlikte zamansal ortalama akım hızı, türbülans yoğunluğu ve Reynolds gerilmesi analiz edilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Teng vd. (2018), zaman ortalama akım hız dağılımlarını incelediklerinde, bitki örtüsünün yanal bir jet etrafındaki akım alanını önemli ölçüde bozduğunu belirlemişlerdir. Bitki örtüsü etrafındaki akım nedeniyle, akım hız dağılımı önemli ölçüde değişmiş ve farklı yerlerde farklı boyutlarda at nalı, art iz ve ters vorteksler sergilenmiştir. Dört farklı bitki örtüsü düzenlemesinin karşılaştırılması, bitki örtüsünün jet akım alanını etkilediğini gösterilmiştir.

Teng vd. (2018)'nin farklı bitki dağılımları için elde ettikleri sonuçlar özetlendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır:

- Düşey akım hızının analizine göre, bitki örtüsünün iç bölgesinde ve tabana yakın akım hızı azalmıştır.

- Jet yörüngelerini farklı koşullar altında karşılaştırarak, jet nüfuzunun bitki örtüsü olan durumlarda bitki örtüsü olmayan duruma göre önemli ölçüde daha yüksek olduğunu göstermiştir.

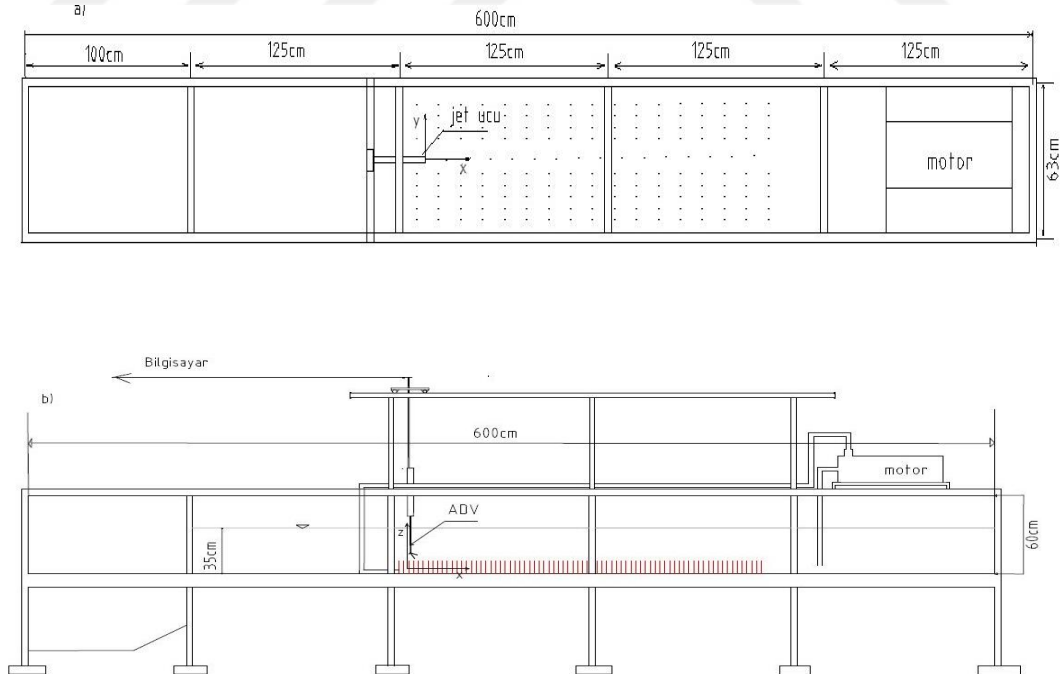
- Türbülans yoğunluğu ve Reynolds gerilmesi analizi, şiddetli akım türbülans nedeniyle akım gradyanının çok büyük olduğunu ve bitki örtüsünün hemen üst kısmında ve su yüzeyinin yakınında Reynolds geriliminin en yüksek olduğu belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

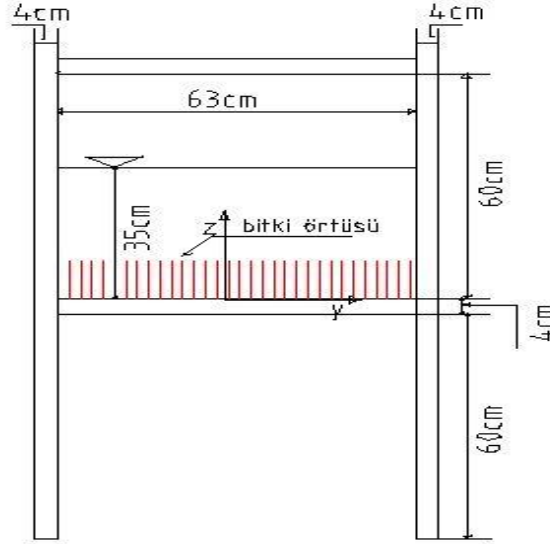
3.1. Deneysel Çalışması

3.1.1. Deney Sistemi

Deneyler Aydın Adnan Menderes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında kurulan 6,0 m uzunluğunda, 0,63 m genişliğinde ve 0,60 m yüksekliğinde doğrusal ve dikdörtgen bir açık kanalda gerçekleştirilmiştir. Kanalin yan duvarları camdan yapılmış ve tabanı beton ile kaplanmıştır. Deneylerde debi ölçümü pompadan sonra yerleştirilen A104LMA 100GPI model elektronik bir debimetre ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan pompa QS PS 90L2A-02 H model ve 2.5 kW gücündedir. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de deney sistemine ait boyutlar ve görünüşler verilmiştir.



Şekil 3.1. Deney sistemi, a) Üstten görünüş, b) Yandan görünüş

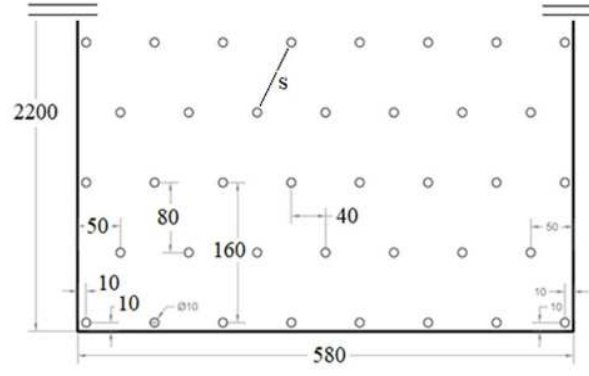


Şekil 3.2. Deney sistemi en kesit

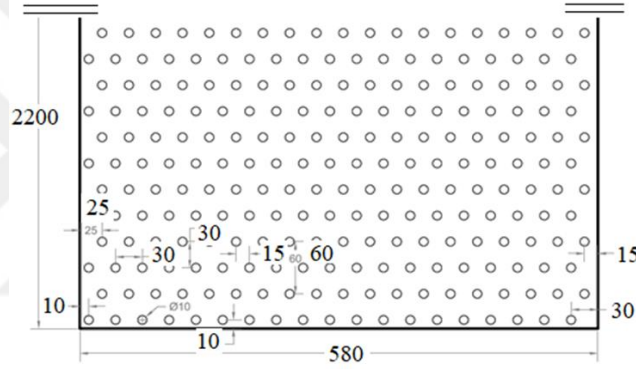
Deneyler, tek debi, tek jet çıkış çapı, tek su derinliği, serbest jet ve 4 farklı bitki koşulu için gerçekleştirilmiştir. Deneylerde su derinliği $H=35$ cm, debi $Q=59.74$ lt/dk ve jet çapı $D=2.5$ cm olarak dikkate alınmıştır. Bu koşullarda Reynolds Sayısı ($Re=U_0D/\nu_*$), $Re=50750$ 'dir. Deneylerde kullanılan bitki dağılımları tekil bitkilerin kontr plak levha üzerine monte edilerek oluşturulmasıyla elde edilmiştir. Tekil bitkiler düşey, rijit, $d=1$ cm çaplı dairesel-silindirik plegsiglas çubuklar kullanılarak benzeştirilmiştir. Tekil bitkiler şaşırtmalı bir şekilde tabana yerleştirilmiştir (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). İki farklı bitkilerin yüksekliği, $h=5$ cm ile $h=10$ cm ve bu yüksekliklerde çok yoğun ve az yoğun olmak üzere iki farklı bitki yoğunluğu dikkate alınmıştır. Bitki yoğunlukları, ϕ , White ve Nepf (2007)'de belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$\phi = (\sqrt{3}\pi/6)(d^2/s^2) \quad (1)$$

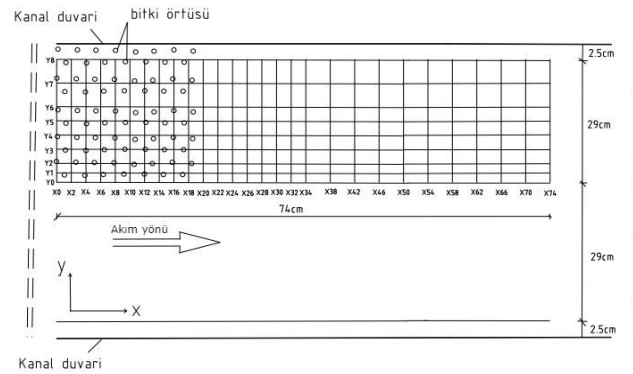
Burada, d bitki çapı ve s silindirler arası çapraz mesafeyi (Şekil 3.3) ifade etmektedir. Buna göre, $\phi_1=0.01$ ve $\phi_2=0.08$ olarak hesaplanmıştır. İlave olarak bitki yoğunlukları m^2 başına düşen bitki sayısı (N) olarak da belirlenmiştir. Böylece, $N_1=172$ IP/ m^2 ve $N_2=1142$ IP/ m^2 'dir. Burada, IP (Individual Plant) tekil bitki sayısını ifade etmektedir. Deneylerde 6 farklı derinlikte ölçüm yapılmıştır (şekil 3.6).



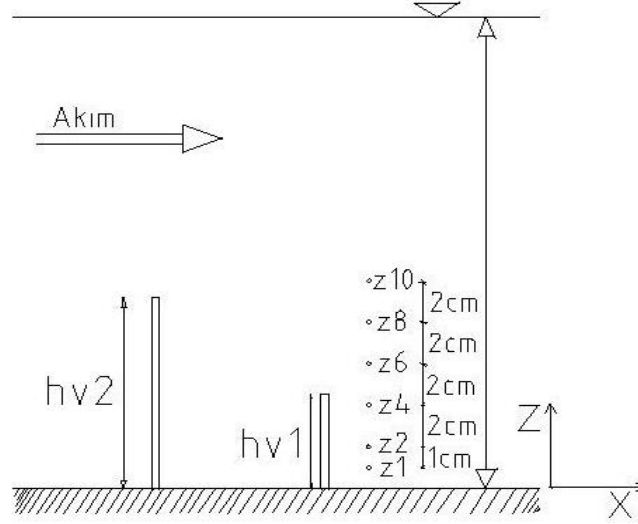
Şekil 3.3. Düşük yoğunluklu (LV), $\phi_1 = 0.01$ ($N_1 = 172$ IP/m²) Bitki dağılımında bitkilerin yerleşimi (Birimler mm'dir.)



Şekil 3.4. Yüksek yoğunluklu (HV), $\phi_2 = 0.08$ ($N_2 = 1142$ IP/m²) Bitki dağılımında bitkilerin yerleşimi (Birimler mm'dir.)



Şekil 3.5. Akım yönü hız ölçüm alanı



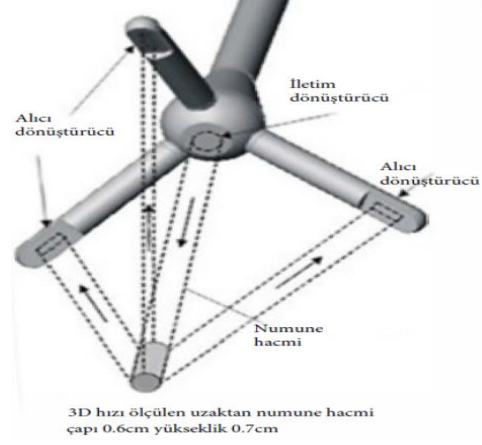
Şekil 3.6. Akım yönü hız ölçüm alanı yandan görünüşü

Kanal taban yüzeyinde yerleştirilen tahtanın uzunluğu 220cm, genişliği 58 cm ve kalınlığı 1.5cm belirlenmiştir. Jet ucu bitki örtüsünün başlangıç noktasından itibaren 15 cm bitki örtüsünün içinde ve tabana yerleşmiştir.

3.1.2. Hız Ölçümleri

Deneylerde hız ölçümü için 3 boyutlu akustik doppler hızölçer (Acoustic Doppler Velocimeter-ADV) ve 3 boyutlu aşağı bakan probe (3D Down-looking probe) kullanılmıştır. ADV günümüzde akarsularda hızı ölçmek için kullanılan en yaygın hızölçeridir (Ardıçlıoğlu ve Gemici 2010). Deneylerde ADV kanal üzerine yerleştirilen ve üç boyutta hareketi sağlayan bir arabaya monte edilmiştir. Böylece ADV'nin üç doğrultuda hareketi sağlanmıştır. Bir ölçüm süresi 2 dakika ve ölçüm frekansı 25 Hz olarak belirlenmiştir. Buna göre her ölçümde 3000 veri içeren bir hız serisi elde edilmiştir. Hız aralığı ± 2.5 m/s olarak seçilmiştir.

25 Hz'lik ölçümlerde sinyal hatası'nın (Signal-to-noise ratio -SNR) 15 dB'den büyük olması ve korelasyon katsayısının %70'den büyük olması önerilmektedir (Sontek Manual). Buna göre, deneylerde ölçülen veriler SNR >15 dB ve korelasyon katsayısı > %70 olarak seçilmiş ve winADV'de bulunan Phase-space threshold despiking dikkate alınarak (Goring ve Nikora, 2002 ve Wahl, 2000) işlenmiştir.



Şekil 3.7. 3D Akustik doppler hızölçer-aşağı bakan probe (ADV), (<https://www.sontek.com/argonaut-adv>)

3.1.3. Deney Programı

Yapılan deneylerin şartları genel olarak Tablo 3.1’de verilmiştir. Deneylerde jet çıkışı tabana yerleştirilmiştir. Her bir deney şartı için detaylandırılmış deney programı Tablo 3.2, Tablo 3.3, Tablo 3.4, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deney Şartları

Denet Şartı	H(cm)	D (cm)	d(cm)	Q(lt/dk)	U_0 (m/s)	$Re(U_0 D / \nu_*)$	h(cm)	h/H	ϕ
Serbest Jet	35	2,5	-	59,74	2,03	50750	-	-	-
Engellenmiş Jet-LVh5	35	2,5	1	59,74	2,03	50750	5	0.14	0.01
Engellenmiş Jet-LVh10	35	2,5	1	59,74	2,03	50750	10	0.28	0.01
Engellenmiş Jet-HVh5	35	2,5	1	59,74	2,03	50750	5	0.14	0.08
Engellenmiş Jet-HVh10	35	2,5	1	59,74	2,03	50750	10	0.28	0.08

Tablo 3.2. Serbest Jet’e için Deney Programı

Deney No	SVF	h(cm)	z(cm)	x (cm)	y(cm)
Serbest Jet			3	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	
			4	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	
			6	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	
			8	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	
			10	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	
			12	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	
			4	0	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	4	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	8	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	16	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	24	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	38	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	54	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.

Tablo 3.3. Engellenmiş Jet-LVh5 için Deney Programı

Deney No	SVF	h(cm)	z(cm)	x (cm)	y(cm)
Engellenmiş Jet-LVh5	0,01	5	3	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			4	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			6	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			8	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			10	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			12	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			4	0	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	4	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	8	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	16	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	24	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	38	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	54	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.

Tablo 3.4. Engellenmiş Jet-LVh10 için Deney Programı

-Deney No	SVF	h(cm)	z (cm)	x (cm)	y (cm)
Engellenmiş Jet-LVh10	0.01	10	4	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			6	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			8	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			10	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			12	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			4	0	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	4	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	8	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	16	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	24	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	38	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	54	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.

Tablo 3.5. Engellenmiş Jet-HVh5 için Deney Programı

Deney No	SVF	h(cm)	z(cm)	x (cm)	y (cm)
Engellenmiş Jet-HVh5	0.08	5	3	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			4	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			6	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			8	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			10	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			12	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			4	0	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	4	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	8	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	16	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	24	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	38	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	54	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.

Tablo 3.6. Engellenmiş Jet-HVh10 için Deney Programı

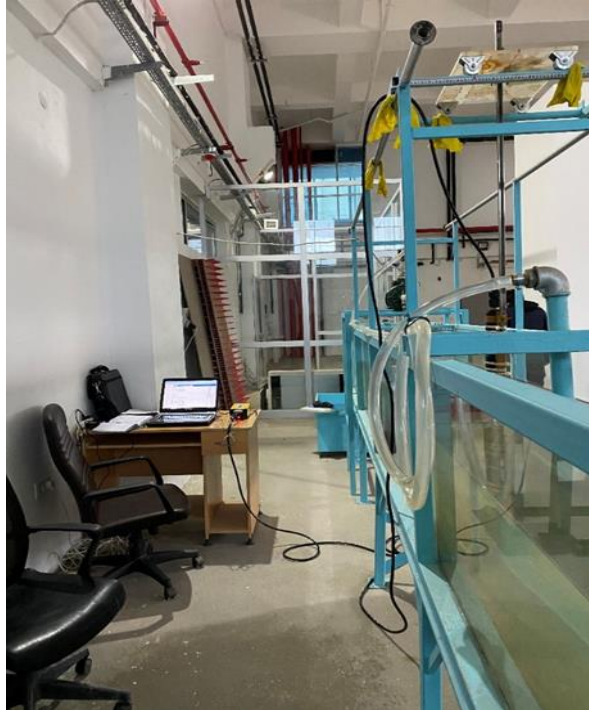
Deney No	SVF	h (cm)	z (cm)	x (cm)	y (cm)
Engellenmiş Jet-HVh10	0.08	10	4	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			6	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			8	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			10	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			12	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 70, 74.	0
			4	0	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	4	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	8	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	16	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	24	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	38	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.
			4	54	0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 17.

3.1.4. Deney Sistemine ait Fotoğraflar

Deney sistemine ait farklı deney koşullar için fotoğraflar; Resim 3.1, Resim 3.2, Resim 3.4, Resim 3.5, Resim3.6, Resim 3.7’de verilmiştir.



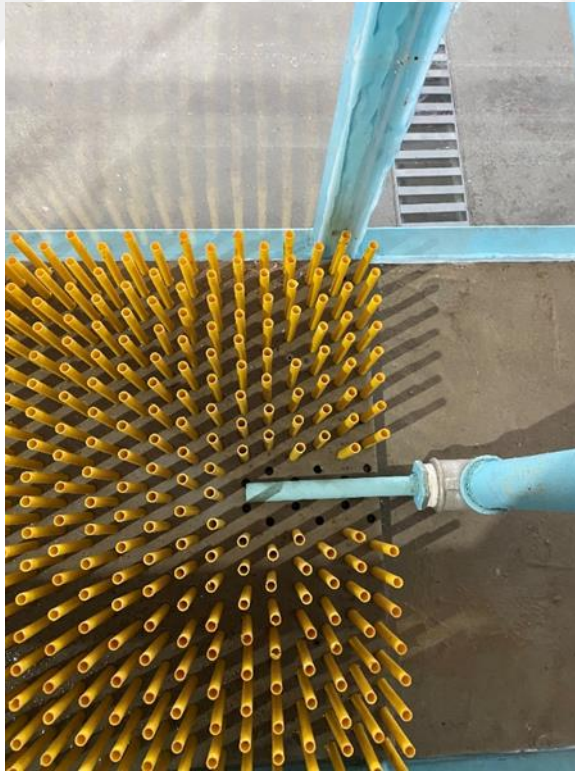
Resim 3.1. Deney sisteminin genel görünüşü



Resim 3.2. Deney sistemi ve bilgisayar bağlantısının genel görünüşü



Resim 3.3. HVh10 için genel görünüm



Resim 3.4. Hvh10 için üstten görünüm



Resim 3.5. LVh5 için üstten görünüm



Resim 3.6. LVh10 için üstten görünüm



Resim 3.7. LVh10 için yandan görünüm

4. BULGULAR

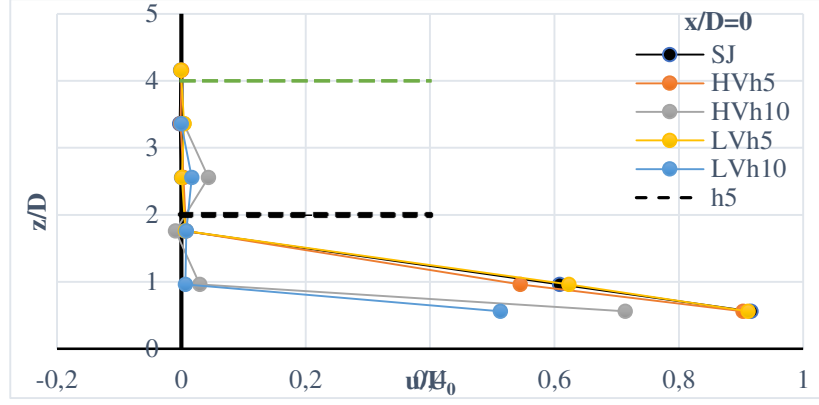
4.1. Hız Dağılımı

Bitki örtüsünün jet akım alanında etkisini incelemek için 5 farklı koşullarda hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bunlar, i) serbest jet akımı, ii) Düşük yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_1=0.01$) ve 5 cm'lik bitki yüksekliği, iii) Düşük yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_1=0.01$) ve 10 cm'lik bitki yüksekliği, iv) Yüksek yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_2=0.08$) ve 5 cm'lik bitki yüksekliği ve v) Yüksek yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_2=0.08$) ve 10 cm'lik bitki yüksekliğidir.

Grafiklerde, SJ batık serbest jet, HVh5 ve HVh10 yüksek yoğunluklu ($\phi=0.08$) olan bitki örtüsü, LVh5 ve LVh10 ise düşük yoğunluklu ($\phi=0.01$) bitki örtüsü deney sonuçlarını göstermektedir. Ayrıca HVh5 ve LVh5 için bitki örtüsünün yüksekliği $h=5\text{cm}$, LVh10 ve HVh10 için bitki örtüsünün yüksekliği $h=10\text{cm}$ 'dir.

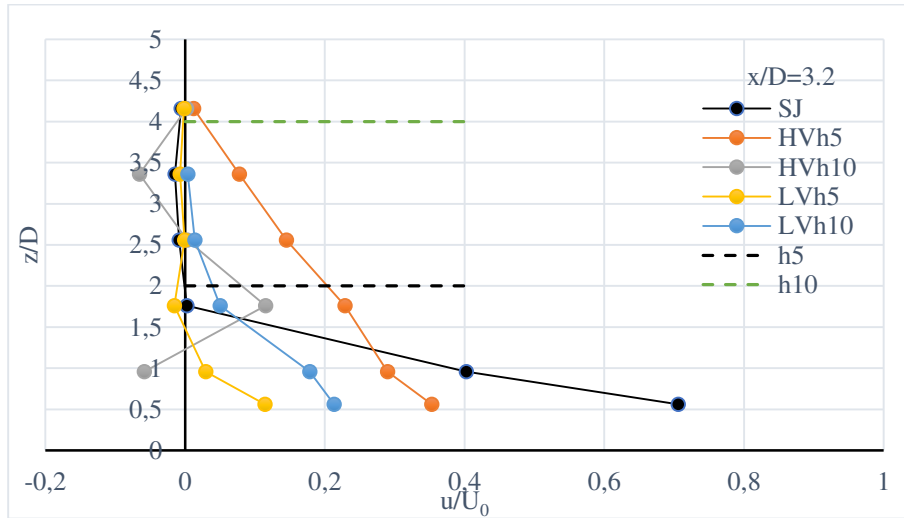
4.1.1. Düşey doğrultusundaki hız dağılımı,

Şekil 4.1'de, $x/D=0$ ve $y/D=0$ noktası için düşey doğrultuda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi jet çıkışında hız yüksek olmakla birlikte düşeyde $z/D=1$ noktasında $h=10\text{ cm}$ 'lik bitki için hız değerleri sıfıra yaklaşırken, serbest jet ve $h=5\text{ cm}$ 'lik bitki yüksekliği için $z/D=1.76$ noktasında sıfıra yaklaşmıştır. Buradan jet çıkışında düşük yükseklikte bitki dağılımının akımı alanını serbest jet koşullarında olduğu gibi davrandığı görülmektedir.



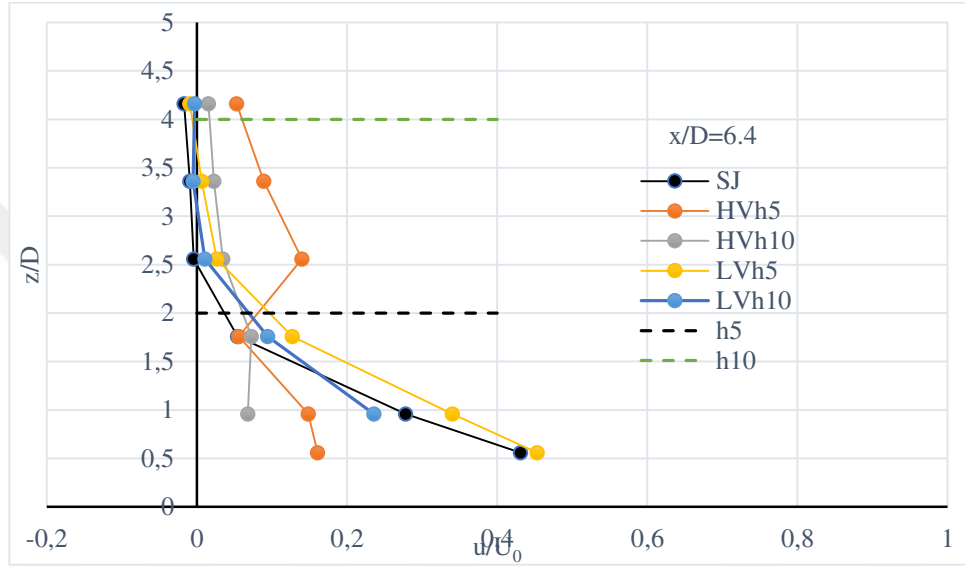
Şekil 4.1. $x/D=0$ ve $y/D=0$ noktasında (jet çıkışı) düşey doğrultuda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı

Şekil 4. 1 $x/D=3.2$ ve $y/D=0$ noktası için düşey doğrultuda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı verilmiştir. Bu noktada, özellikle $z=2D$ düşey mesafeden itibaren HVh5 bitki dağılımı hariç hız değeri sıfıra ulaşmıştır. Bunun sebebi yoğun ve yüksek bitki dağılımında jet akımının enerjisinin bitkiler tarafından sönmelenmesidir. Düşük yoğunluklu dağılımlarda ise jet akımı serbest jete benzer davranış göstermiştir. HVh5 dağılımında ise bitki yüksekliği az olduğu için jet akımının enerjisi tamamen sönmelenmemiş ve tedrici olarak $z=4D$ mesafeye kadar sıfırdan farklı hız değeri görülmüştür. Bu düşeyde, $z\sim 0.5D$ seviyesinde maksimum hız meydana gelmiş ve değeri, $0.66U_0$ mertebesinde olmuştur.



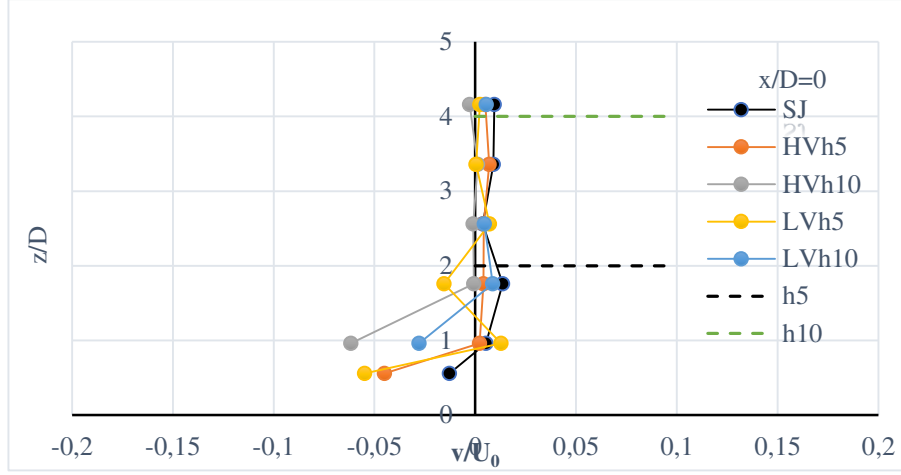
Şekil 4.2. $x/D=3.2$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.3 gösterildiği gibi $x/D=6.4$ ve $y/D=0$ noktası için düşey doğrultuda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı verilmiştir. Bu noktada elde edilen sonuçlarda HVh5 bitki dağılımı hariç $z=2.5D$ noktasına kadar sıfırdan farklı hız değerleri görülmüştür. HVh5 bitki dağılımında bitki alanı içinde jetin enerjisinin bir kısmı sönmümlenirken bitki alanının üzerine saçılan kısımda yüksek hız meydana gelmiştir. Bu düşeyde, $z\sim 0.5D$ seviyesinde maksimum hız meydana gelmiş ve değeri, $0.42U_0$ mertebesinde olmuştur.



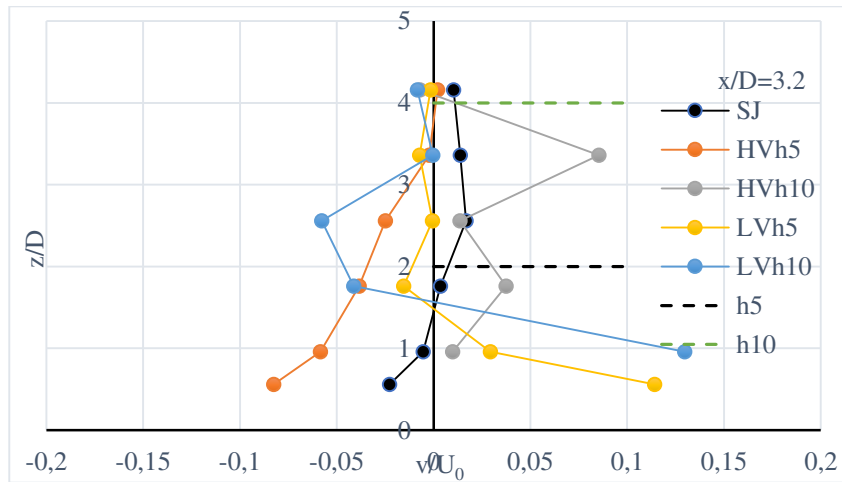
Şekil 4.3. $x/D=6.4$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.4 $x/D=0$ ve $y/D=0$ noktasında (jet çıkışı) düşey doğrultuda boyutsuz v/U_0 hız dağılımı göstermektedir. Düşey doğrultuda boyutsuz v/U_0 hız dağılımında yanal hız $z/D=2.5$ noktasına kadar negatif değer alırken bu noktadan itibaren pozitif değer almıştır. Serbest batık jet ve engellenmiş batık jet için benzer durum gözlenmiştir. Bu düşeyde, $z\sim 0.5D$ seviyesinde maksimum hız meydana gelmiş ve değeri, $0.06U_0$ mertebesinde olmuştur. HVh10 bitki dağılımı için $z=0.5D$ noktasında ölçüm yapılamadığından muhtemel maksimum değer belirlenememiştir.



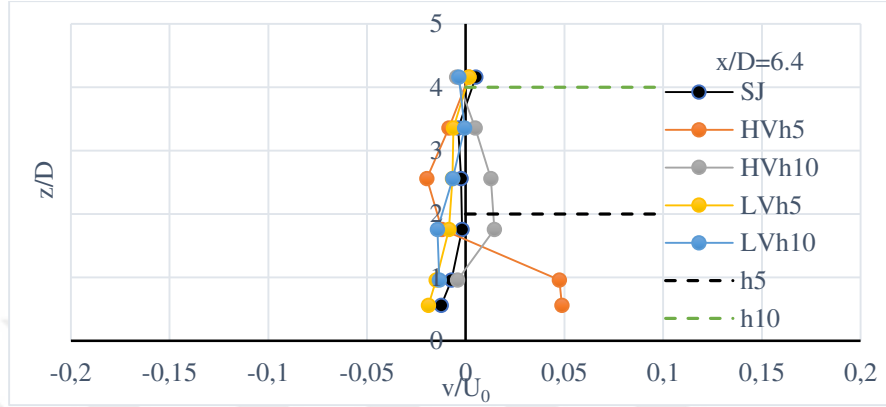
Şekil 4.4. $x/D=0$ ve $y/D=0$ noktasında (jet çıkışı) düşey doğrultuda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.5’de $x/D=3.2$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz v/U_0 hız dağılımı verilmiştir. Bu noktada serbest batık jet için $z=1.5D$ noktasına kadar negatif hız söz konusu iken bu noktadan itibaren pozitif hız meydana gelmiştir. Düşük yoğunluklu bitki dağılımında $z=2D$ noktasına kadar pozitif yanal hız görülürken bu noktadan itibaren negatif yanal hız görülmüştür. HVh5 bitki dağılımı için ise $z=3.5D$ noktasına kadar negatif hız görülmüş ve bu noktadan itibaren hız sıfıra yakın değerler almıştır. HVh10 bitki dağılımında ise hız düşey boyunca pozitif olmuştur. Bu düşeyde, $z \sim 3.3D$ seviyesinde maksimum hız meydana gelmiş ve değeri, $0.13U_0$ mertebesinde olmuştur.



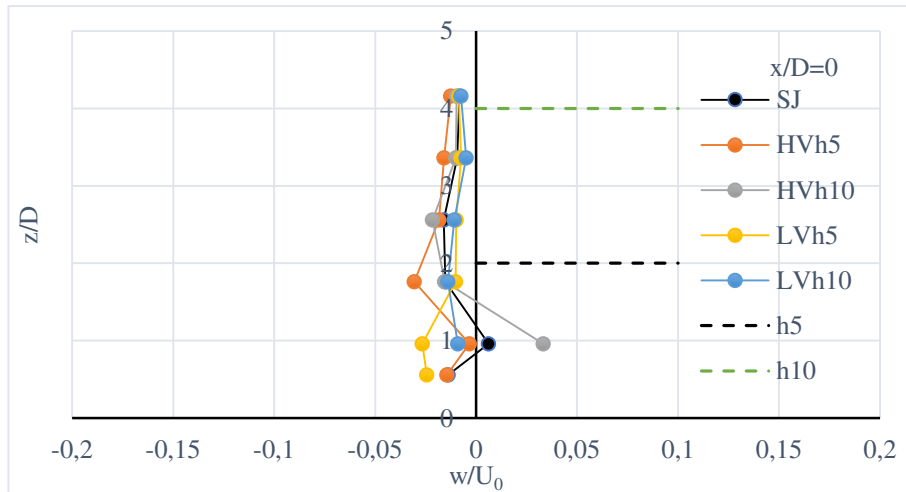
Şekil 4.5. $x/D=3.2$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.6 $x/D=6.4$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz v/U_0 hız dağılımı verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda sıfıra yakın hız değerleri gözlenmiş. Sadece HVh5 bitki dağılımı için $z \sim 0.5D$ seviyesinde maksimum hız meydana gelmiş ve değeri, $0.05U_0$ mertebesinde olmuştur.



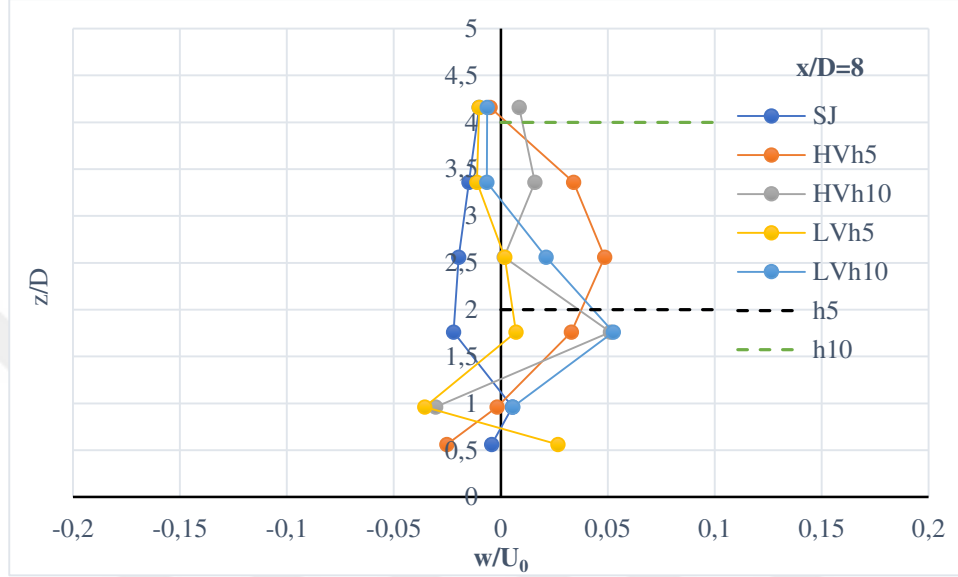
Şekil 4.6. $x/D=6.4$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.7 $x/D=0$ ve $y/D=0$ noktasında (jet çıkışı) düşey doğrultuda boyutsuz w/U_0 hız dağılımı göstermektedir. Buna göre, batık serbest jet ve engellenmiş jet akımı durumları için w/U_0 değerinin sıfırın etrafında salındığı görülmüştür.



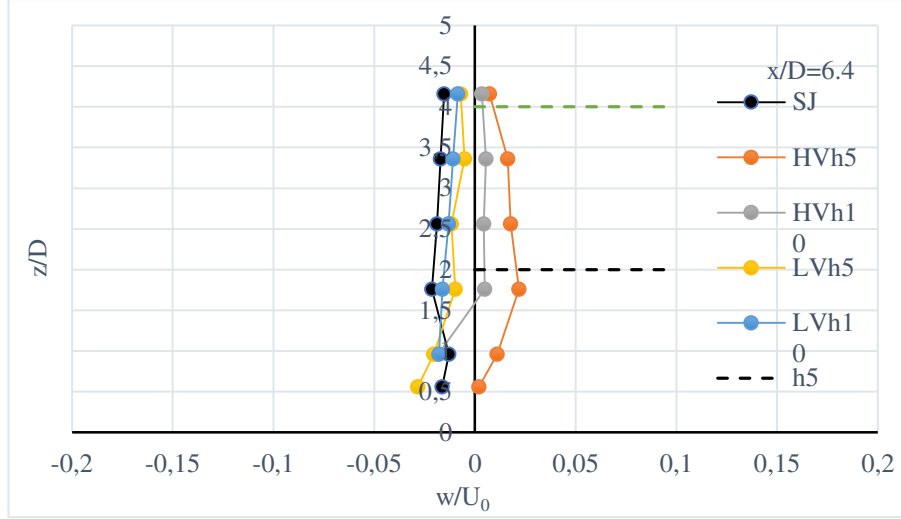
Şekil 4.7. $x/D=0$ ve $y/D=0$ noktasında (jet çıkışı) düşey doğrultuda boyutsuz (w/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.8’de $x/D=3.2$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz w/U_0 hız dağılımı verilmiştir. Buna göre serbest jet akımında $z=D$ notasından itibaren, $0.03U_0$ mertebesinde negatif hız değerleri görülürken engellenmiş jet akımı için $z=D$ noktasından itibaren pozitif hız değerleri görülmüş ve mertebesi maksimum $0.05U_0$ seviyesinde olmuştur.



Şekil 4.8. $x/D=3.2$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz (w/U_0) hız dağılımı

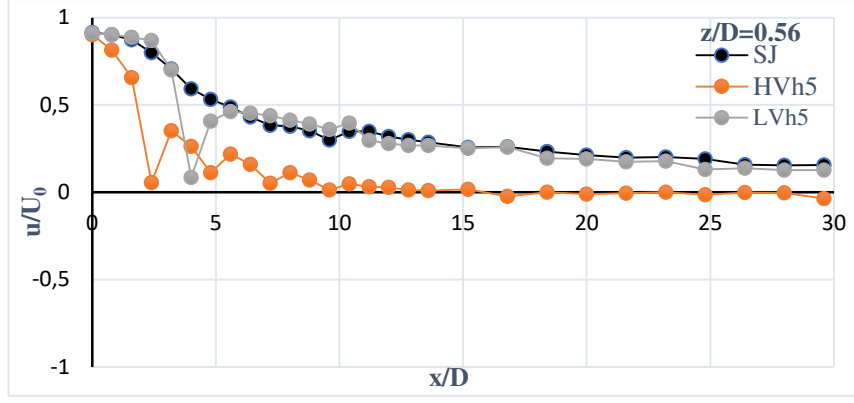
Şekil 4.9 $x/D=6.4$, $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz w/U_0 hız dağılımını göstermektedir. Şekilden görüldüğü üzere düşük yoğunluklu bitki dağılımlarında LVh5 ve LVh10 hız davranışı serbest batık jet ile benzer olmuştur. Bununla birlikte, yüksek yoğunluklu bitki dağılımlarında HVh5 ve HVh10 tam tersi bir davranış gerçekleşmiş ve pozitif hız dağılımı görülmüştür. Hız değerleri en çok $0.03U_0$ mertebesinde olmuştur.



Şekil 4.9. $x/D=6.4$ ve $y/D=0$ noktasında düşey doğrultuda boyutsuz (w/U_0) hız dağılımı

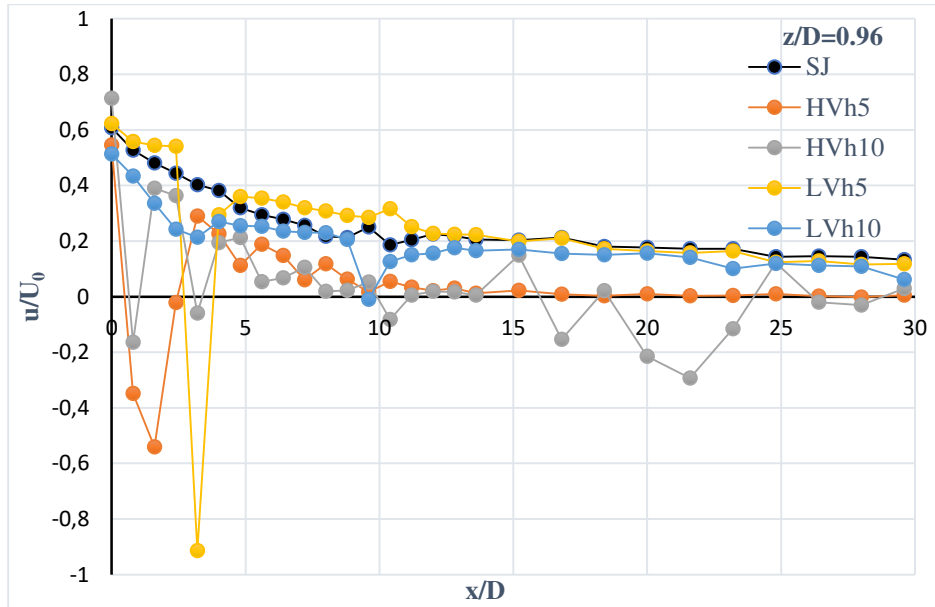
4.1.2. Akım Doğrultusundaki Hız Grafikleri

Akım doğrultusunda hız ölçümleri, 6 farklı z/D seviyesi için akım doğrultusunda $x/D=30$ noktasına kadar gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.10'da $z/D=0.56$, $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı gösterilmiştir. Bu seviyede 10cm'lik bitki yüksekliği bitki dağılımlarında ADV probunun bitki içine girmesi mümkün olmadığından ölçüm yapılamamıştır. Batık serbest jet ve düşük yoğunluklu bitki dağılımı benzer bir davranış göstermiştir. Bu koşulda, $x=4D$ ve $x=5D$ noktasında meydana gelen düşük değerlerin tekil bitki sebebi ile olduğu düşünülmektedir. Yüksek yoğunluklu bitki dağılımında ise jetin enerjisi bitki örtüsünün içinde sönümlenmiştir. Bu derinlikte HVh5 bitki dağılımı için hız $x=10D$ mesafede sönümlenirken serbest batık jet ve LVh5 için $x=30D$ mesafede maksimum hız $0.2U_0$ mertebesinde meydana gelmiştir.



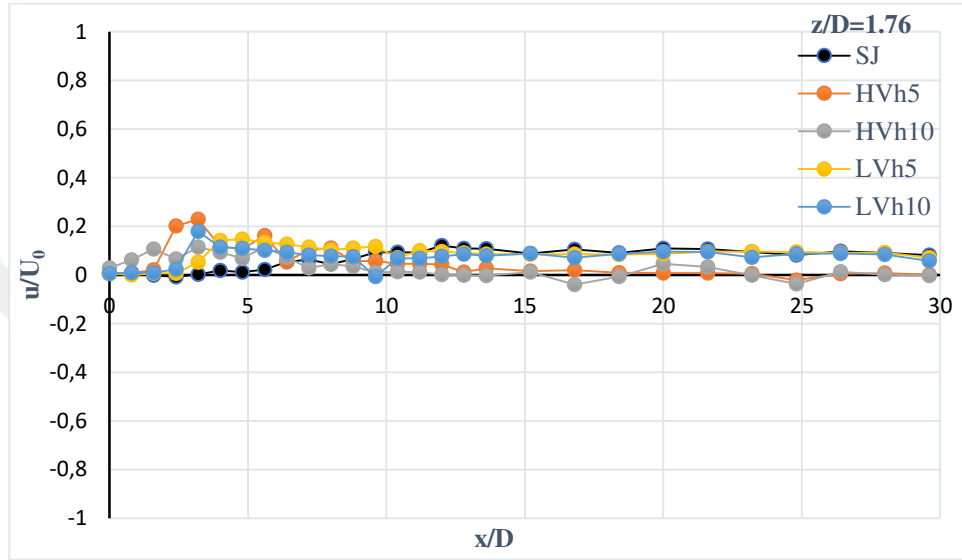
Şekil 4.10. $z/D=0.56$ ve $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.11’de $z/D=0.96$, $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere LVh5, LVh10 ve serbest batık jete ait hız dağılımları benzer eğilim göstermiştir. LVh5’e ait hız dağılımında $x/D=3$ noktasında görülen negatif hızın tekil bitkinin mansabında meydana gelen art-iz bölgesindeki vorteks sebebiyle meydana geldiği düşünülmektedir. Aynı şekilde HVh5 ve HVh10 bitki dağılımlarında da benzer sebepten negatif hızların görüldüğü düşünülmektedir. Bu derinlikte HVh5 bitki dağılımı için hız $x=12D$ mesafede sönümlenirken serbest batık jet ve LVh5 için $x=30D$ mesafede maksimum hız $0.2U_0$ mertebesinde meydana gelmiştir.

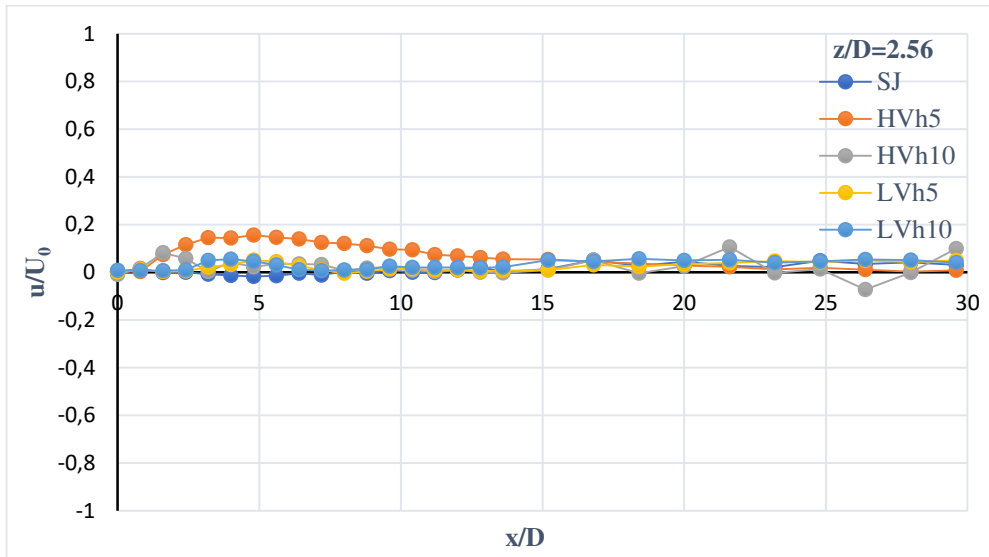


Şekil 4.11. $z/D=0.96$ ve $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı

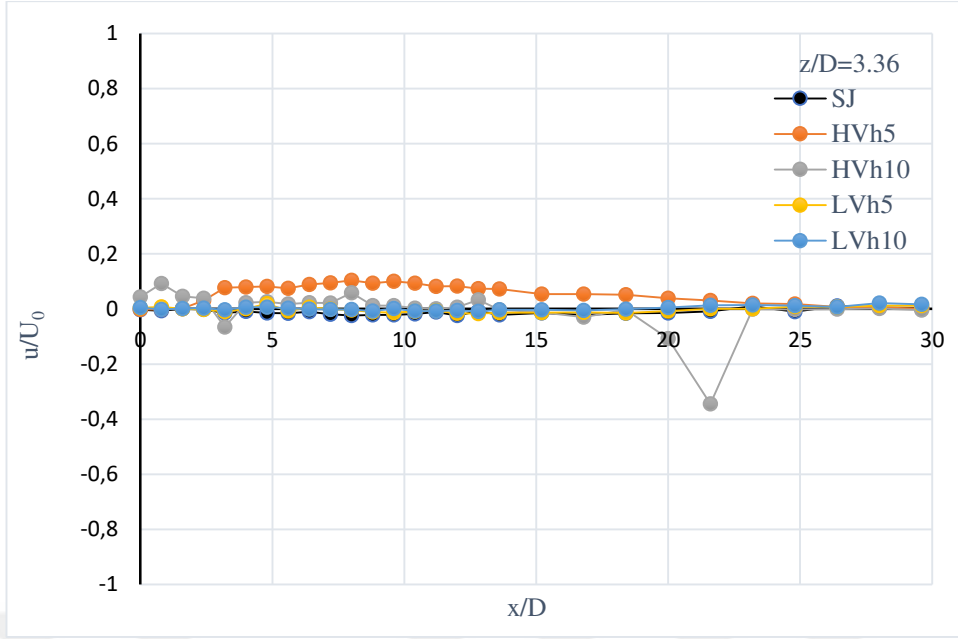
Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de $y/D=0$ noktasında sırası ile $z/D=1.76$, $z/D=2.56$, $z/D=3.36$ ve $z/D=4.16$ derinliklerinde akım doğrultusunda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı verilmiştir. Meydaba gelen hız dağılımı yatay bir eğilim gösterirken hız değerleri en çok $0.2U_0$ mertebesinde olmuştur. Batık jet akımının bu mertebelerde özelliğini büyük ölçüde yitirdiği görülmektedir.



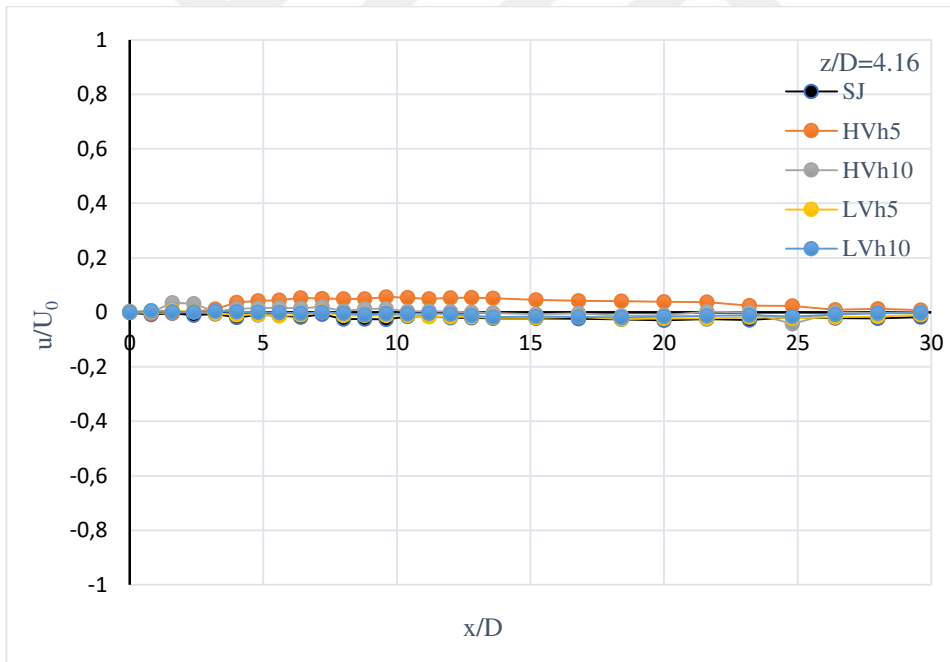
Şekil 4.12. $z/D=1.76$ ve $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı



Şekil 4.13. $z/D=2.56$ ve $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı



Şekil 4.14. $z/D=3.36$ ve $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı

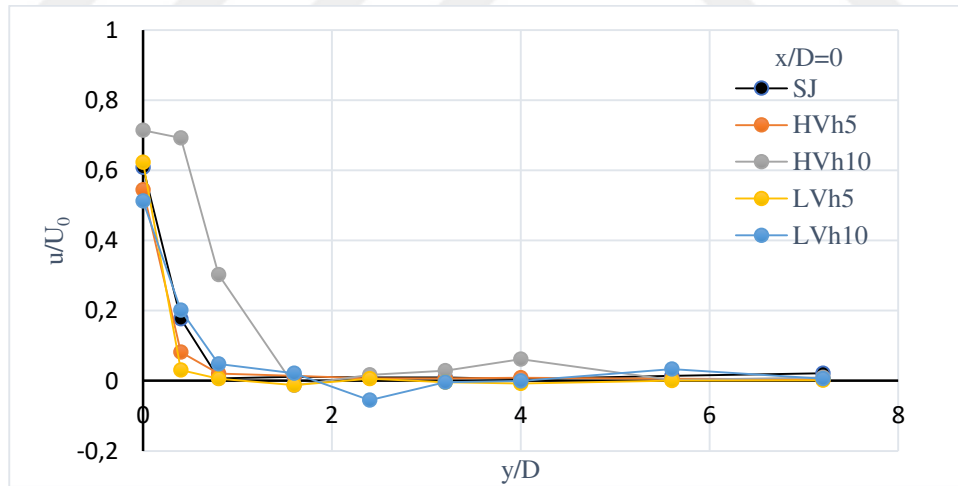


Şekil 4.15. $z/D=4.16$ ve $y/D=0$ noktasında akım doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı

4.1.3 Yanal Doğrultudaki Hız Grafikleri

Yanal doğrultudaki hız ölçümleri, 6 farklı x/D noktasında ($x/D=0$, $x/D=3.2$, $x/D=6.4$, $x/D=9.6$, $x/D=15.2$ ve $x/D=21.6$) ve $z/D=0.96$ derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Kanal cidarı $y=12.6D$ mesafede bulunmaktadır. Yanal hız ölçümleri, ADV ve ADV'nin bağlandığı hareketli arabanın izin verdiği mesafe olan $y=7.2D$ mesafeye kadar gerçekleştirilmiştir.

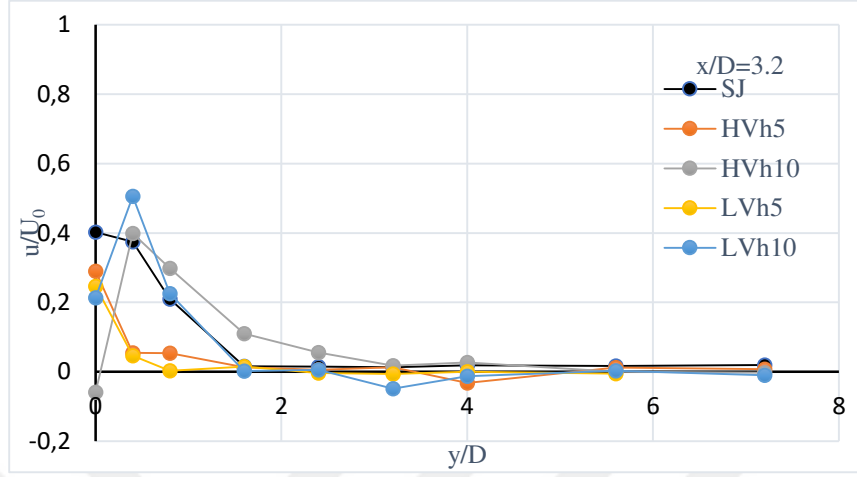
Şekil 4.16'da $x/D=0$ noktasında yanal doğrultuda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı gösterilmiştir. HVh10 bitki dağılımı haricinde hız dağılımları batık serbest jet ile benzer davranış sergilemiştir. Buna karşın, HVh10 bitki dağılımı için $y=1.5D$ mesafesine kadar yüksek hız değerleri ($0.7U_0$ mertebesinde) görülmüştür. Bunun sebebinin yüksek yoğunluk ve yüksek bitki seviyesi sebebiyle jetin bitki örtüsünün içine nüfuz edemeyip bitki örtüsünden hemen önce yüksek hızlara ulaşması olduğu düşünülmektedir. Maksimum hız jet çıkışına yakın bölgede HVh10 için $0.7U_0$ mertebesinde olurken diğer durumlar için en çok $0.2U_0$ mertebesinde gerçekleşmiştir. Hız dağılımı, $y=1.6D$ noktasından itibaren sıfıra yakın değerler almıştır.



Şekil 4.16. $x/D=0$ ve $z/D=0.96$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı

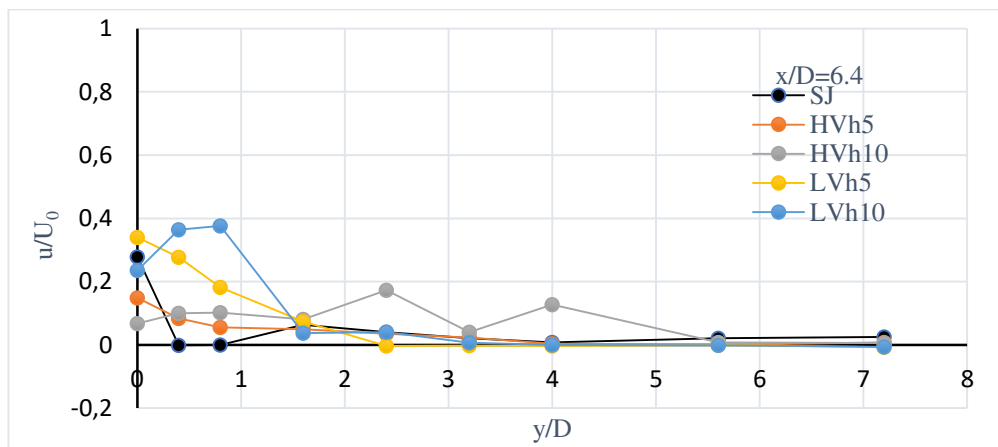
Şekil 4.17'de $x/D=3.2$ noktasında yanal doğrultuda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı gösterilmiştir. Yüksek bitki dağılımında ($h=10$ cm) hız değerleri batık serbest jet ile benzer olurken düşük yükseklikteki bitki dağılımında ($h=5$ cm) batık serbest jetten daha düşük hız değeri belirlenmiştir. Maksimum hız jet çıkışına yakın bölgede LVh10 için $0.5U_0$

mertebesinde olurken diğer durumlar için daha düşük değerler almıştır. Hız dağılımı, $y=1.6D$ noktasından itibaren sıfıra yakın değerler almıştır.



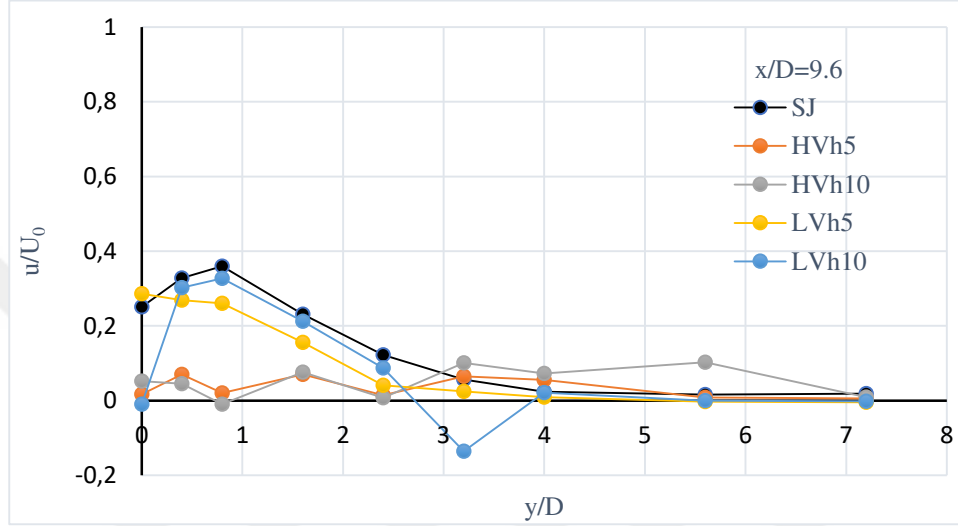
Şekil 4.17. $x/D=3.2$ ve $z/D=0.96$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.18’de $x/D=6.4$ noktasında yanal doğrultuda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı gösterilmiştir. Jet çıkışına yakın bölgede yüksek hız değerleri görülmüş ve maksimum LVh10 için $0.4U_0$ mertebesinde olurken diğer durumlar için daha düşük değerler almıştır. Hız değerleri, $y=1.6D$ noktasından itibaren sıfıra yakın değerler almıştır.



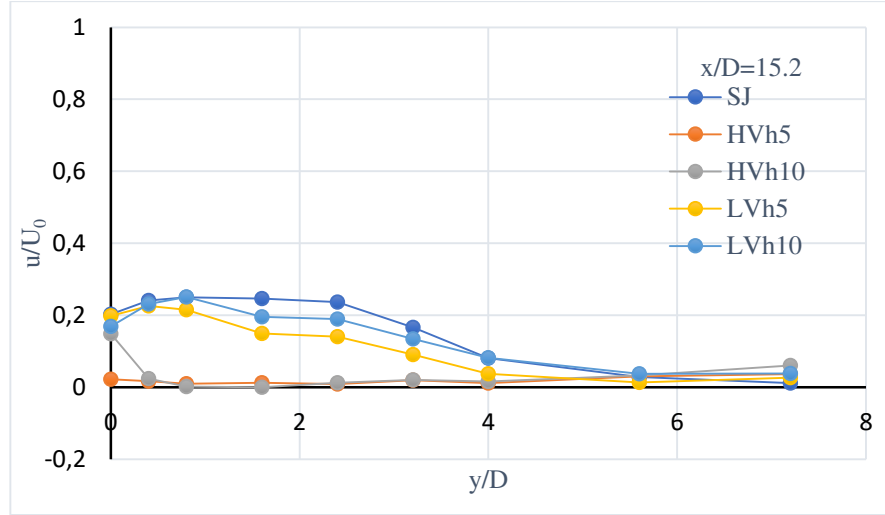
Şekil 4.18. $x/D=6.4$ ve $z/D=0.96$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.19’de $x/D=9.6$ noktasında yanal doğrultuda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı gösterilmiştir. Jet çıkışına yakın bölgede yüksek hız değerleri görülmüş ve maksimum LVh10, LVh5 ve serbest batık jet için $0.3-0.4U_0$ mertebesinde olurken yüksek yoğunluklu bitki dağılımları için $0.1U_0$ mertebesinde olmuştur. Hız değerleri, $y=7D$ noktasından itibaren sıfıra yakın değerler almıştır.



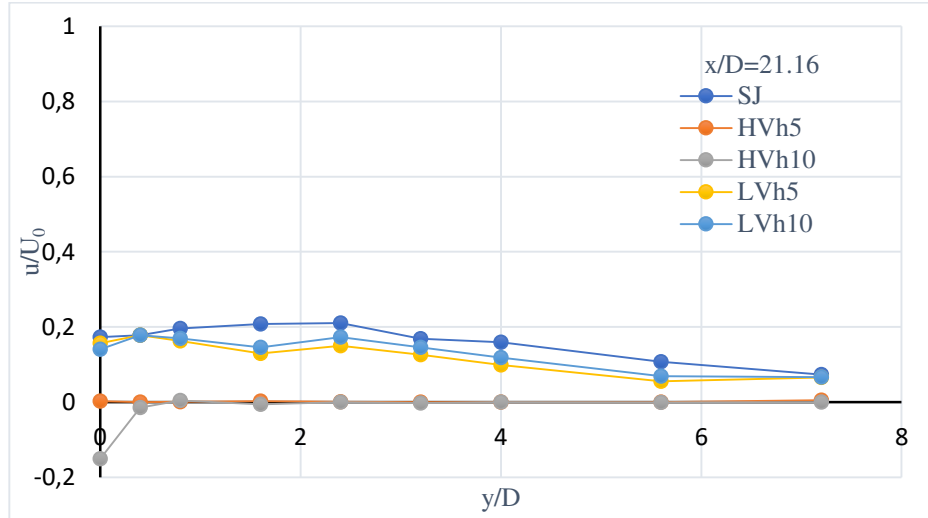
Şekil 4.19. $x/D=9.6$ ve $z/D=0.96$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.20’de $x/D=15.2$ noktasında yanal doğrultuda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı gösterilmiştir. Jet çıkışına yakın bölgede yüksek hız değerleri görülmüş ve düşük yoğunluklu bitki dağılımı ve batık serbest jet için $0.25U_0$ mertebesinde olurken yüksek yoğunluklu bitki dağılımları için sıfır civarında meydana gelmiştir. Düşük yoğunluklu bitki dağılımı için hız, $y=7D$ noktasından itibaren sıfıra yakın değerler almıştır.



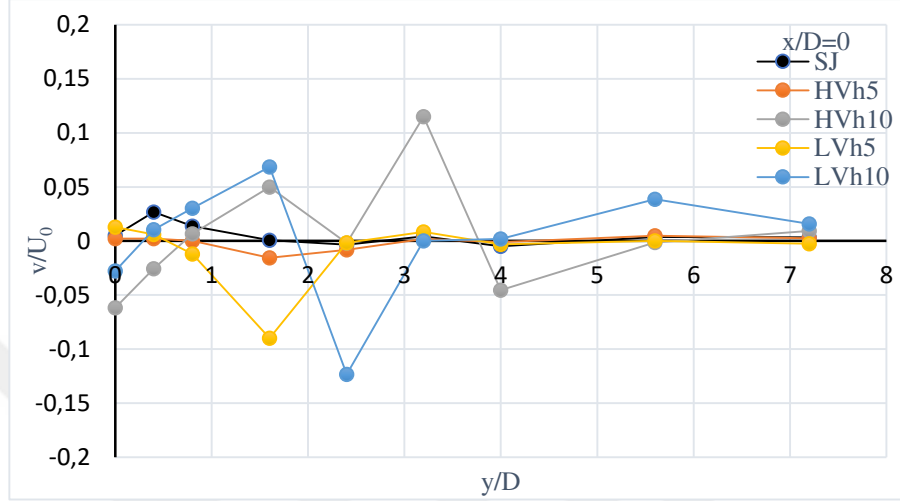
Şekil 4.20. $x/D=15.2$ ve $z/D=0.96$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.21’de $x/D=21.6$ noktasında yanal doğrultuda boyutsuz u/U_0 hız dağılımı verilmiştir. Jet çıkışına yakın bölgede yüksek hız değerleri görülmüş ve düşük yoğunluklu bitki dağılımı ve batık serbest jet için $0.2U_0$ mertebesinde olurken yüksek yoğunluklu bitki dağılımları için sıfır civarında meydana gelmiştir.



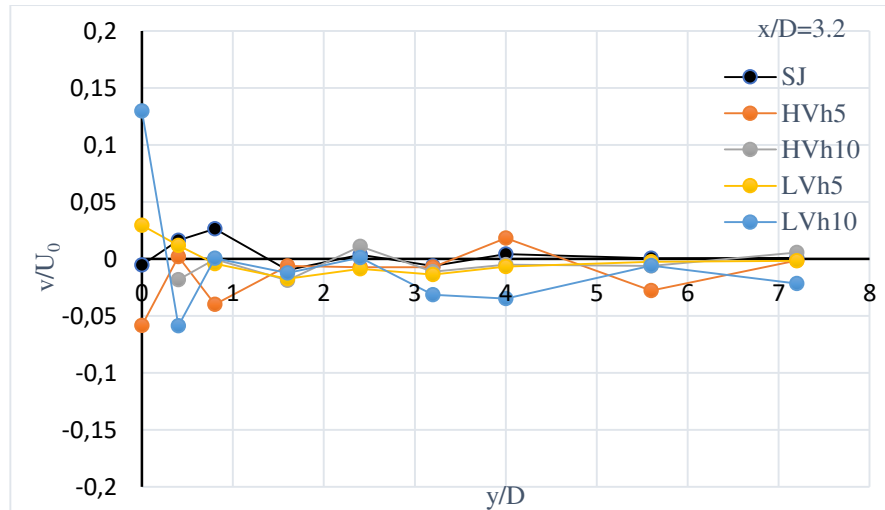
Şekil 4.21. $x/D=21.6$ ve $z/D=0.96$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (u/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.22’de $x/D=0$ noktasında yanal doğrultuda boyutsuz v/U_0 hız dağılımı gösterilmiştir. Tekil bitkilerin etkisi ile yanal hızların pozitif ve negatif değerler aldığı görülmektedir. En yüksek yanal hız değeri $v=0.12U_0$ mertebesinde olmuştur. $y=7.2D$ mesafesinde yanal hız değeri sıfıra yakın değerler almıştır.



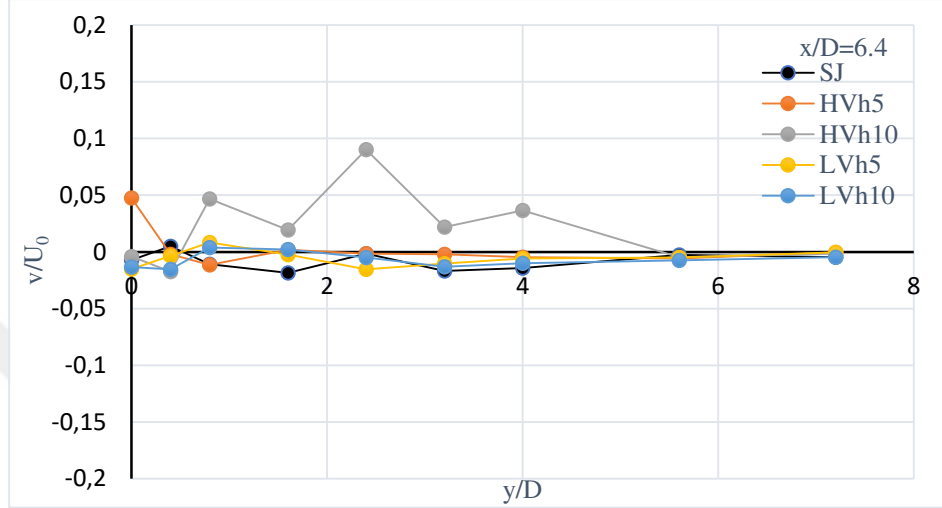
Şekil 4.22. $z/D=0.96$ ve $x/D=0$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.23’de $x/D=3.2$ noktasında yanal doğrultuda boyutsuz v/U_0 hız dağılımı gösterilmiştir. Yanal hız, bu mesafede sıfıra yakın değerler almıştır.



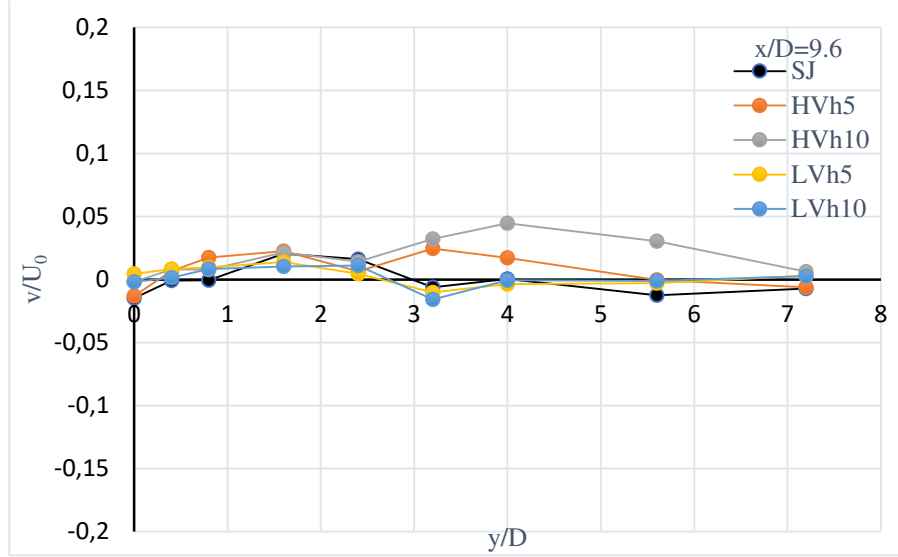
Şekil 4.23. $z/D=0.96$ ve $x/D=3.2$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.24’de $x/D=6.4$ noktasında yanal doğrultuda boyutsuz v/U_0 hız dağılımı gösterilmiştir. LVh10 bitki dağılımı hariç yanal hız sıfıra yakın değerler almıştır. HVh10 bitki dağılımı için yanal hız değeri bu mesafede pozitif değerler alarak en çok $v=0.1U_0$ mertebesinde meydana gelmiş ve $y=5.6D$ noktasından itibaren sıfır olmuştur.



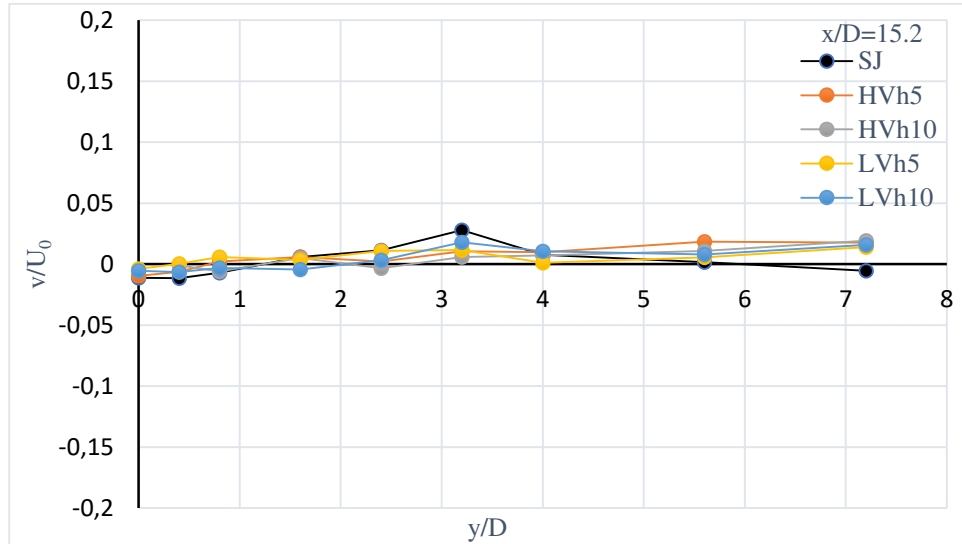
Şekil 4.24. $z/D=0.96$ ve $x/D=6.4$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.25’de $x/D=9.6$ noktasında yanal doğrultuda boyutsuz v/U_0 hız dağılımı gösterilmiştir. Jet çıkışından itibaren serbest ve engellenmiş jet akımı sıfıra yakın değerler almıştır. Anacak yüksek yoğunluklu bitki dağılımında $y=3.1D$ noktasından itibaren sıfırdan farklı değerler ortaya çıkarken $y=5.6D-7.2D$ mesafelerde yanal hız sıfıra düşmüştür. Düşük yoğunluklu bitki dağılımı ve serbest jet için yanal eksen boyunca sıfıra yakın yanal hız değerleri görülmüştür.

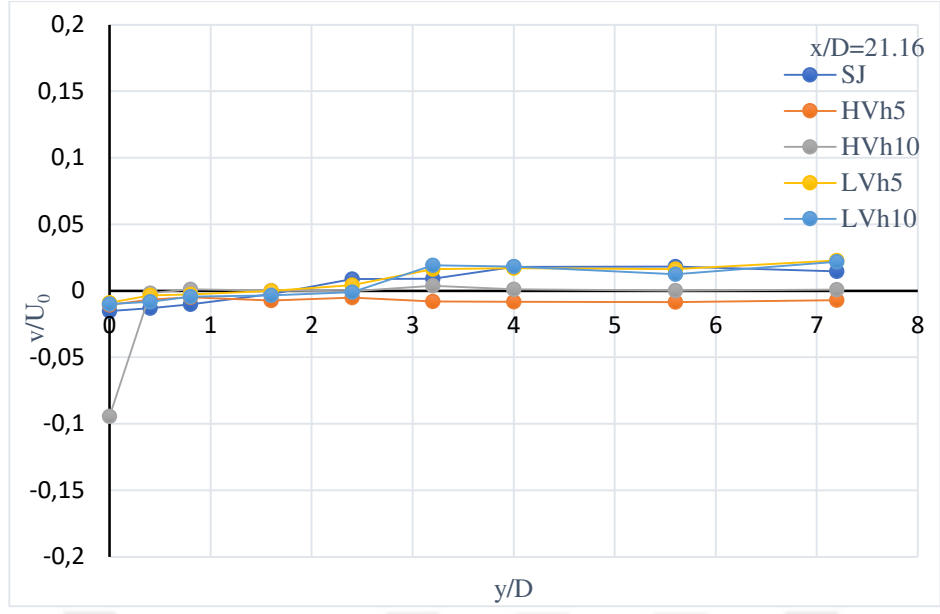


Şekil 4.25. $z/D=0.96$ ve $x/D=9.6$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı

Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de sırası ile $x/D=15.2$ ve $x/D=21.6$ noktalarında yanal doğrultuda boyutsuz v/U_0 hız dağılımı gösterilmiştir. Özellikle jet çıkışına yakın bölgede sıfır civarında yanal hız değerleri söz konusu iken $y=3.2D$ mesafeden itibaren yanal hız artmış ancak en çok $v=0.02U_0$ mertebesine ulaşabilmiştir.



Şekil 4.26. $z/D=0.96$ ve $x/D= 15.2$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı



Şekil 4.27. $z/D=0.96$ ve $x/D= 21.16$ noktasında yanal doğrultusunda boyutsuz (v/U_0) hız dağılımı

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu araştırmada, rijit batık bitki örtüsü bölgesinde bulunan batık jet akımının davranışı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar serbest jet akım alanı ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada bitki örtüsü, 1 cm çapında ve 5 ile 10 cm yüksekliğinde plegsiglas çubuklar kullanılarak benzeştirilmiştir. İki farklı bitki örtüsü yoğunluğu dikkate alınmıştır. Bunlar, düşük yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_1=0.01$ - $N_1=172$ IP/m²) ve yüksek yoğunluklu bitki örtüsüdür ($\phi_2=0.08$ - $N_2=1142$ IP/m²). Deneylerde hız ölçümleri 3 boyutlu akustik doppler hız ölçer (Acoustic Doppler Velocimeter-ADV) ve 3 boyutlu aşağı bakan probe (3D Down-looking probe) ile yapılmıştır.

Bitki örtüsünün jet akım alanında etkisini incelemek için 5 farklı koşullarda hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bunlar, i) serbest jet akımı, ii) Düşük yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_1=0.01$) ve 5 cm'lik bitki yüksekliği, iii) Düşük yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_1=0.01$) ve 10 cm'lik bitki yüksekliği, iv) Yüksek yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_2=0.08$) ve 5 cm'lik bitki yüksekliği ve v) Yüksek yoğunluklu bitki örtüsü ($\phi_2=0.08$) ve 10 cm'lik bitki yüksekliğidir.

Kanala deşarj edilen dairesel sabit debiyle bir jet kanalın tabanına ve çubukların 15 cm içine doğru yerleşmiştir. Deneylerde serbest jet akımı ve engellenmiş akım zaman ortalama hızları düşey doğrultuda, yanal doğrultuda ve akım doğrultuda ölçüm yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Batık jet akımı kısa bitki örtüsü içinde serbest jete benzer şekilde hareket etmiştir.
2. Akım alanına ait yanal (v) ve düşey (w) hızlar için serbest batık jet ve engellenmiş batık jet koşullarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. v ve w hızları en çok $0.05U_0$ değerini almıştır.
3. Jet ekseninde x doğrultusu boyunca jetin dağılımı incelendiğinde, uzun bitki örtüsü (h=10 cm) için batık jet akımı yaklaşık 10D mesafede sönümlenirken kısa bitki örtüsü (h=5 cm) içinde serbest jete benzer davranış göstermiştir.

4. Bitki örtüsünün üst kısmına yaklaştıkça batık jet akımında hız değerlerinin oldukça düşmüştür. Bu durumda hız değerleri, kısa bitki örtüsü ($h=5$ cm) için yaklaşık $u=0.2U_0$ iken uzun bitki örtüsü ($h=10$ cm) için sıfıra yakın değerler almıştır.

5. Yanal hız dağılımları incelendiğinde özellikle uzun bitki örtüsü ($h=10$ cm)'nün jet çıkışına yakın bölgede diğer durumlara nazaran daha yüksek hızlara sebep olduğu belirlenmiştir.

6. Yanal doğrultuda batık jet akımının yaklaşık jet çıkış çapının dört katı mesafede etkisini kaybettiği belirlenmiştir.

7. Yüksek bitki yoğunlukta olan deneylerde akım hızına daha fazla etki göstermiştir. Akım doğrultuda hız profili serbest jet akım koşullara ve düşük yoğunlukta olan bitki örtüsü deneylere göre daha düşük gösterilmiştir.

5.2. Öneriler

1. Bu çalışmada rijit batık bitki kullanılmıştır. Deneylerin, esnek batık bitki örtüsü için gerçekleştirilmesi doğadaki koşulların anlaşılması açısından daha faydalı olacaktır.

2. Bu çalışma rijit bir tabanda yapılmıştır. Deneylerin hareketli tabanda yapılması ile jet akımı-bitki etkileşiminin katı madde hareketi üzerindeki etkisinin belirlenmesi söz konusu olmaktadır.

3. Deneyler, aynı anda hem rijit hem de esnek bitkileri içerecek şekilde tasarlanabilir. Böylece farklı bitki koşulları için akım-bitki etkileşimi belirlenebilir.

4. Bu çalışmada bitki örtüsü için yapay elemanlar kullanılmıştır. Deneyler, doğal bitki örtüsü içerecek şekilde tekrarlanabilir.

5. Bu çalışmada sabit jet debisi, sabit jet çapı ve sabit su derinliği dikkate alınmıştır. Dikkate alınan sabit değerlerin değiştirilerek akım alanı üzerindeki etkisi belirlenmesinde fayda vardır.

6. Bu çalışmada kanal tabanı düz olarak belirlenmiştir. Farklı taban eğimleri için deneylerin tekrarlanmasında fayda vardır.

7. Yapılan deneysel çalışmalar farklı simülasyon programları (FLUENT, FLOW 3D vb...) kullanılarak benzeştirilmeli ve deneysel olarak elde edilemeyen akım değerleri belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

- Ackerman, Josef ve A. Okubo. (1993). “Reduced Mixing in a Marine Macrophyte Canopy”. *Functional Ecology* 7. d oi: 10.2307/2390209.
- Ardıçlıoğlu, M, Özdm, S., Gemici, E. 2010. Akarsularda Hız Dağılımının Modellenmesi ve ADV Ölçümleri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 3 (1): 53-58,
- Ben Meftah, M., De Serio, F., Malcangio, D., Mossa, M., Felice Petrillo, A. (2015). Experimental study of a vertical jet in a vegetated crossflow. *Journal of Environmental Management* 164 -19-31
- Davies, P. O. A. L., Fisher, M. J. ve Barrat, M. J. (1962), “The Characteristics of the Turbulence in the Mixing Region of a Round Jet”, *Journal of Fluid Mechanics*, 15:337-365.
- De Serio, F., Ben Meftah, M., Mossa, M., Termini, D. (2018). Experimental investigation on dispersion mechanisms in rigid and flexible vegetated beds. *Advances in Water Resources* 120-98-113
- Dubi, A. M. (1995). “Damping of water waves by submerged vegetation: a case study on laminaria hyperborea.” PhD thesis, Univ. of Trondheim, Norway
- Fischer, H.B., Koh, R.J., Imberger, J., Brooks, N.H. (1979). *Mixing in inland and coastal waters*, New York.
- Fric, T.F., Roshko, A. (1994). Vortical structure in the wake of a transversal jet. *J. Fluid Mech.* 279, 1e47.
- Goring, D.G.; Nikora, V.I. (2002). Despiking Acoustic Doppler Velocimeter Data. *J. Hydraul. Eng.* 128, 117–126.
- Grizzle, Raymond E., Frederick T. Short, Carter R. Newell, Heidi Hoven, ve Linda Kindblom. (1996). “Hydrodynamically Induced Synchronous Waving of Seagrasses: ‘Monami’ and Its Possible Effects on Larval Mussel Settlement”. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 206(1):165-77. doi: 10.1016/S0022-0981(96)02616-0.
- <https://www.sontek.com/argonaut-adv>

- Hui, Er-qing, Xing-e Hu, Chun-bo Jiang, Fang-kai Ma, ve Zhen-duo Zhu. (2010). "A Study of Drag Coefficient Related with Vegetation Based on the Flume Experiment". *Journal of Hydrodynamics*, Ser. B 22(3):329-37. doi: 10.1016/S1001-6058(09)60062-7.
- Ja"rvel" J., Effect of submerged flexible vegetation on flow structure and resistance. *Journal of Hydrology* 307 (2005) 233–241
- Larsen, T., Frier, J.-O., and Vestergaard, K. (1990). "Discharge-stage relations in vegetated Danish streams." *Int. Conf. on River Flood Hydraulics*, W. R. White, ed., Wiley, Chichester, 187–195.
- Launder, B. E. ve Rodi, W. (1981). *The Turbulent Wall Jet*, Progress in Aerospace Science, 19:81-128.
- Lovas, S. M. (2000). "Hydrophysical conditions in kelp forests and the effect on wave damping and dune eroison." PhD thesis, Univ. of Trondheim, Norway.
- McNaughton, K. J. ve Sinclair, C. G. (1966), "Submerged Jets in Short Cylindirical Flow Vessels.", *Journal of Fluid Mech.*, 14:367-375.
- Mossa, M. (2004). Behavior of Nonbuoyant Jets in a Wave Environment. *Journal of Hydraulic Engineering-asce* - J Hydraul Eng-Asce, 130. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2004\)130:7\(704\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2004)130:7(704))
- Mossa, M., Ben Meftah, M., De Serio, F., Nepf, H. M. (2017). How vegetation in flows modifies the turbulent mixing and spreading of jets. *Scientific reports*.
- Mungal, M.G., Smith, S.H. (1998) Mixing, structure and scaling of the jet in crossflow. *Journal of Fluid Mechanics*, 83-122
- Murato, A., T. Fukuhara, and M. Sato, Turbulence structure in vegetated open channel flows, *J. Hydrolo Hydratel. Eng.*, 2(1), 47-61, 1984.
- Nepf, H., and Vivoni, E. R. (1999). "Turbulence structure in depthlimited vegetated flow: Transition between emergent and submerged regimes." *Proc., 28th IAHR Congress Conf., IAHR, Graz, Austria*.
- Nepf, Heidi, ve Enrique Vivoni. 2000. "Flow structure in depth-limited, vegetated flow". *Journal of Geophysical Research* 105:28547-58. doi: 10.1029/2000JC900145.

- Pathak, M., Dewan, A.A., Dass, A.K., 2006. Computational prediction of a slightly heated turbulent rectangular jet discharged into a narrow channel crossflow using two different turbulence models. *Int. J. Heat. Mass Transf.* 49, 3914e3928.
- Piquet, J. (2001), *Turbulent Flows—Models and Physics*, 2nd Printing, Springer, New York.
- Pourquie, M. J. B. M. (1994), Large Eddy Simulation of a Turbulent Jet, PhD Thesis, TU, Delft.
- SonTek. ADV Field Technical Manual. In SonTek Technical Documentation; SonTek/YSI Inc.: San Diego, CA, USA, 2001.
- Sufen, Teng, Minquan Feng, Chen Kailin, Wei-Jie Wang, ve Bangmin Zheng. 2018. “Effect of a Lateral Jet on the Turbulent Flow Characteristics of an Open Channel Flow with Rigid Vegetation”. *Water* 10:1204. doi: 10.3390/w10091204.
- Tachie, M. F. (2000), Open Channel Turbulent Boundary Layers and Wall Jets on Rough Surfaces, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon.
- Tsujiimoto, T., Shimizu, Y., Kitamura, T., and Okada, T. (1992). “Turbulent open-channel flow over bed covered by rigid vegetation.” *J. Hydroscl. Hydr. Eng.*, 10(2), 13–25.
- Van Dyke, M. (1982), *“An Album of Fluid Motion”*, Stanford, California, The Parabolic Press, 1st Edition.
- Vargas, R. R. (2001), The Effects of Varying Levels of Turbulence in a Submerged Turbulent Jet, MSc Thesis, The Cooper Union Albert Nerken School of Engineering.
- Wahl, T.L. Analyzing ADV data using WinADV. In Proceedings of the Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management, Minneapolis, MN, USA, 30 July–2 August 2000.
- White, B.L.; Nepf, H.M. Shear instability and coherent structures in shallow flow adjacent to a porous layer. *J. Fluid Mech.* 2007, 593, 1–32.
- Wilson, C. A. M. E., Stoesser, T., Bates, P.D., Pinzen, A.B., Open Channel Flow through Different Forms of Submerged Flexible Vegetation. *J. Hydraul. Eng.*, 2003, 129(11): 847-853

- WU Fu-Sheng. Characteristics of flow resistance in open channels with non-submerged rigid vegetation[J]. Journal of Hydrodynamics, 2008, 20(2): 239-245.
- Xiao, Y., Huai, W., Gao, M., Yang, Z., Ji, B., Evaluating the hydrodynamics of a round jet in a vegetated crossflow through large eddy simulation. Environ Fluid Mech (2019) 19:181–201
- Xiao, Y., Huai, W., Gao, M., Yang, Z., Ji, B., Large eddy simulation of a vertical buoyant jet in a vegetated channel. International Journal of Heat and Fluid Flow 70(2018)114-124
- Yang, W.C., Hwang, R.R., 2001, “Vertical buoyant jets in a linearly stratified ambient cross-stream”, Environ. Fluid Mech. 1, 235-256.
- ZHANG Jian-tao, SU Xiao-hui. Numerical model for flow motion with vegetation[J]. Journal of Hydrodynamics, 2008, 20(2): 172-178.

T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLİMSEL ETİK BEYANI

“JET AKIMININ RİJİT BİTKİ BÖLGESİNDEKİ DAVRANIŞI” başlıklı Yüksek Lisans tezimdeki bütün bilgileri etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiz atıf yaptığımı bildiririm. İfade ettiklerimin aksi ortaya çıktığında ise her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Mohammad Bashir QANBARİ

... / ... / ...