



ÜLKEMİZE UYGUN HİDROLOJİK, SU KALİTESİ VE EKOLOJİK MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ



HİDRODİNAMİK MODÜL

Dr. Kağan CEBE
Prof.Dr. Lale BALAS



HİDRODİNAMİK MODÜL

- **Tek Boyutlu Hidrodinamik Model (1-B)**
- **İki Boyutlu Hidrodinamik Model (2-B)**
- **Üç Boyutlu Hidrodinamik Model (3-B)**



HİDRODİNAMİK MODÜL

- Akıntı hızları
- Debi
- Su düzeyi
- Tuzluluk
- Sıcaklık
- Yoğunluk



1-B HİDRODİNAMİK MODÜL

HESAP YÖNTEMİ:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2 / A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f + gAh_L = 0$$

$$S_f = \frac{n^2 V |V|}{k^2 R^{4/3}}$$

Süreklilik denklemi

Momentum denklemi

Enerji eğimi



1-B HİDRODİNAMİK MODÜL

- Zamana göre değişen ilerleme yönündeki hız bileşeni (u), debi değişimleri ve su düzeyi profili
- 1-B momentum ve süreklilik denklemleri direkt zaman adımlı sayısal yöntem ile çözümlenmektedir.
- Akarsular



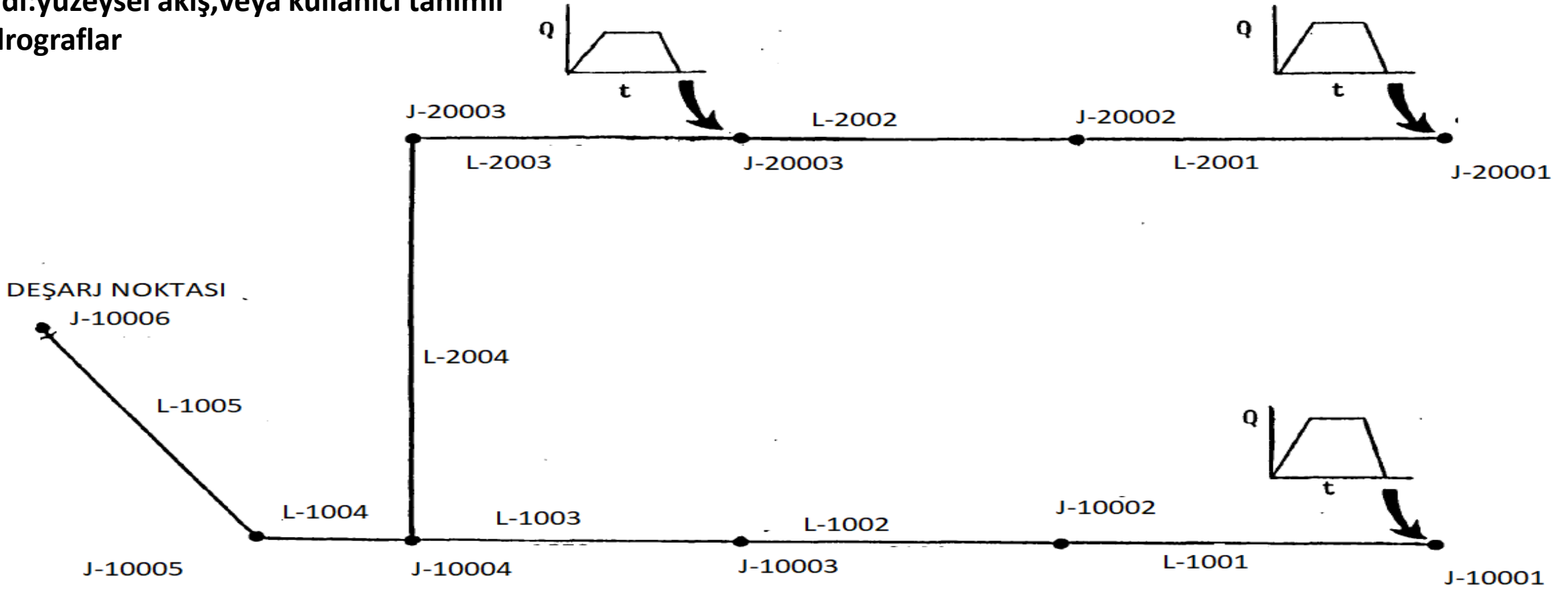
1-B HİDRODİNAMİK MODÜL

- **Açık kanal ve kapalı borulu sistemleri**
- **Birleşim noktaları ve bağlantı hatları**
- **Dinamik taşkın öteleme yoluyla, ana hat ve tali hatlar**
- **Depo/rezervuar, savak, orifis, menfez, köprü, pompa ile su transfer işlemleri**



1-B HİDRODİNAMİK MODÜL

Girdi: yüzeysel akış, veya kullanıcı tanımlı hidrograflar





- **Linear olmayan geriye kabarma profilleri**
- **Akış ters çevrilmeleri**
- **Taşan hacim**
- **Çıkışlar: Pompalar, orifisler veya savaklar ile karakterize edilemeyen özel yük-debi ilişkileri çıkışlar ile modellemektedir.**
- **Bir çıkış aynı zamanda akışı sadece bir yöne sınırlayan bir kapağa da sahip olabilir. Depolama ünitelerine bağlı çıkışlar her türlü akış yönlendirmesi altında etkindir.**
- **Kullanıcı tanımlı bir anahtar eğrisi, bir çıkışın deşarj debisi ile yük farkı arasındaki ilişkiyi belirler.**





1-B HİDRODİNAMİK MODÜL

Bağlantı Hatları:

- Açık kanal kesitlerine sahip olabilir: trapez, dikdörtgen, üçgen, doğal vb.
- Kapalı şebeke kesitlerine sahip olabilir: dairesel, kare, vb.
- İki birleşim noktası arasında yer alır.



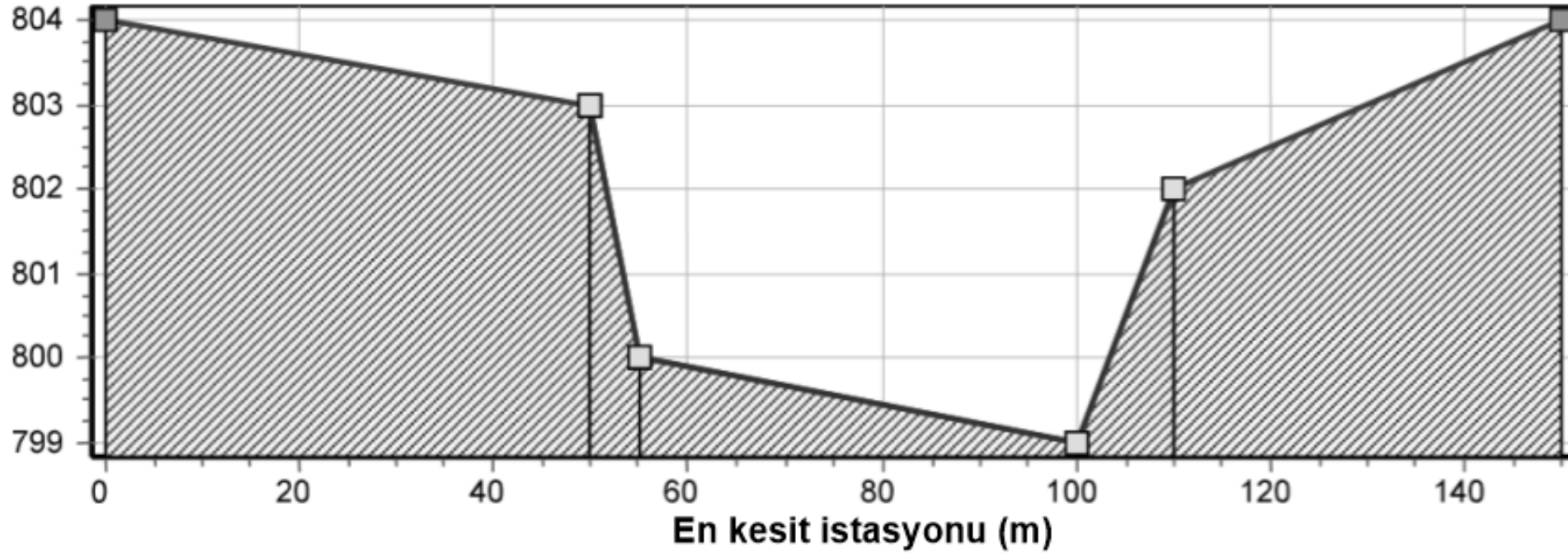
Bağlantı Hatları:

Kanal	Parametre	Şekil	Kanal	Parametre	Şekil
Dairesel	Tam yükseklik		Dirkdörtgen	Tam yükseklik, Genişlik	
Dolgulu Dairesel	Tam yükseklik, Dolgulu derinlik		Üçgen	Tam yükseklik, Üst genişlik	
Parabolik	Tam yükseklik, Üst genişlik		Düzensiz Doğal Kanal	Transekt Koordinaatlar	
Trapez	Tam yükseklik, Taban genişliği, Yan eğimler				

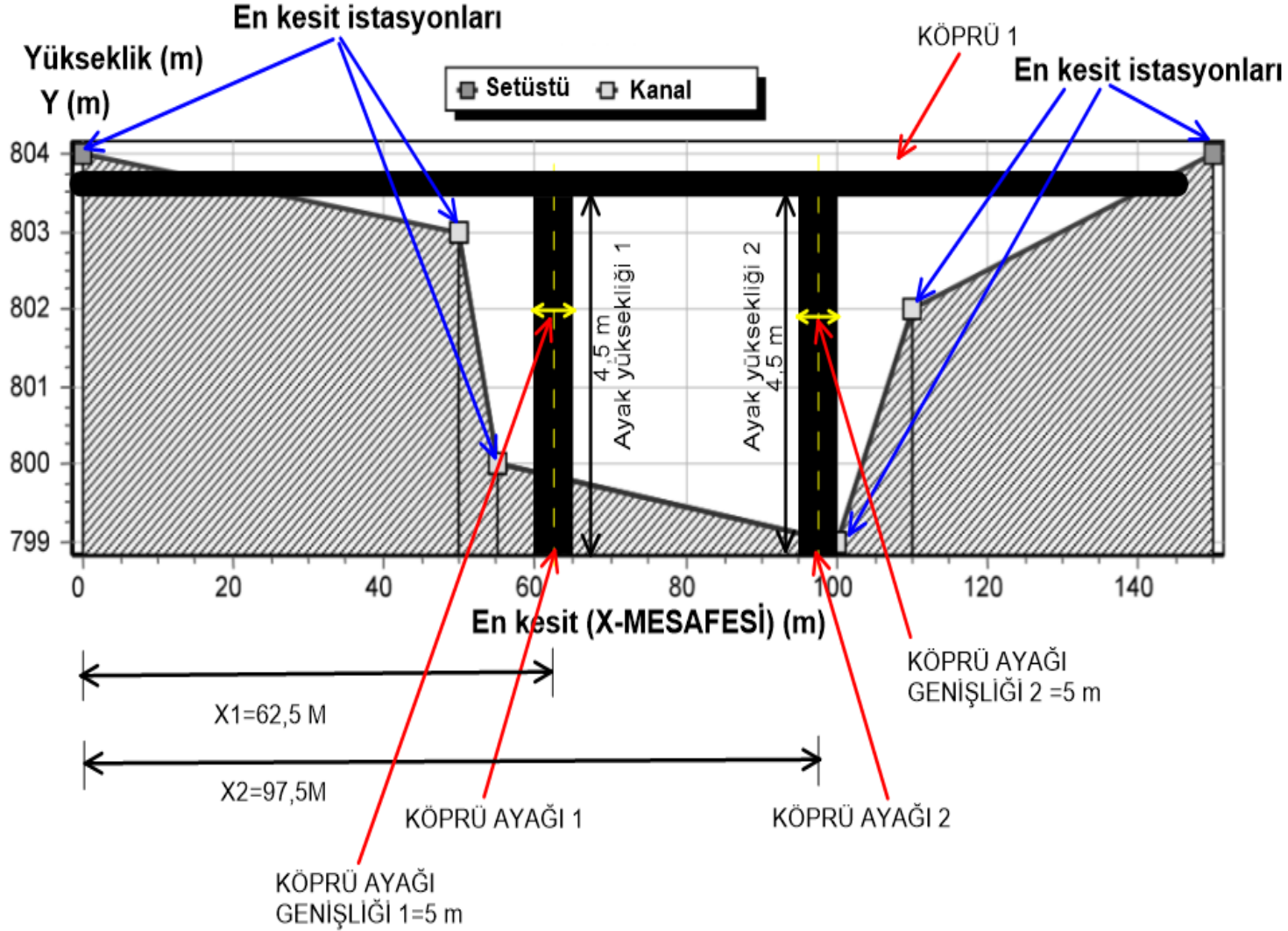


Yükseklik (m)

■ Setüstü □ Kanal

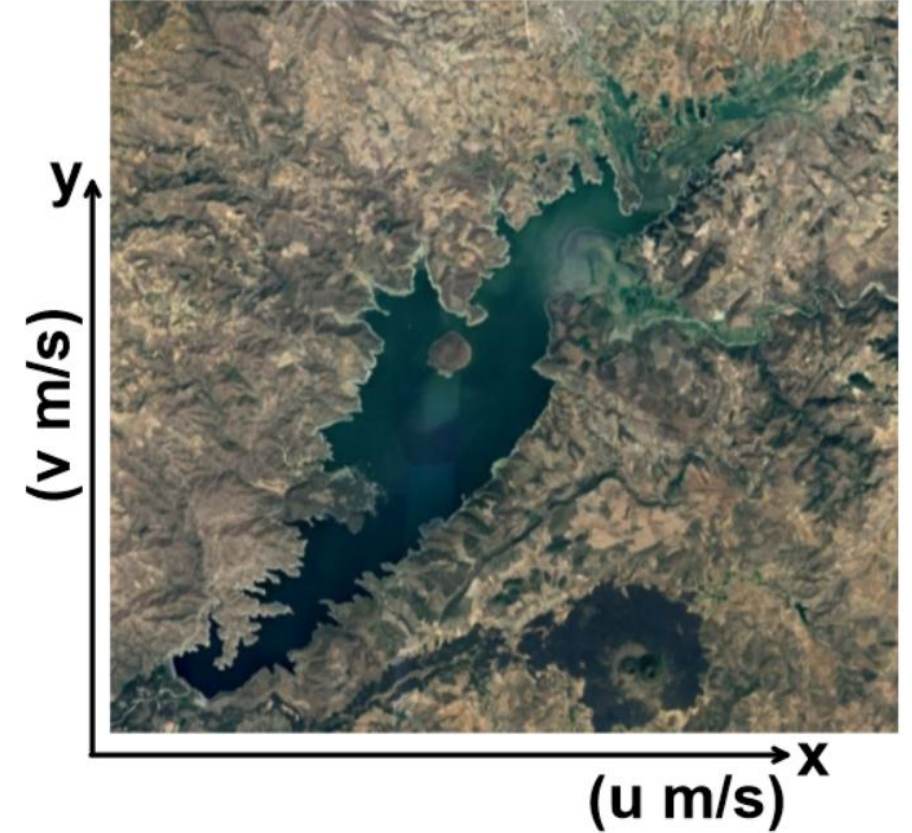


Manning Pürüzlülük katsayısı



2-B HİDRODİNAMİK MODÜL

- Zamana göre değişen yatay düzlemde ilerleme yönündeki ve ona dik olan yöndeki hız bileşenlerini (u ve v) ve su düzeyi değişimini (η) hesaplamaktadır.
- Derinlik boyunca ortalaması alınmış 2-B momentum ve süreklilik denklemleri dolaylı zaman adımlı (implicit) sayısal yöntem ile çözümlenmektedir.
- Eni 150 m'den geniş olan akarsular ve derinliği 15 m'den az olan kapalı su alanları için uygulanmaları uygundur.





Derinlik boyunca ortalaması alınmış 2-D hareket denklemleri

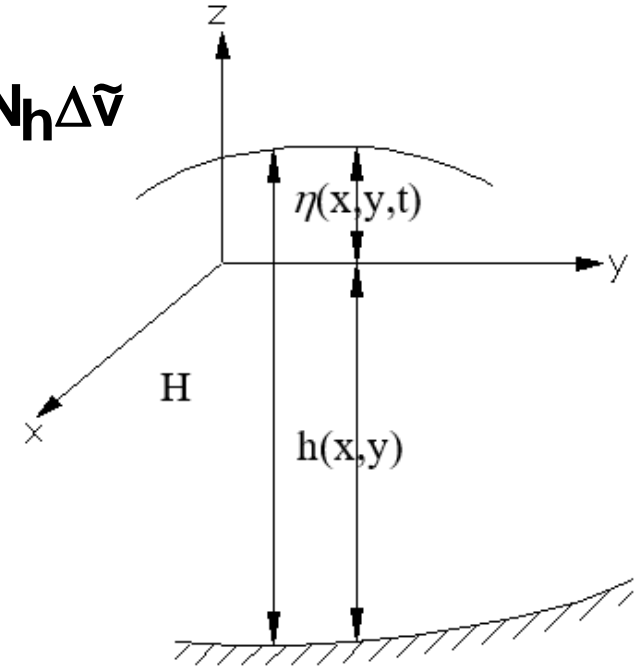
$$\rho_0 \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - f \bar{v} \right) = - \frac{\partial p_a}{\partial x} - g \rho_0 \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_x^s}{H} - \frac{\tau_x^b}{H} + \rho_0 N_h \Delta \bar{u}$$

$$\rho_0 \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + f \bar{u} \right) = - \frac{\partial p_a}{\partial y} - g \rho_0 \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_y^s}{H} - \frac{\tau_y^b}{H} + \rho_0 N_h \Delta \bar{v}$$

$$\bar{u} = \frac{1}{H} \int_{-h}^{\eta} u \, dz$$

$$\bar{v} = \frac{1}{H} \int_{-h}^{\eta} v \, dz$$

Burada $H=h+\eta$ toplam su derinliğidir.





Su yüzeyinde bu gerilmelerin büyüklüğü rüzgar gerilmelerine eşittir.

$$\tau_x^S = C_D \rho_a |W| W_x \quad \tau_y^S = C_D \rho_a |W| W_y$$

Burada C_D rüzgar sürüklenme katsayısı, ρ_a hava yoğunluğu ve W rüzgar hızı (deniz seviyesinden 10 m yukarıda)

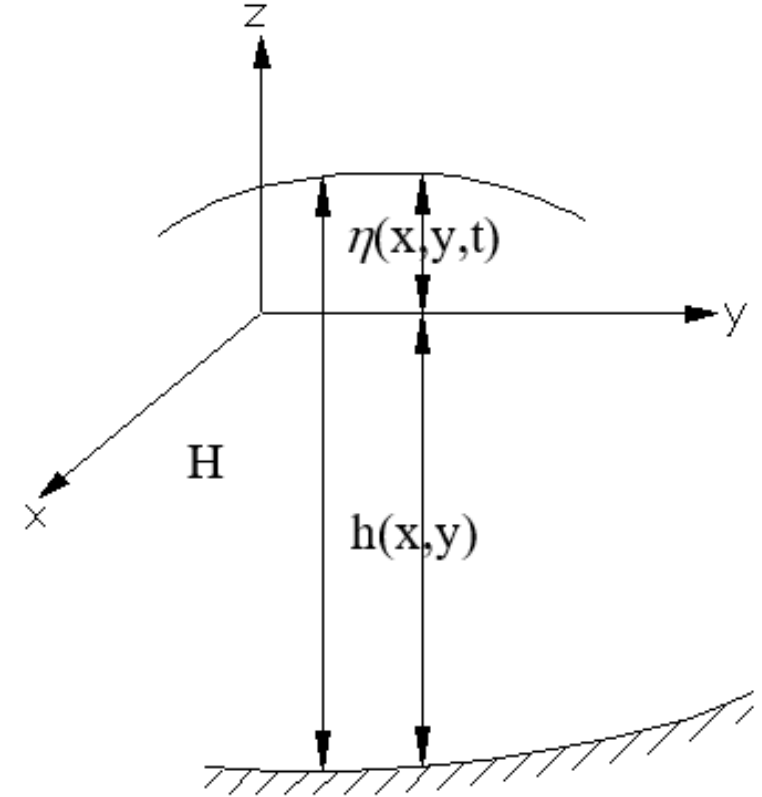
$$|W| = \left(W_x^2 + W_y^2 \right)^{1/2}$$

Gelgit yüksekliği ve gelgit periyodu



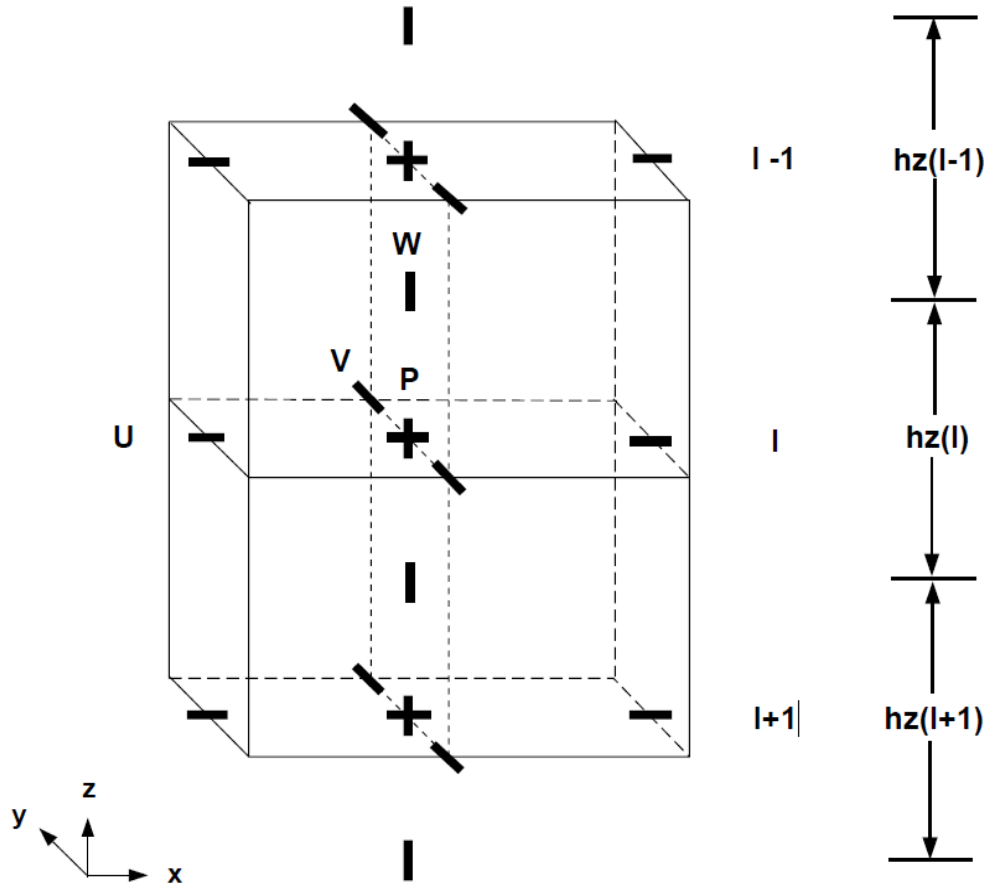
3-B HİDRODİNAMİK MODÜL

- Zamana göre değişen, yatay ve düşeydeki hız bileşenlerini (u , v ve w), sıcaklık(T) ve tuzluluk(S) dağılımını, ve su düzeyi değişimini (η) hesaplamaktadır.
- 3-B momentum ve süreklilik denklemleri dolaylı zaman adımlı (implicit) sayısal yöntem ile çözümlenmektedir.
- Tüm su alanlarına uyarlanabilmekle birlikte, derinliği 5 m'den fazla olan su alanları için uygulanmaları önerilmektedir.



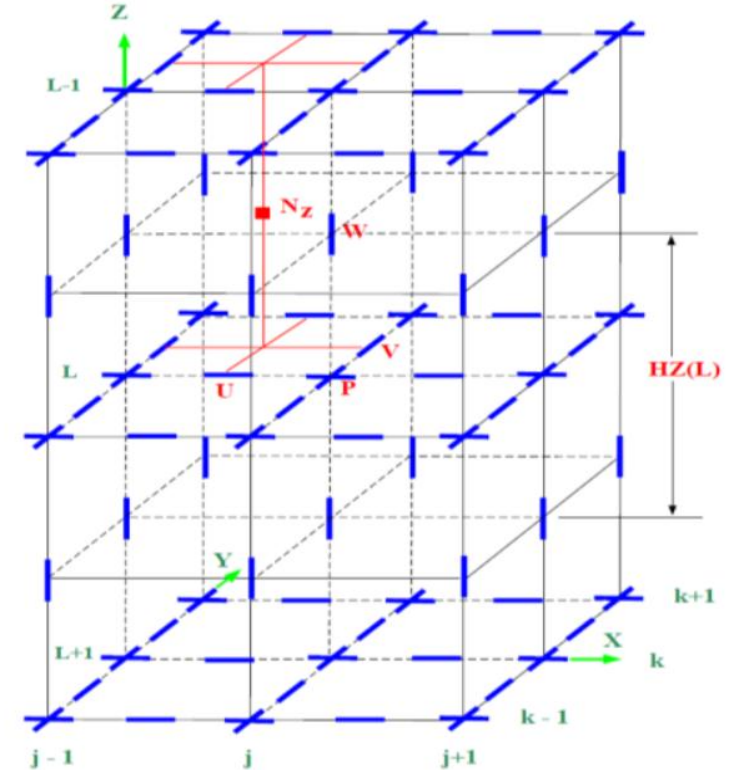


Sayısal Çözüm Ağı



-: u hızı, +: v hızı, l:w hızı

ilerleme yönü x için " j ",
yatay yanal yön y için " k "
düşey yön z için ise " l " indisi kullanılmıştır.





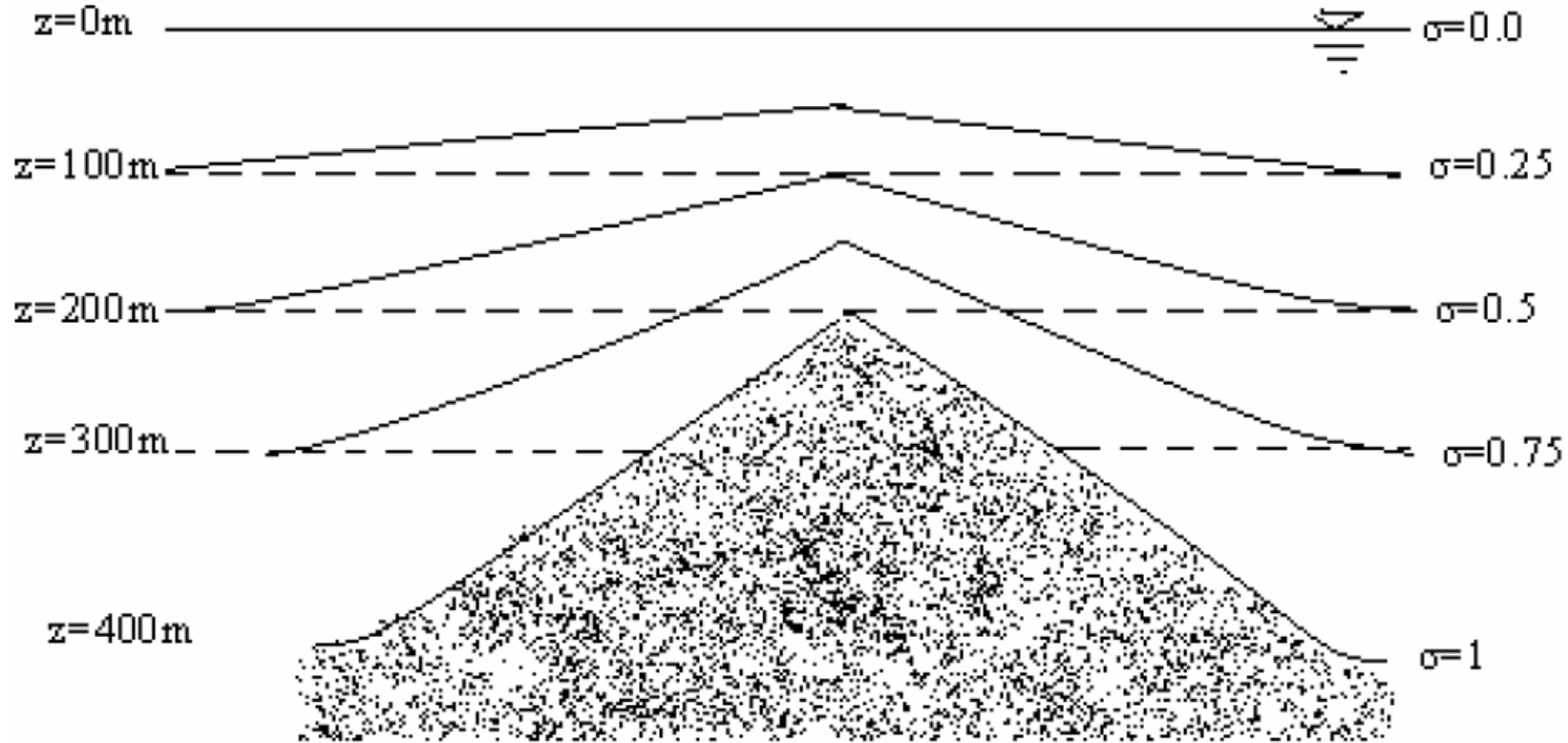
3-B Hidrodinamik Model

- Üç boyutlu sayısal analizinde sigma (σ) koordinat dönüşümü uygulanan bir çözüm metodu kullanılmıştır.
- Sigma koordinat yönteminde, Z koordinat sisteminde topografyaya paralel katmanlar oluşturulmaktadır.
- Derinliğin tamamı 1 olarak tanımlanmaktadır.

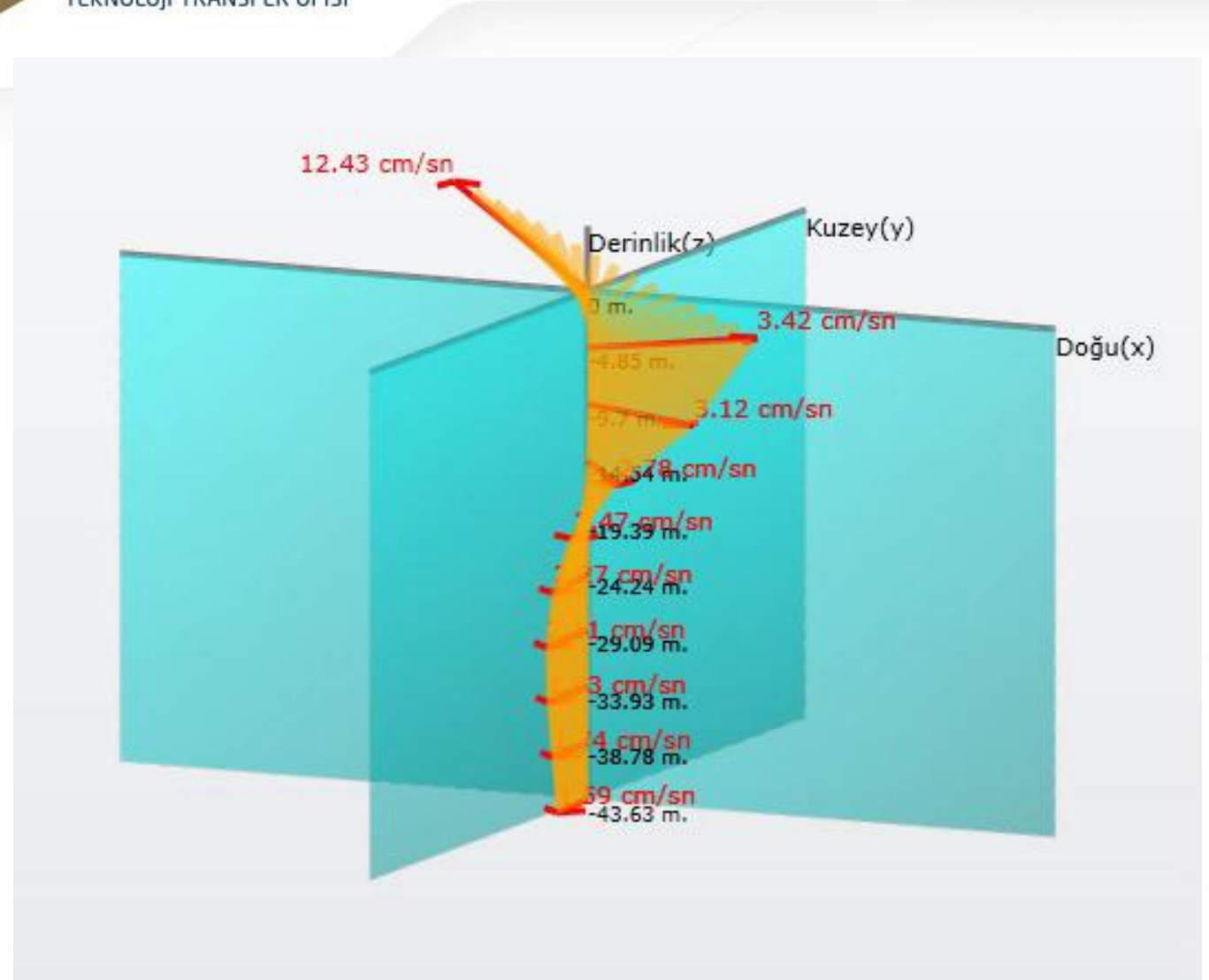
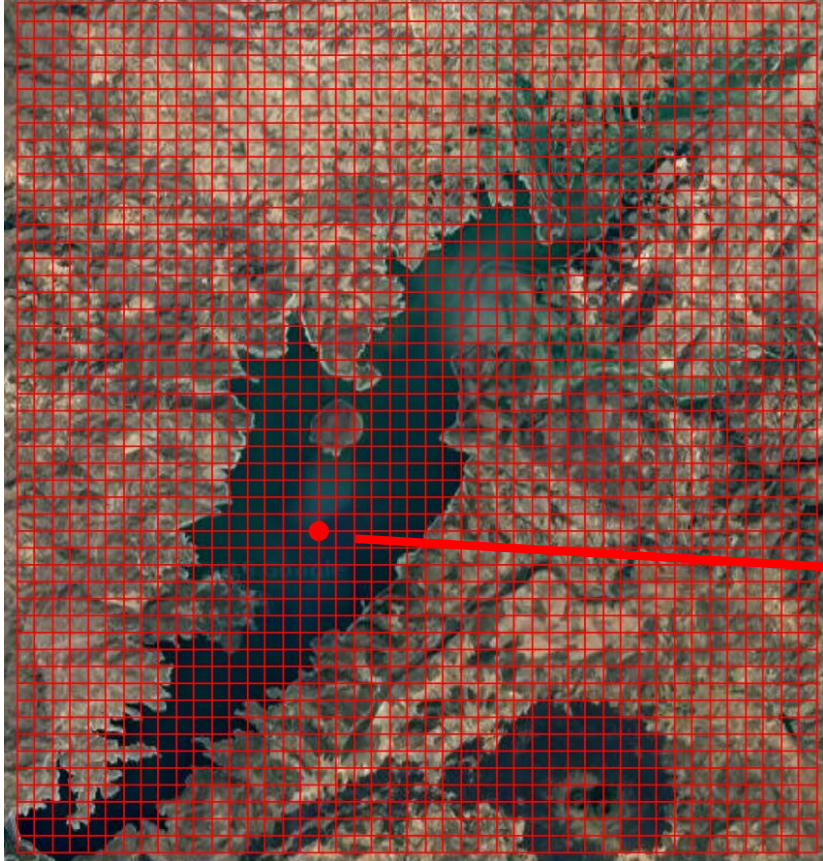


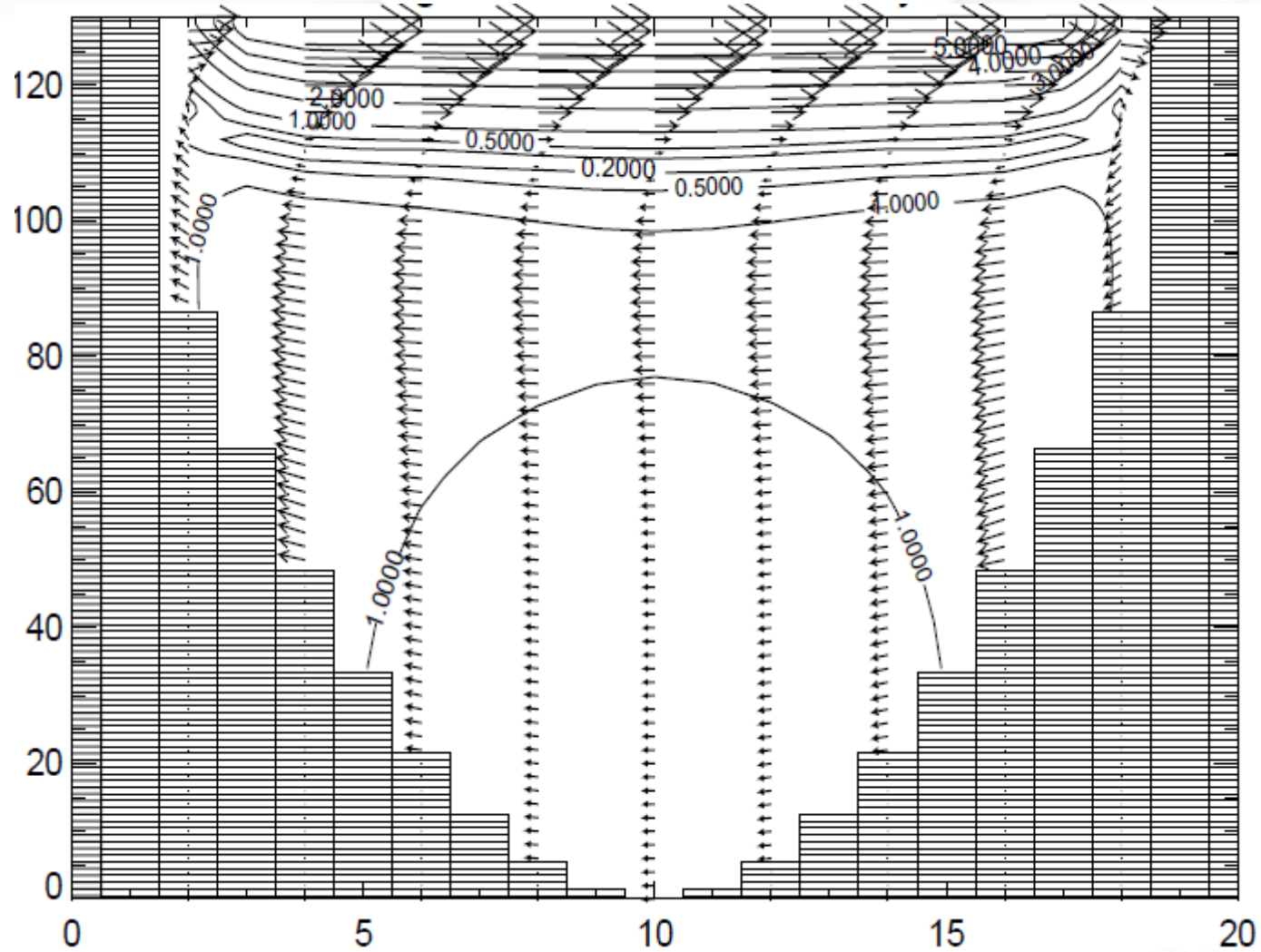
Sigma (σ) Koordinat Sistemi

$$\sigma = \frac{z - \zeta}{H + \zeta}$$



Sigma koordinat sisteminde derinlik yüzeyde 0 ile tabanda -1 değerleri arasında değişmektedir





Düşeyde Hız Dağılımı



HİDROTÜRK- 3B Hidrodinamik Model Kodu

INPUT DOSYA ADI	İÇİNDEKİLER	AÇIKLAMALAR/ornekler
PARAM3B.DAT		
	jx,ky,le	jx: x yönünde nokta sayısı ornek:7 ky: y yönünde nokta sayısı ornek:7 le: z yönünde tabaka sayısı ornek: 4
	Xtop,Ytop	X: x yönünde toplam uzunluk (M) ornek:2046 m Y: y yönünde toplam uzunluk (m) ornek:1836 m
	TADIM	Toplam adım sayısı (gün). ORNEK: Simulasyon 1 yıl sürecek ise TADIM="365" , Simulasyon 1 gün sürecek ise TADIM="1"
	XGUN	Çıktı alınacak adım sayısı (gun) ORNEK: altı saatte bir çıktı alınacak ise Xgun="0.25" , günlük çıktı ise "1"
	KAYNO	Su girişi(kaynağı) varsa, kaynak sayısı girilir. Kaynak yoksa "0" girilmelidir.
	İKAYNAK,İKAY,JKAY,AKESIT,ACI	Kaynak var ise, her bir kaynak için kaynak numarası, kaynağın denk geldiği çözüm hücrelerinin J,K değerleri, kaynak için akışa dik yöndeki kesit alanı(m ²) ve debinin su alanına giriş açısı (N yönünden saat yönünde derece olarak) Kaynak yok ise bu değerler girilmez (okunmaz)
	TYUKSEK,TDONEM,XLAT	Gelgit aralığı(yüksekliği,m), gelgit periyodu (saat), derece olarak su alanının enlemi(latitude) ornek: 0.5 m, 12.42 saat, 36.554 derece



HİDROTÜRK- 3B Hidrodinamik Model Kodu

INPUT DOSYA ADI	İÇİNDEKİLER	AÇIKLAMALAR	OKUNMA SIKLIĞI (ZAMAN ADIMI)
BASLA.DAT	J,K,L,U(m/s),V(m/s),W(m/s), SICAKLIK(derece), TUZLULUK(ppt),	J,K,L indisleri, sırasıyla x,y ve z yönlerindeki nokta numaralarıdır. Indisler "1" den başlamalıdır.	T=0 BAŞLANGIÇTA BİR KEZ OKUNUR
BATHIM.DAT	J,K,SU DERİNLİĞİ (m)	Su derinlikleri karada (+) değer, suda (-) değer girilmelidir. Karada yükselti değeri bilinmiyor ise "0" girilmelidir.	T=0 BAŞLANGIÇTA BİR KEZ OKUNUR
RUZGAR.DAT	HIZ, YÖN, ESME SÜRESİ RÜZGAR HIZI (M/S),	Rüzgar Yönü (kuzeyden N, saat yönüne doğru derece olarak, örnek: N "0", NE "45", esme süresi gün olarak girilmelidir. Örnek 6 saat "0.25", 1 gün "1"	BAŞLANGIÇTA BİR KEZ OKUNUR, Tüm simülasyon süresini kapsayacak şekilde girilmelidir.
SUDUZEYI.DAT	J,K,SUDUZEYI(M)	Su düzeyi sakin su seviyesinden yukarıda ise (+) aşağıda ise (-)	T=0 BAŞLANGIÇTA BİR KEZ OKUNUR
KAYNAK.DAT	KAYNAK NO, DEBİ(M ³ /S), SICAKLIK(DERECE), TUZLULUK(PPT),SU DÜZEYİ(M)	HER BİR KAYNAK İÇİN (KAYNAK NO=1,2,3,...), GÜNLÜK ORTALAMA DEBİ, SICAKLIK, TUZLULUK VE SU DÜZEYİ girilmelidir. Su girişi (Kaynak) yoksa, bu dosya okunmaz.	Her zaman adımında okunur. Örnek: Zaman adımı 1 gün seçildi ise, simülasyon bitine dek günlük data girilmez.



Su derinlikleri Bathim.dat Yükseklik verileri

DEMİRKÖPRÜ BARAJI/GÖLETİ AYLIK İŞLETME TABLOSU

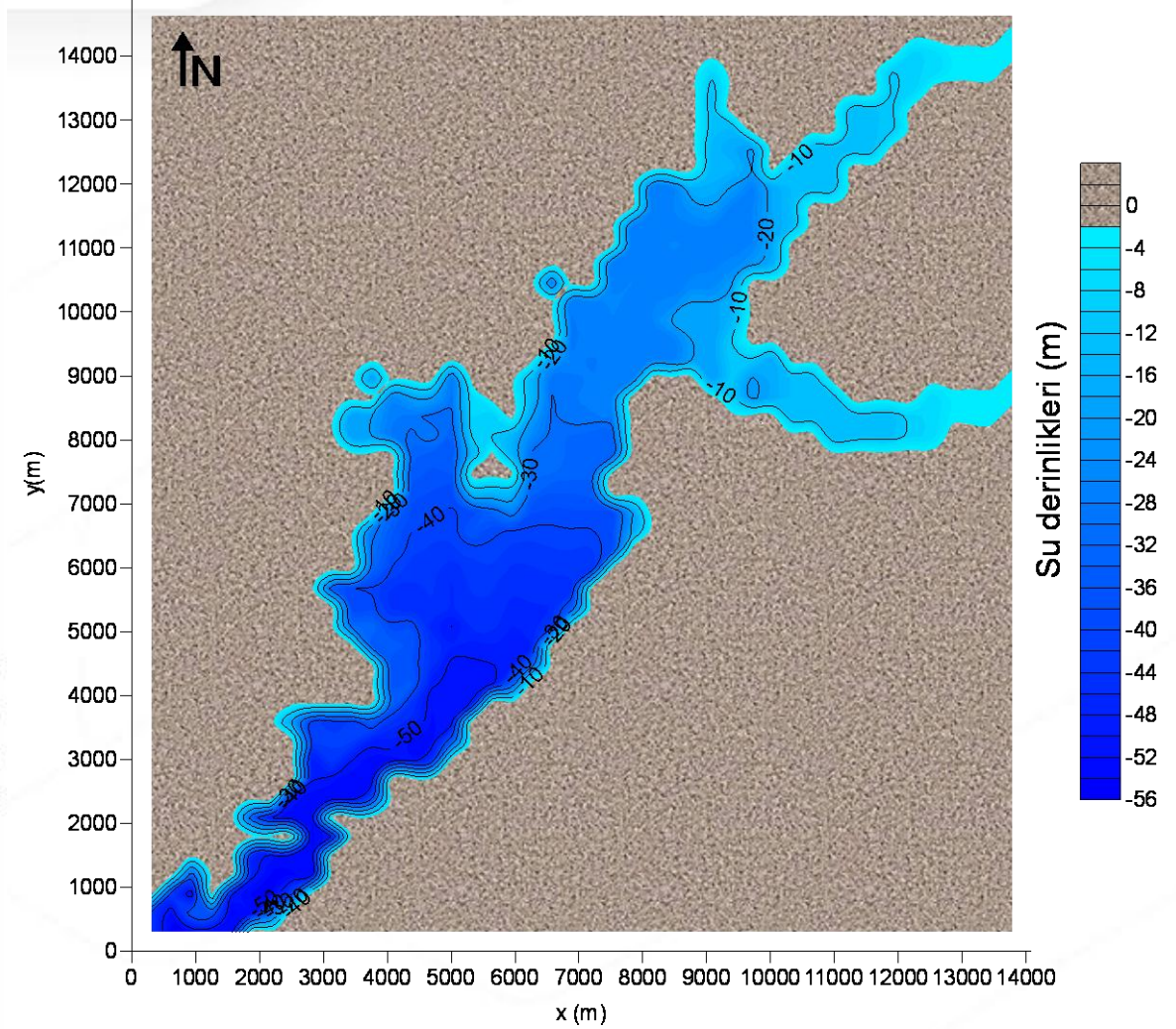
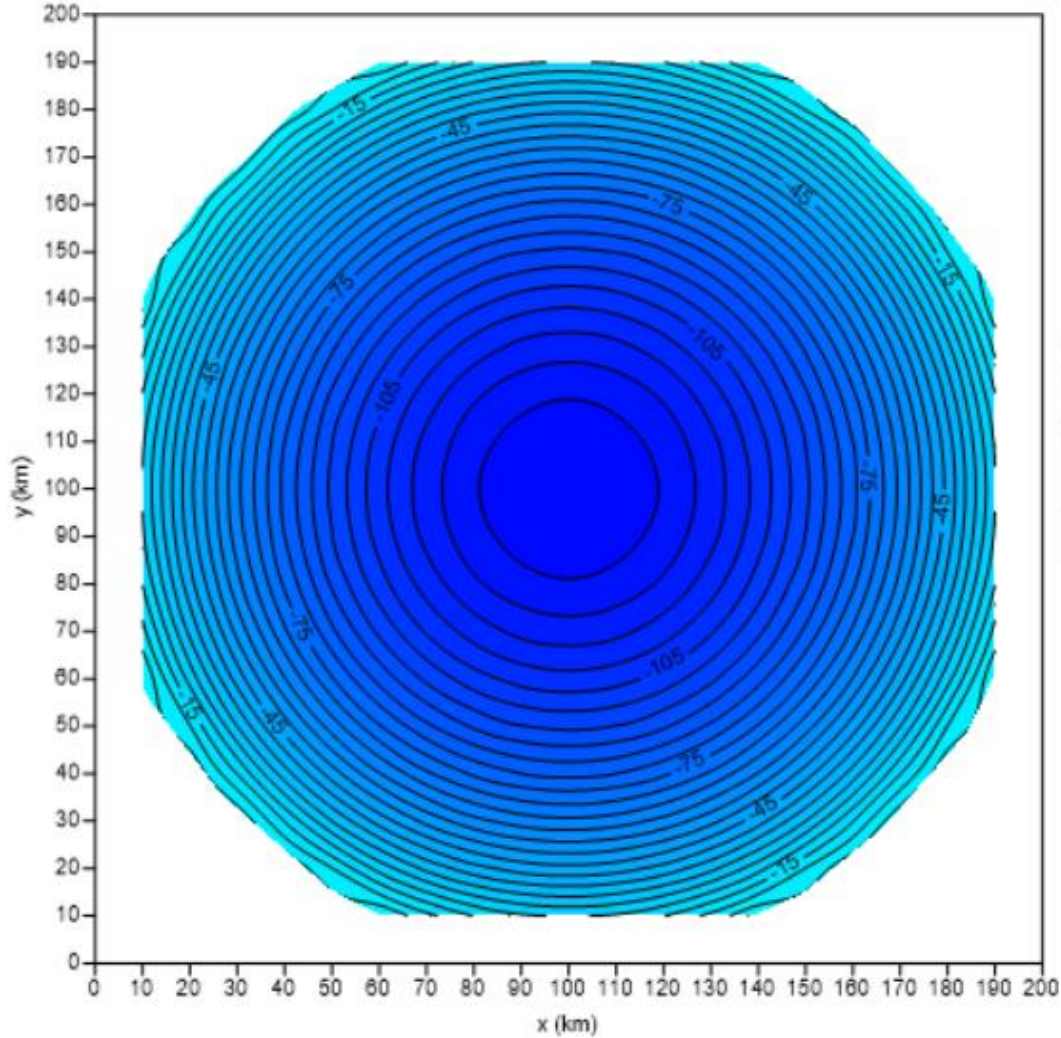
YIL	AY	AY BAŞI İTİBARIYLA		SARFIYATLAR					TOPLAM	GÖLE GELEN SU MİKTARI
		KOT (m)	HACİM (hm ³)	ENERJİ (hm ³)	TAŞKIN (hm ³)	SULAMA (hm ³)	BUHARLAŞMA (hm ³)	DİĞER (hm ³)		
2008	OCAK	222.92	280.9				0.47	0.75	1.2	15.40
	ŞUBAT	223.58	295.08				0.45	0.08	0.5	11.80
	MART	224.06	306.35				0.5		0.5	41.40
	NİSAN	225.78	347.25				0.6	1.86	2.4	48.70
	MAYIS	227.53	393.53				0.6	1.03	1.6	8.10
	HAZİRAN	227.76	399.99			102.78	5.39	4.53	112.7	3.50
	TEMMUZ	223.37	290.79			129	1.34	1.69	132.0	1.30
	AĞUSTOS	216.5	160.06				2.76	2.53	5.3	2.80
	EYLÜL	216.45	157.57				1.7	0.43	2.1	4.30
	EKİM	216.58	159.73				0.9	0.44	1.3	5.60
	KASIM	216.79	163.99						0.0	9.10
	ARALIK	217.37	173.09						0.0	9.08
TOPLAM				0	0	231.78	14.69	13.34	259.81	161.08



İTÜ NOVA
TEKNOLOJİ TRANSFER OFİSİ



Su derinlikleri Bathim.dat





Çözüm Ağı Oluşturma

x yönü $j=1,2,\dots,21$

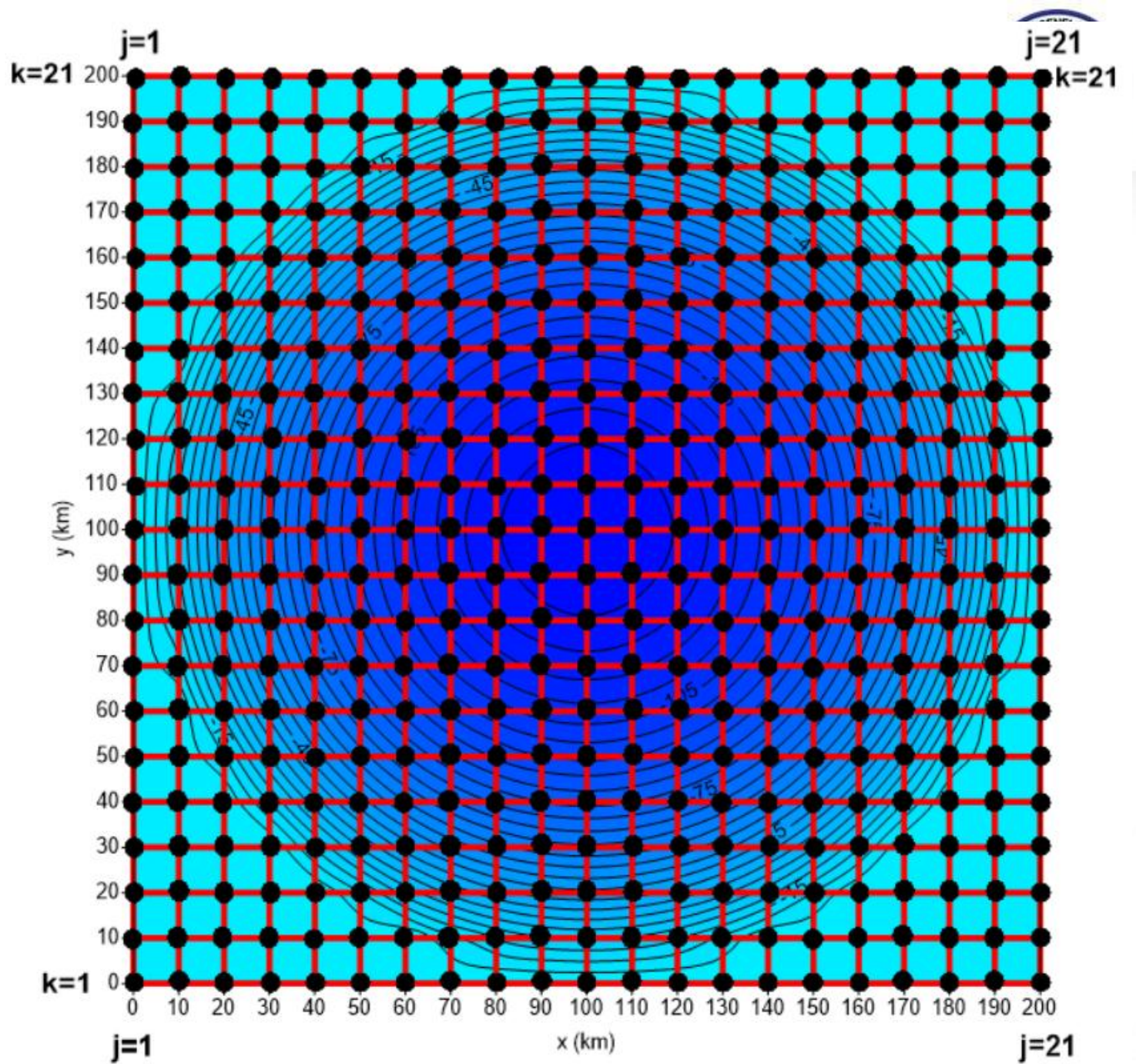
y yönü $k=1,2,\dots,21$

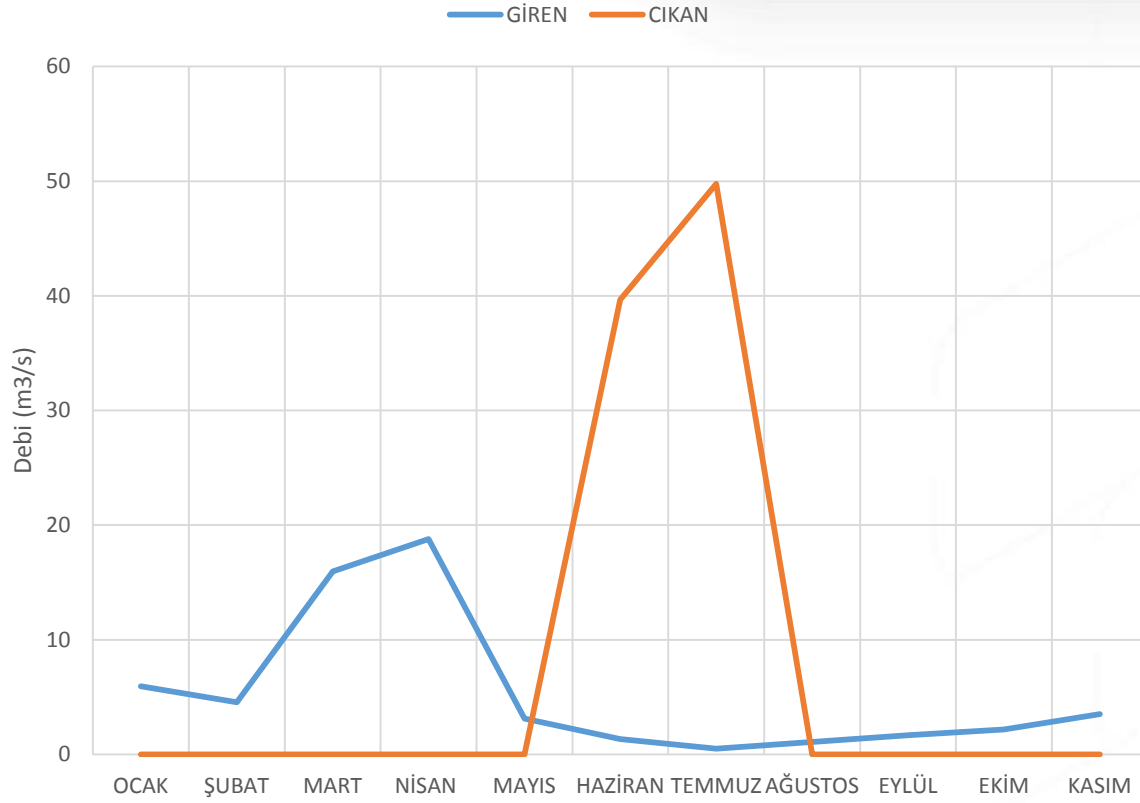
x yönü $l=1,2,\dots,6$

20x20 çözüm hücresi

Derinlik boyunca 6 tabaka

Bathim.dat





Sukaynak.dat

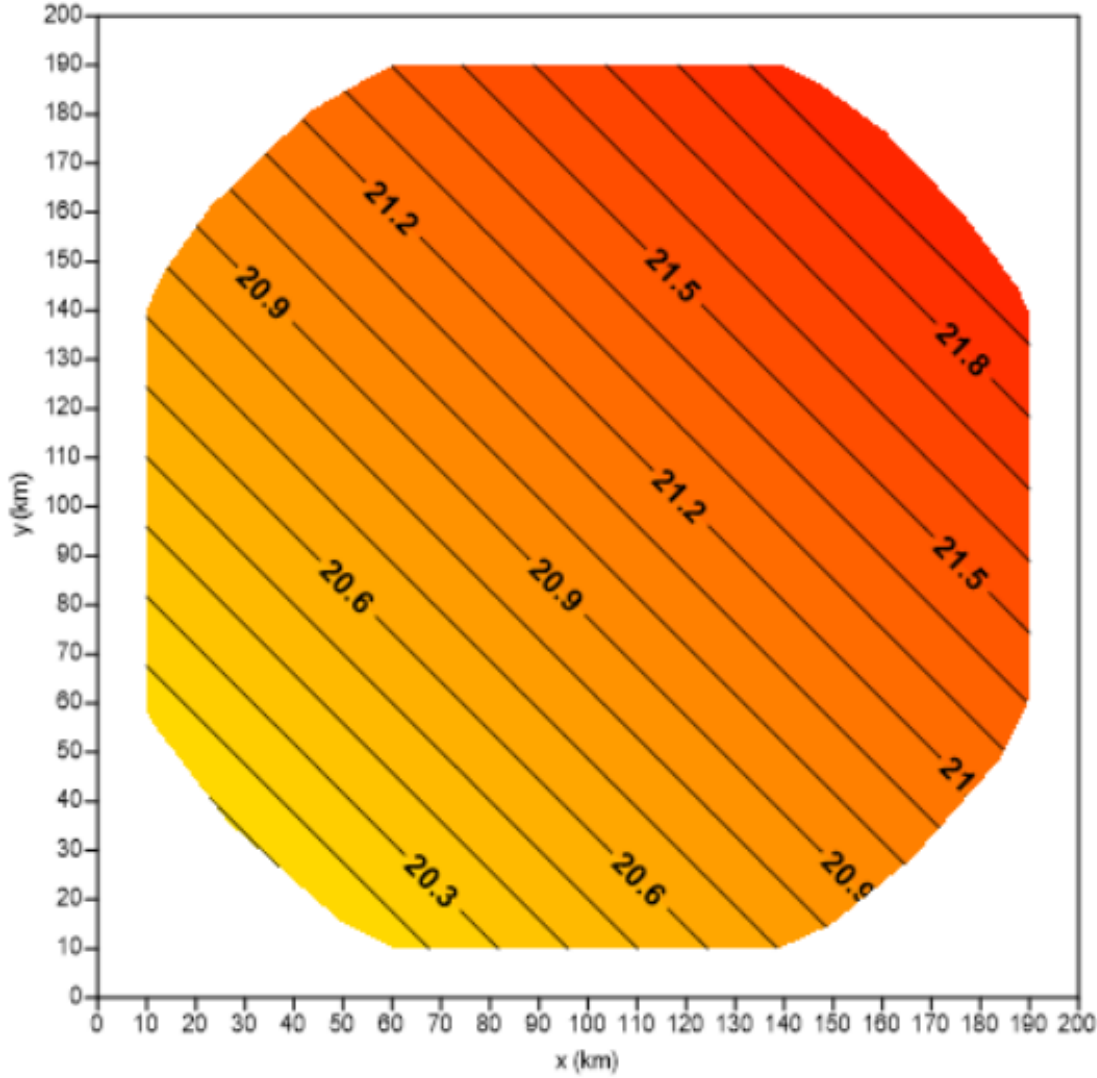


ÇIKTILAR

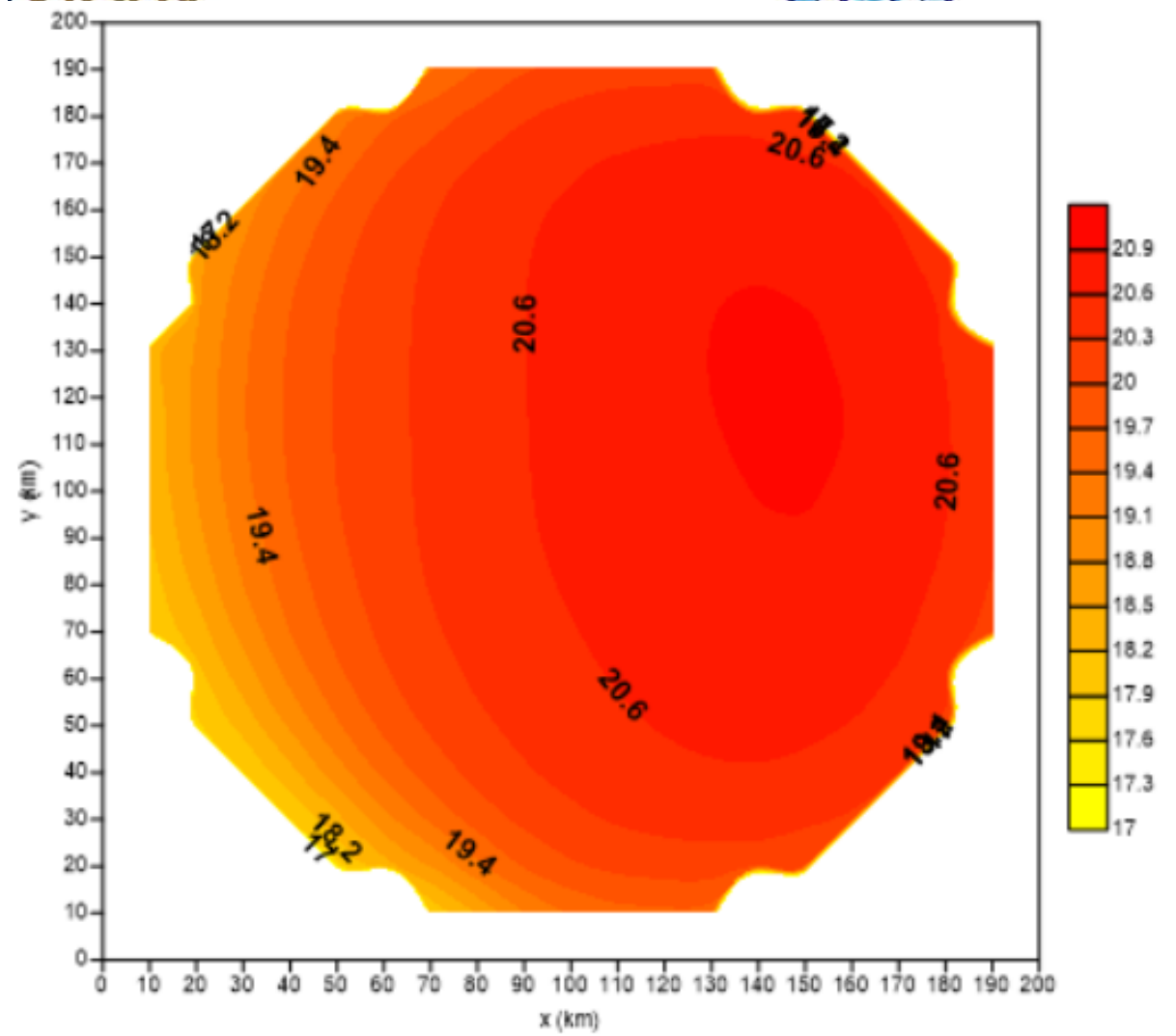
- **x,y,z, yönlerindeki hız bileşenlerinin ve debinin zaman serisi**
- **Su seviyesi zaman serisi**
- **Su derinliği zaman serisi**
- **Su sıcaklığı zaman serisi**
- **Su tuzluluğu zaman serisi**
- **Türbülans dağılım parametrelerinin zaman serisi**



TEŞEKKÜRLER



Başlangıç t=0



t=11 gün sonra

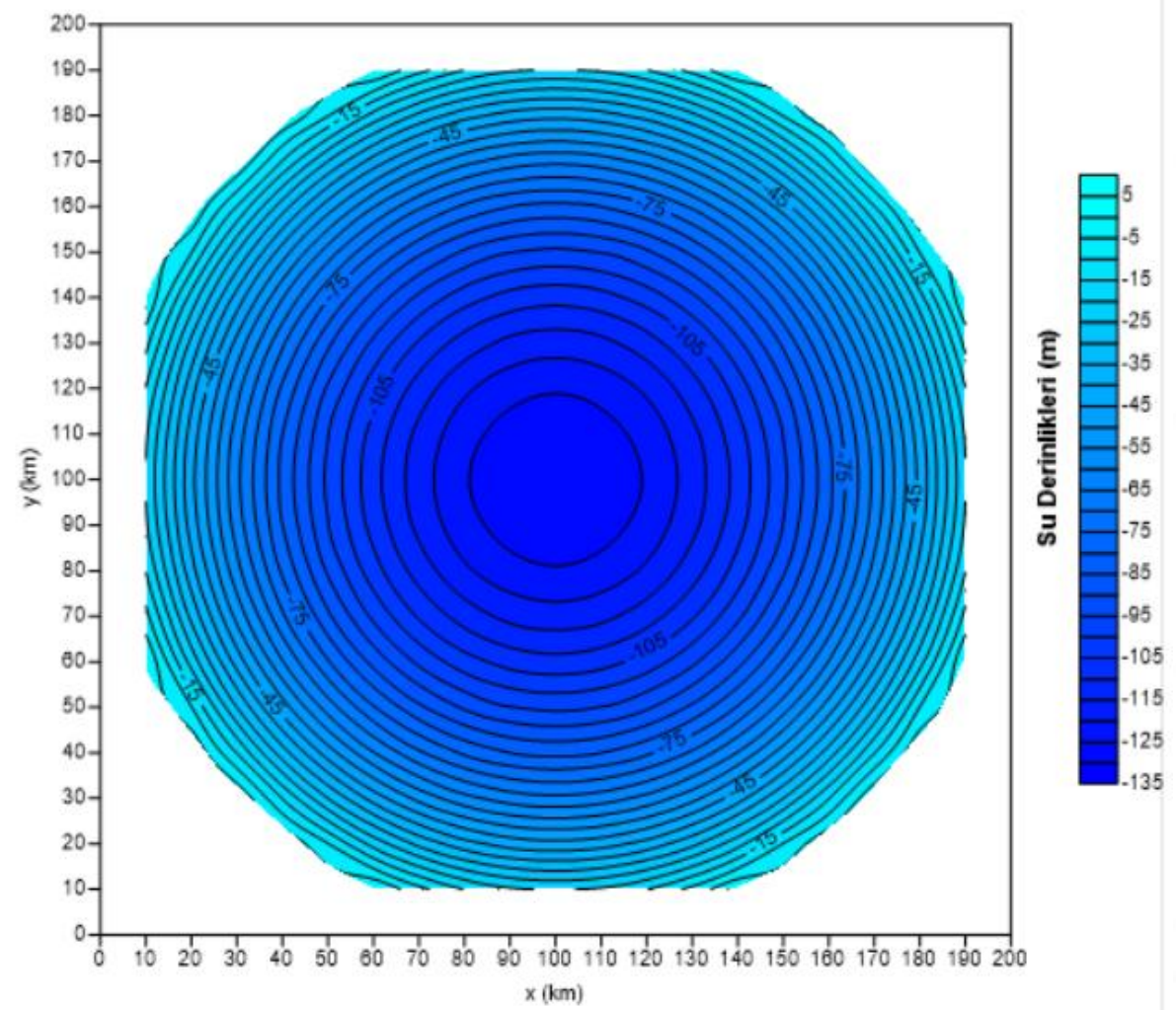
3B Hidrodinamik Model Uygulama-2



Dairesel değişen su derinliklerine sahip bir su alanı

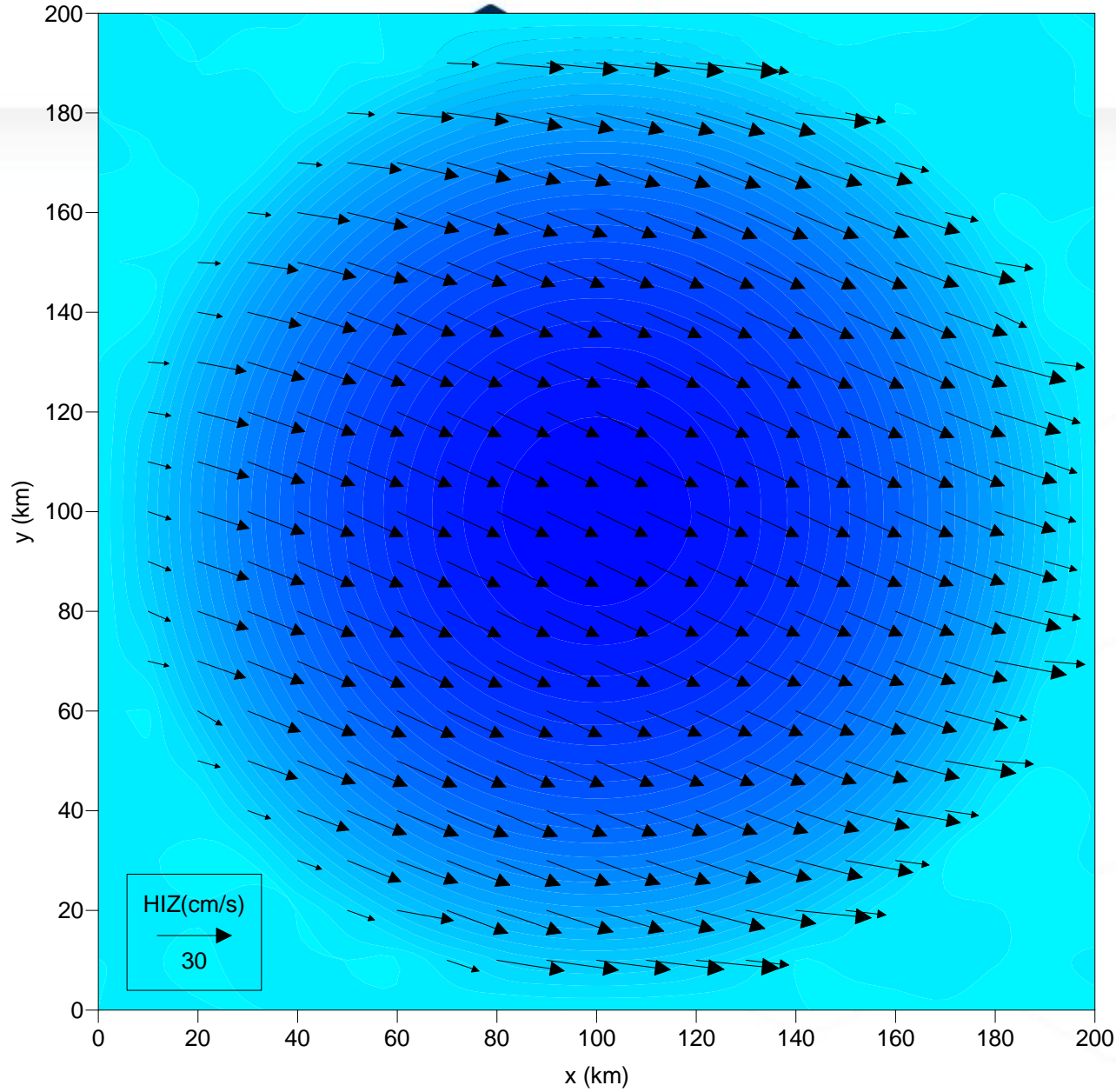
Yüzeye uygulanan Batıdan(W) 6 m/s sabit hız ile sürekli esen rüzgar kuvveti

W, Rüzgar 6 m/s
→

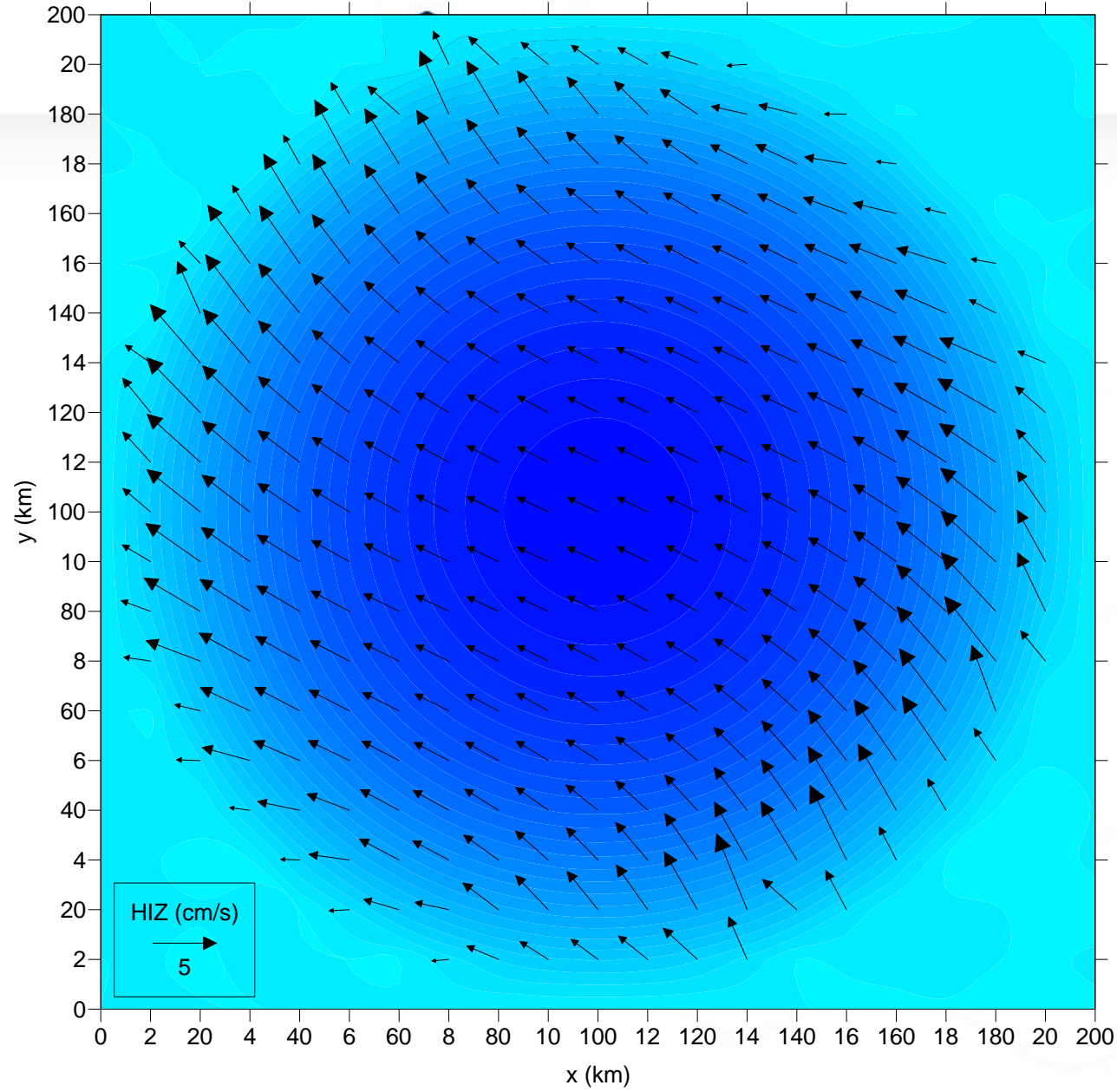


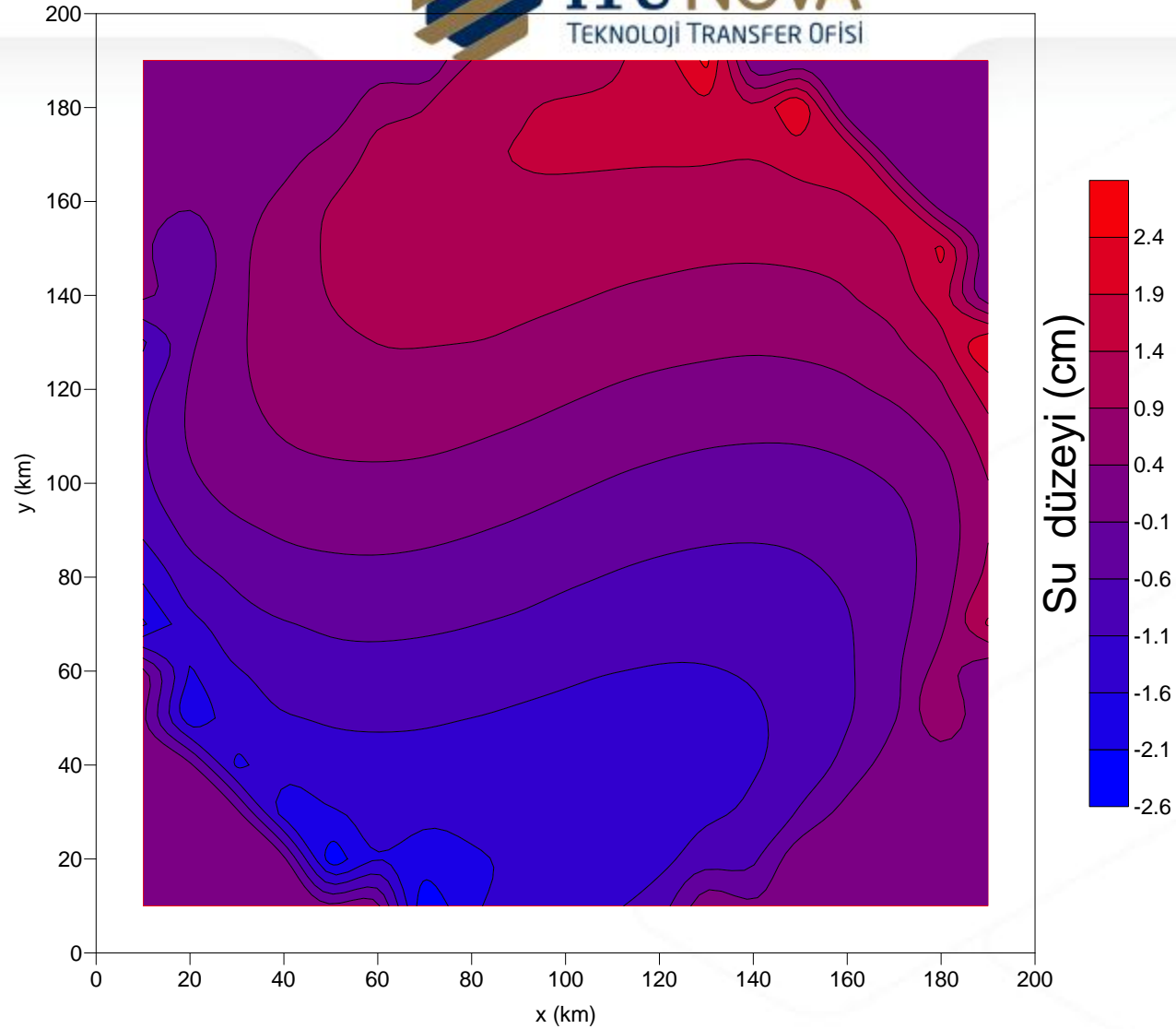


W, Rüzgar 6 m/s



Taban Tabakası Hız Dağılımı

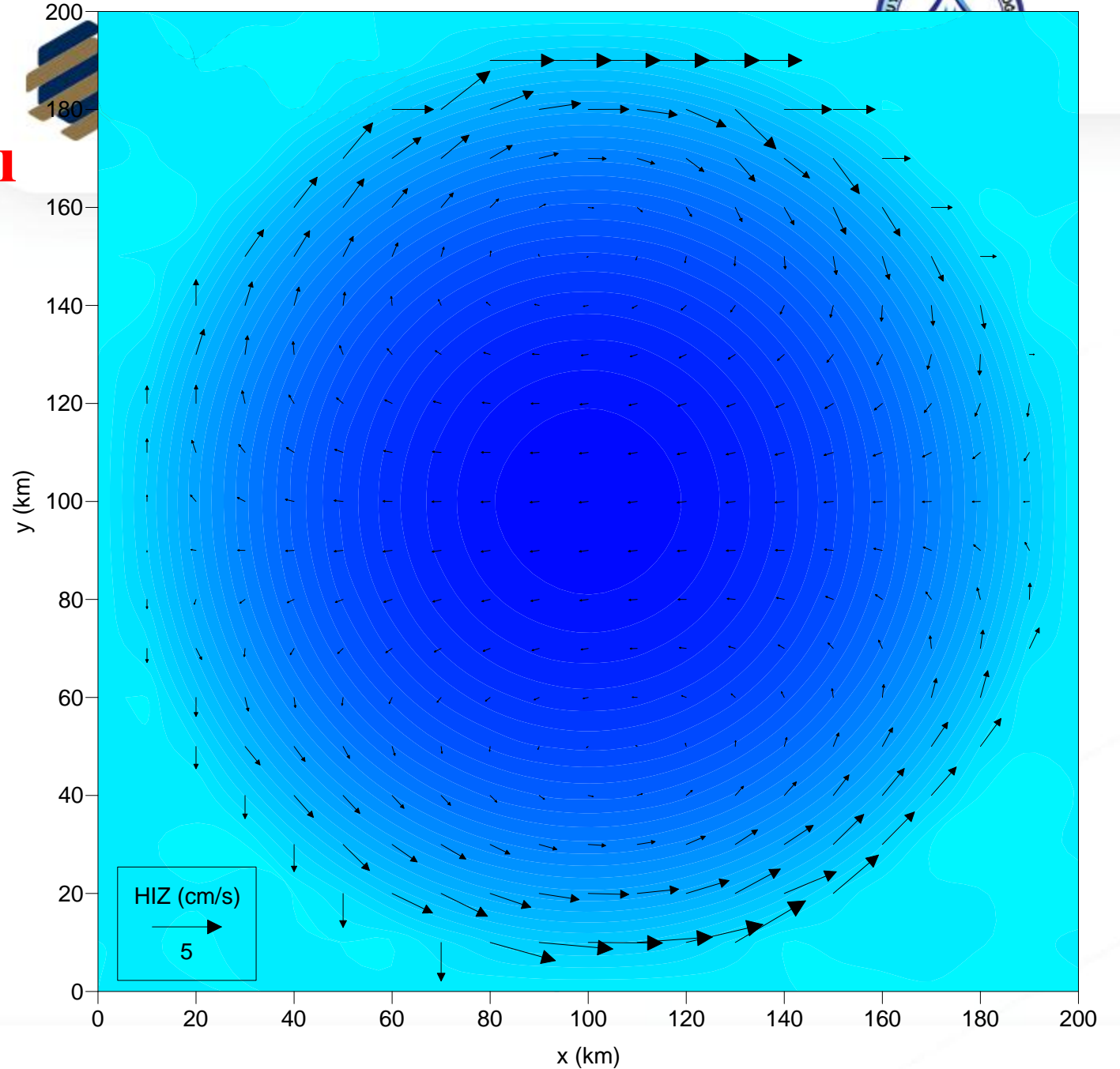




Su düzeyi değişimi

3-B Model Uygulaması

Derinlik Boyunca
Ortalama hızlar





3-B Model Uygulaması Demirköprü Barajı

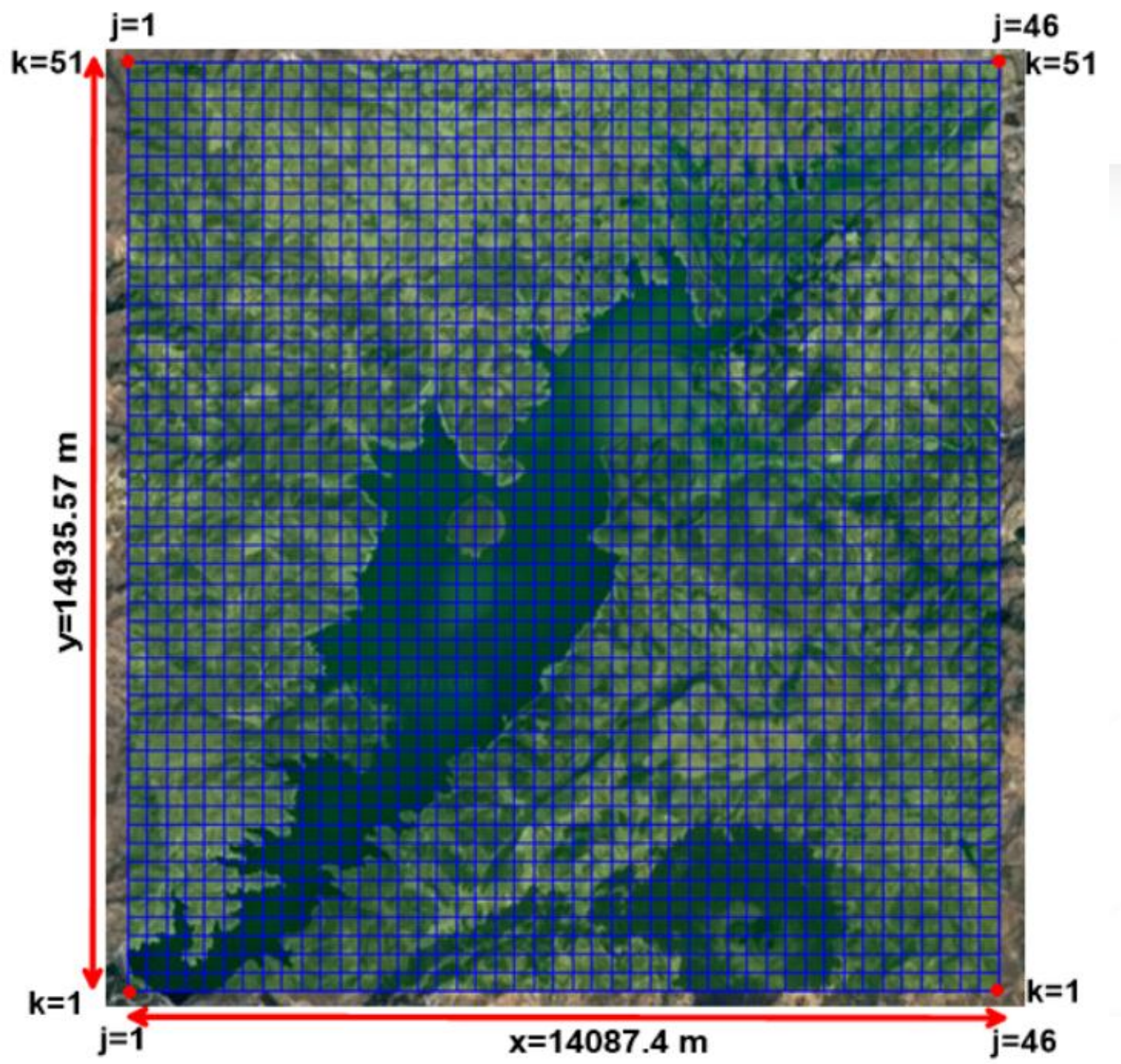
Toplam $x=14087.4$ m,

Toplam $y=14935.57$ m

Çözüm hücre sayısı $45 \times 50 \times 10$

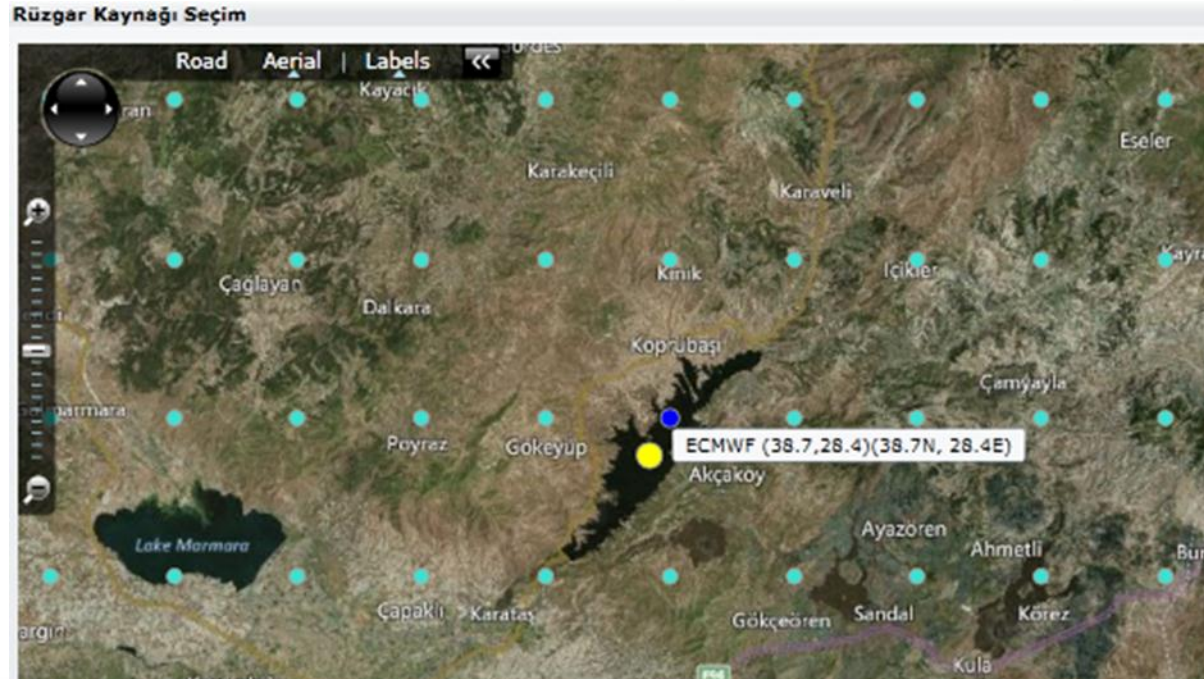
Koordinatlar :

	X	Y
Sol Üst	28 18.6966	38 36.7804
Sağ Alt	28 28.4195	38 44.853



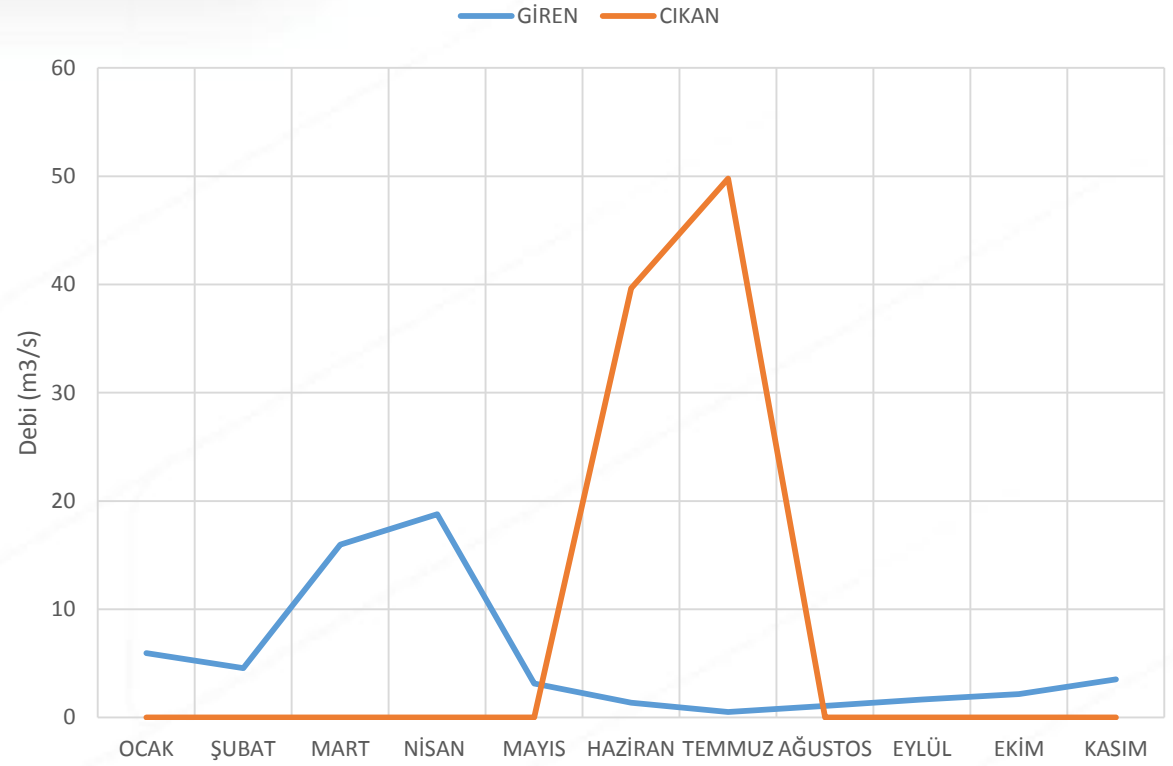
Demirköprü Baraj Gölü, Rüzgar İklimi

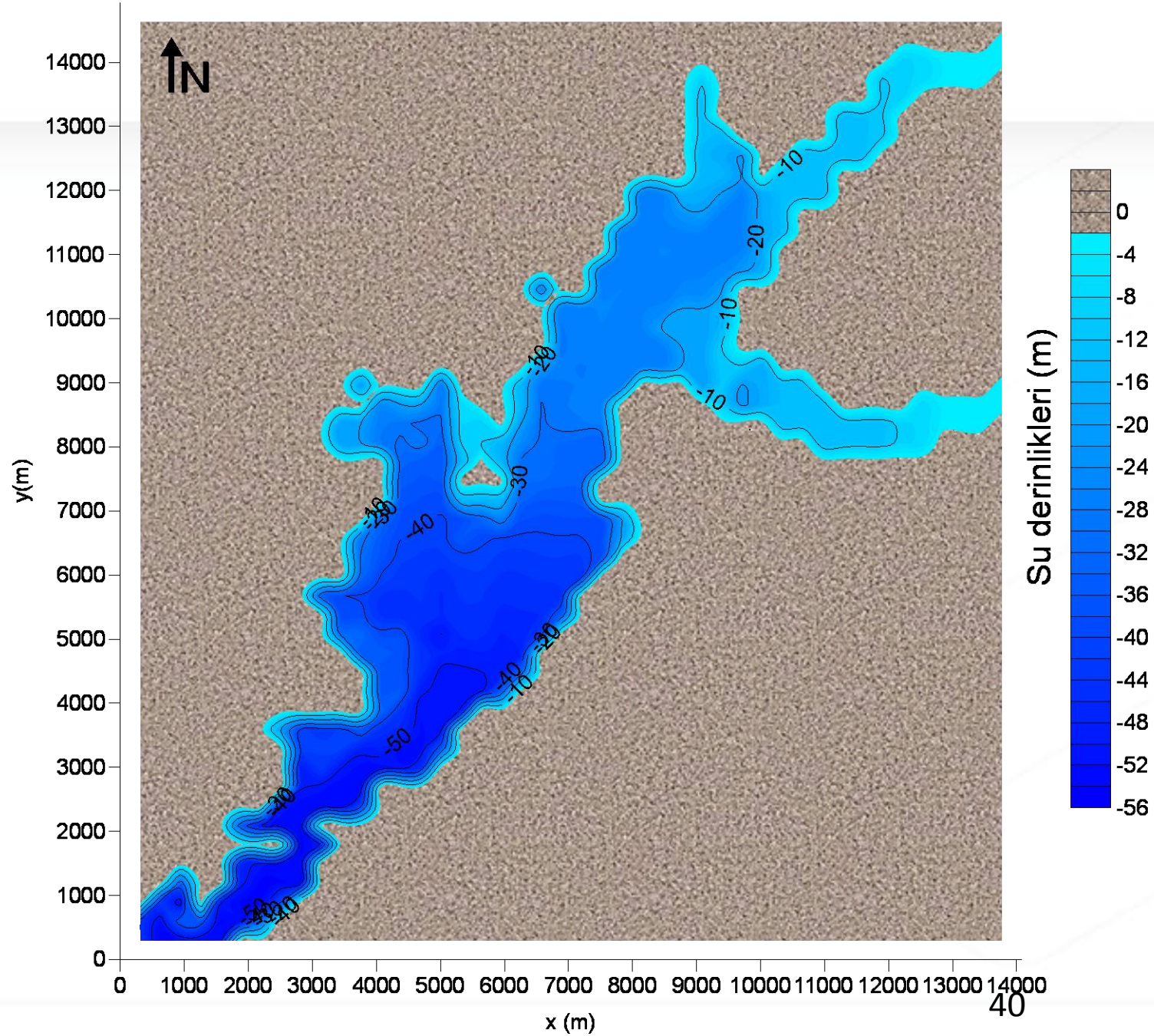
- Çalışma bölgesinin rüzgar ikliminin belirlenebilmesi için, ECMWF operasyonel arşivi 38.7°N-28.4°E koordinatına ait (2000 ile 2016 yılları arasındaki) altışar saatlik rüzgar verileri kullanılmıştır.





Demirköprü Barajı- 2008 yılı su kotları

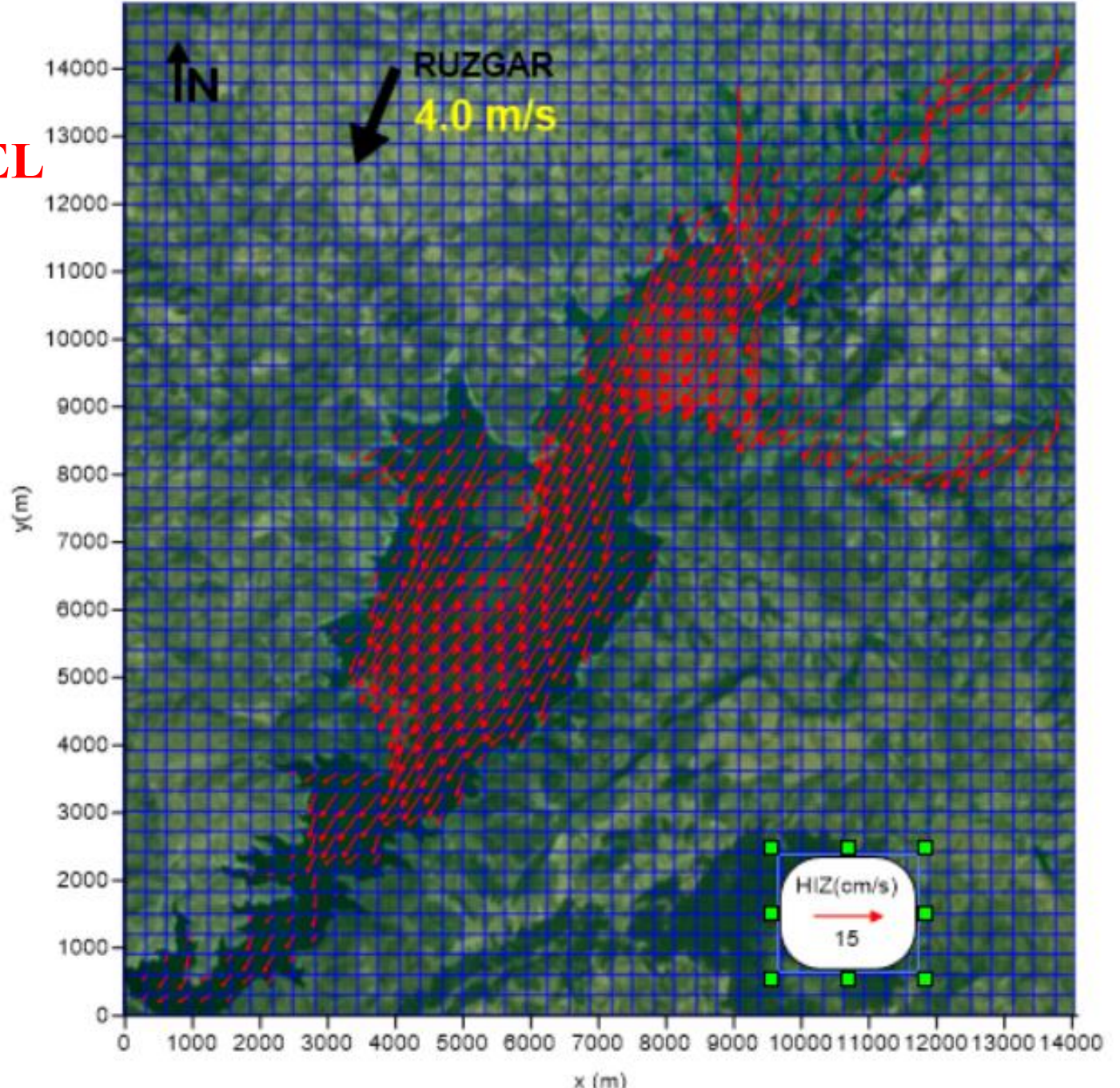




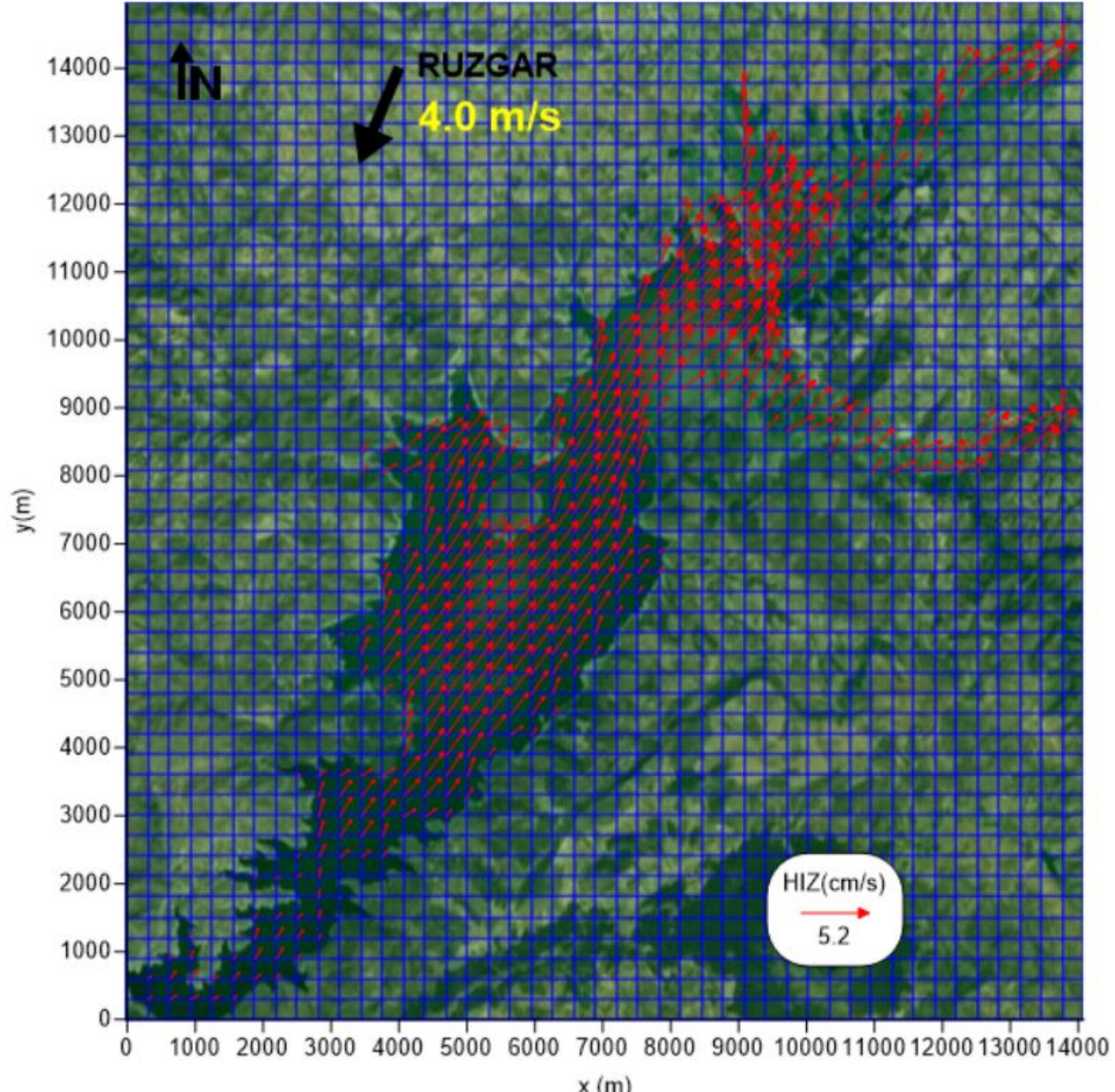
3-B HİDRODİNAMİK MODEL UYGULAMA

Debi Giriş-Çıkışı Yok
Rüzgar 4 m/s,
KuzeyKuzeyDoğu(NNE)

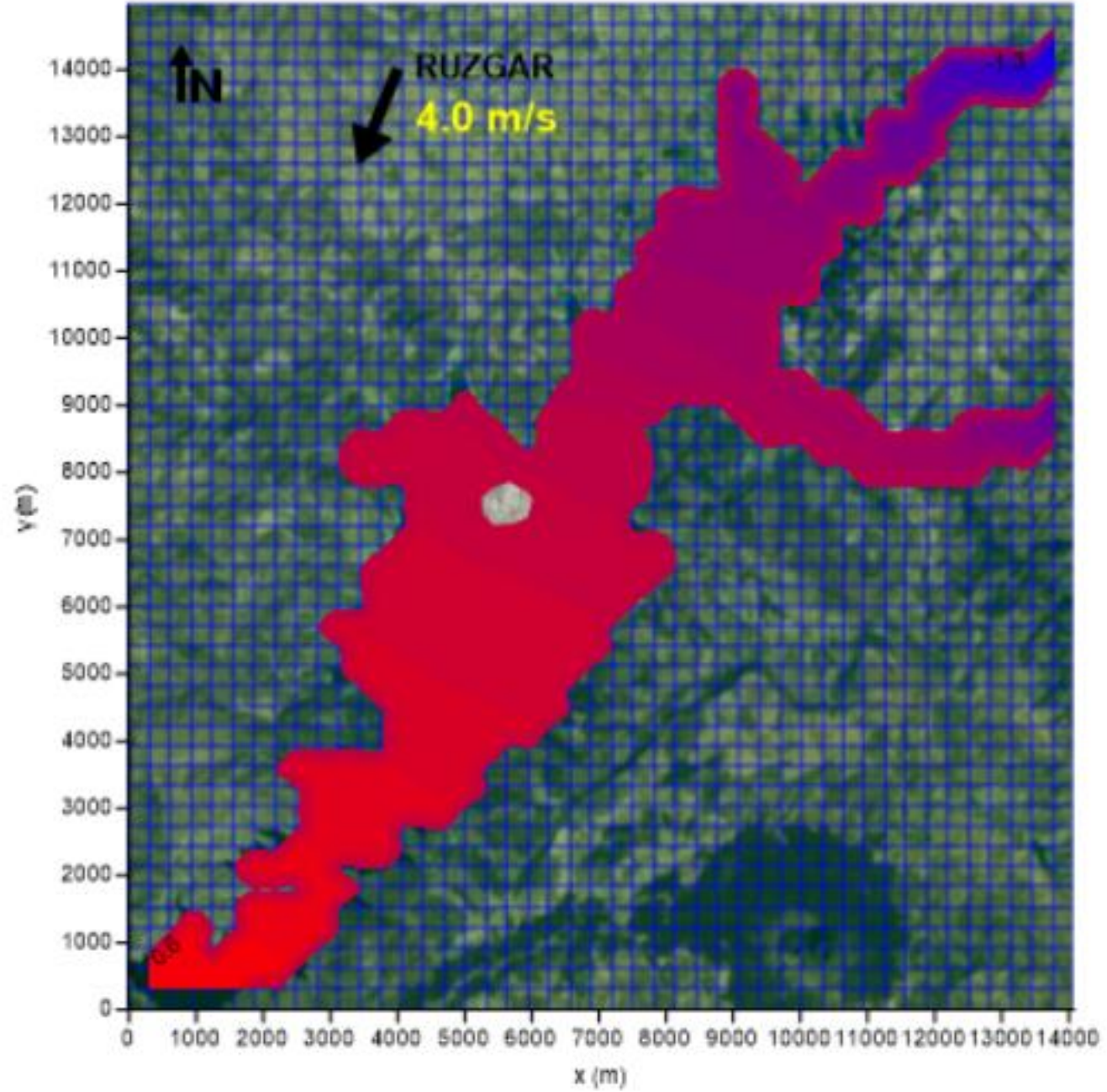
YUZEY TABAKASI
HIZ DAĞILIMI



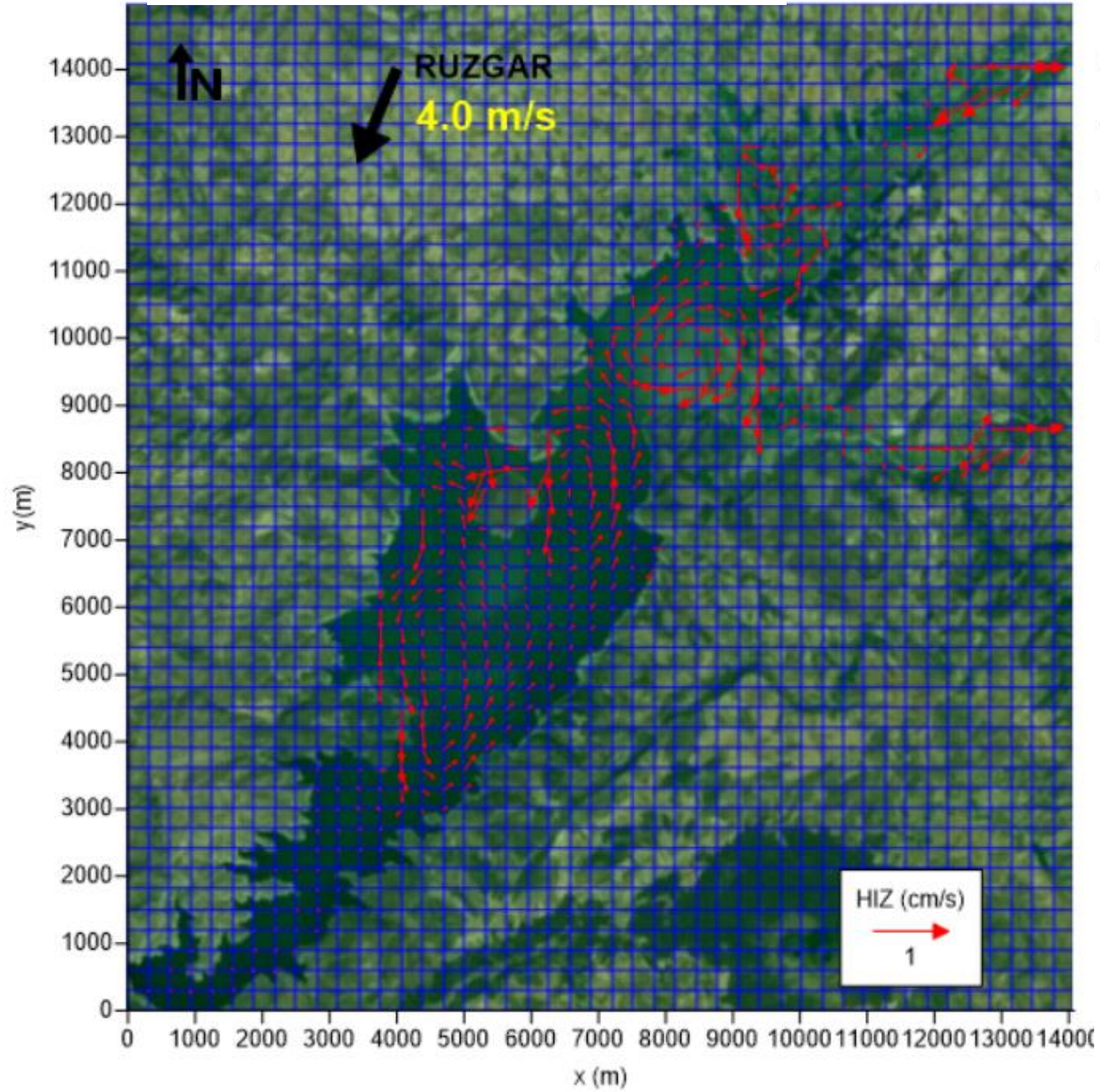
TABAN
TABAKASI



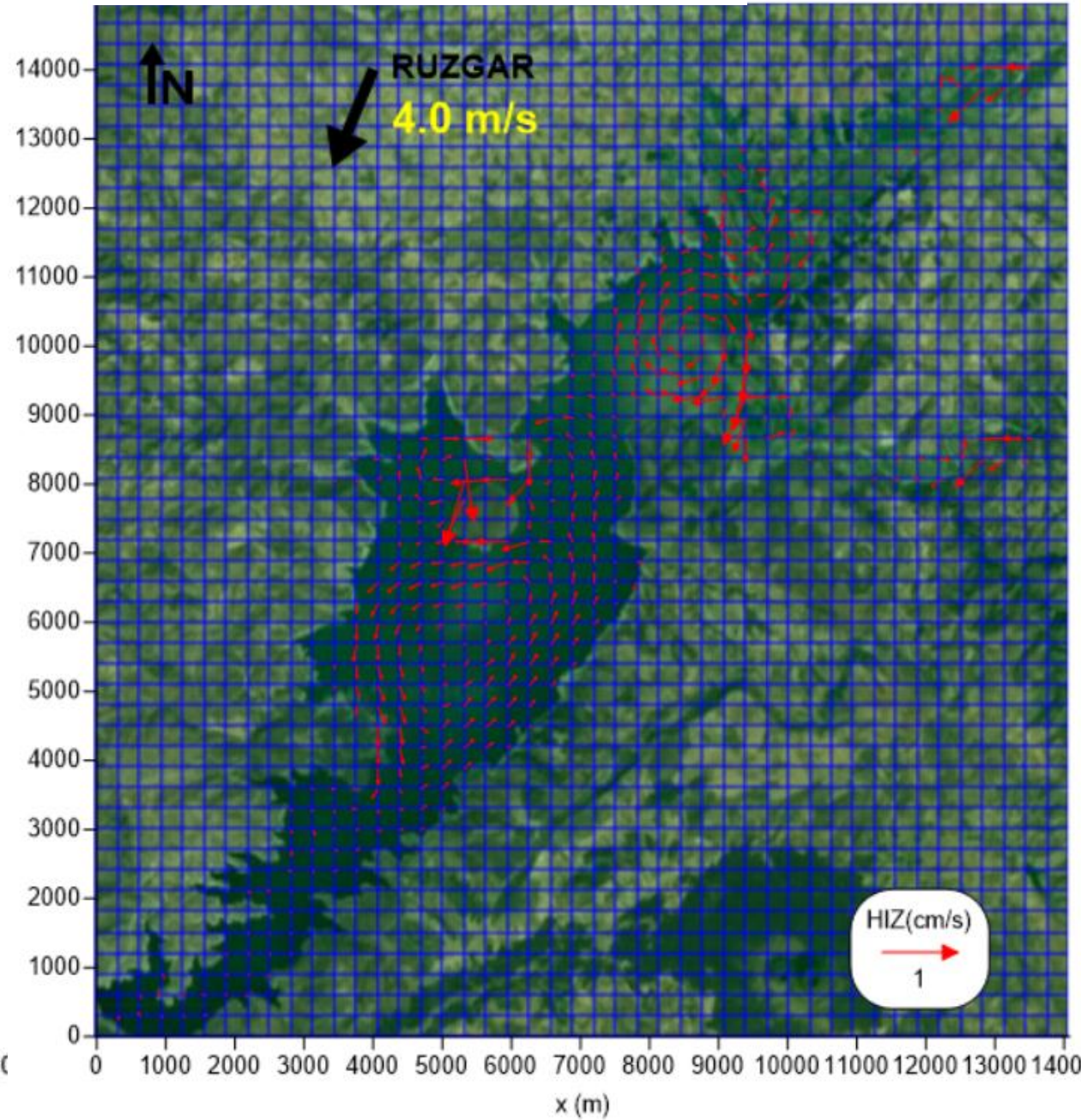
3D-MODEL- Su düzeyi değişimi

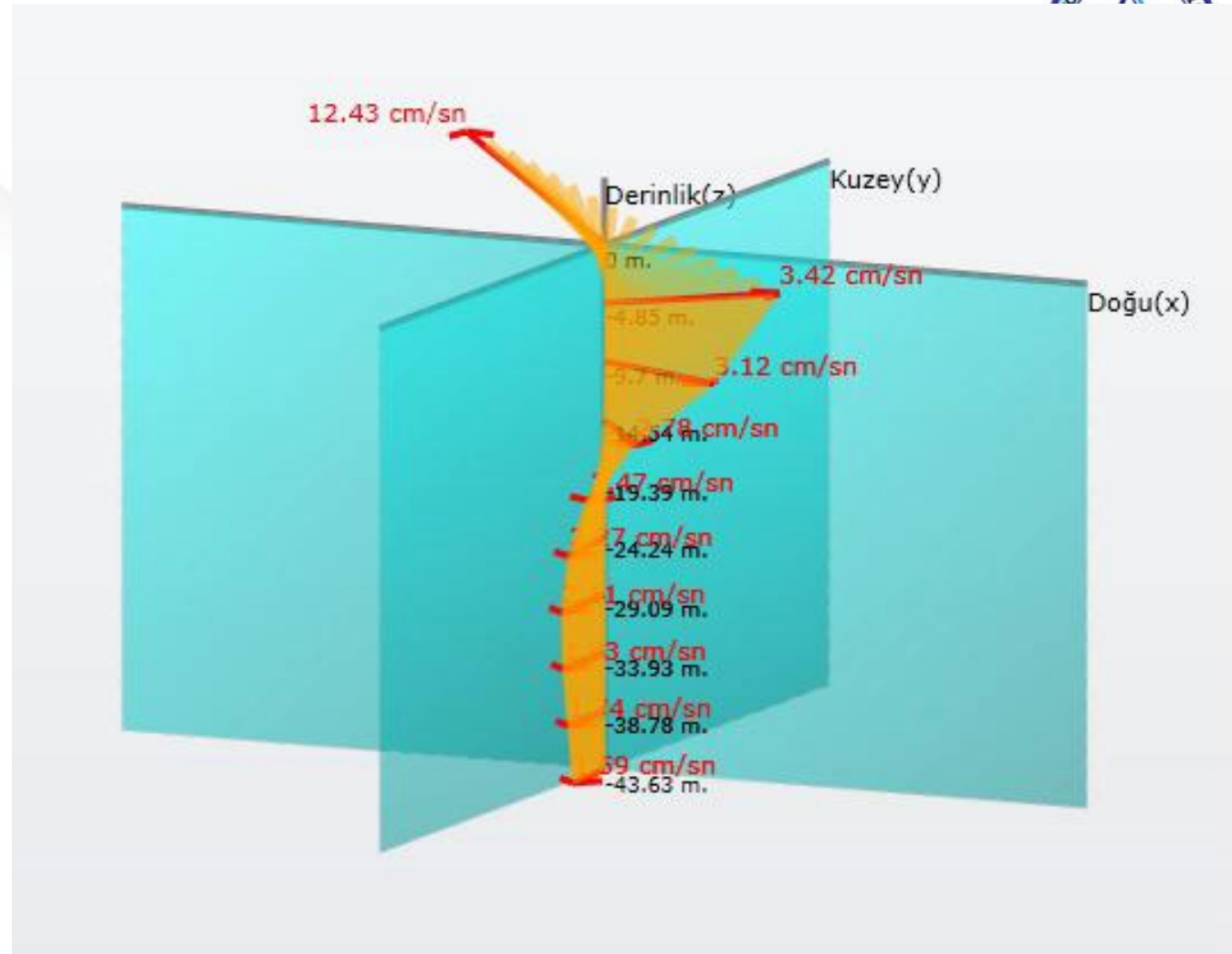
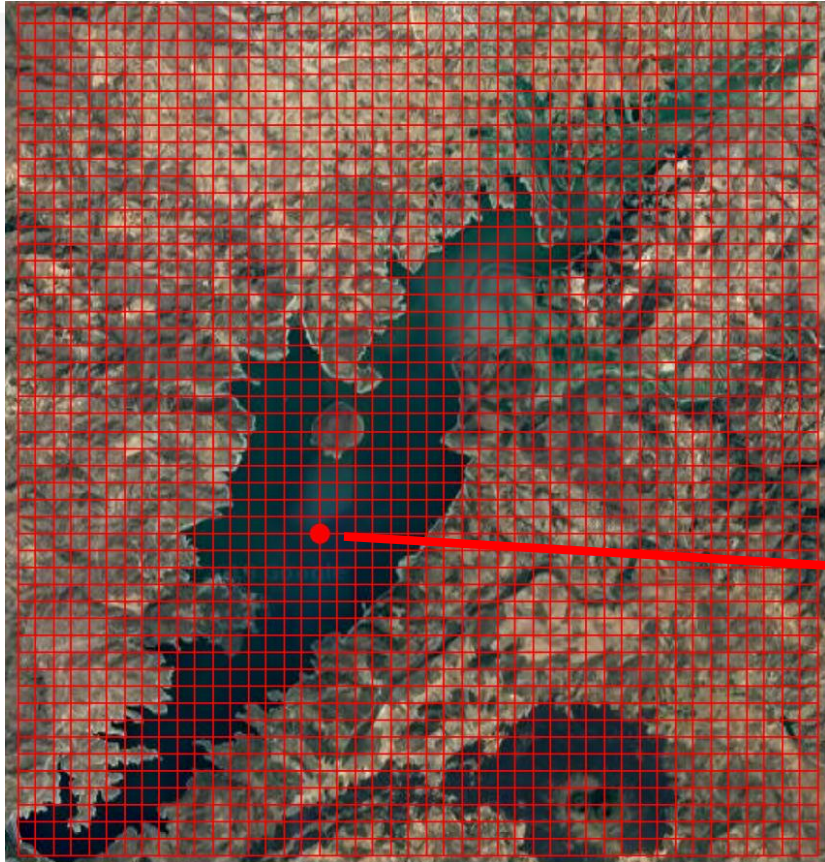


3D-MODEL- Ortalama çevrinti düzeni



2D-MODEL- Ortalama çevrinti düzeni





Derinlik boyunca değişen noktasal akıntı dağılımı için
Zamansal simulasyon

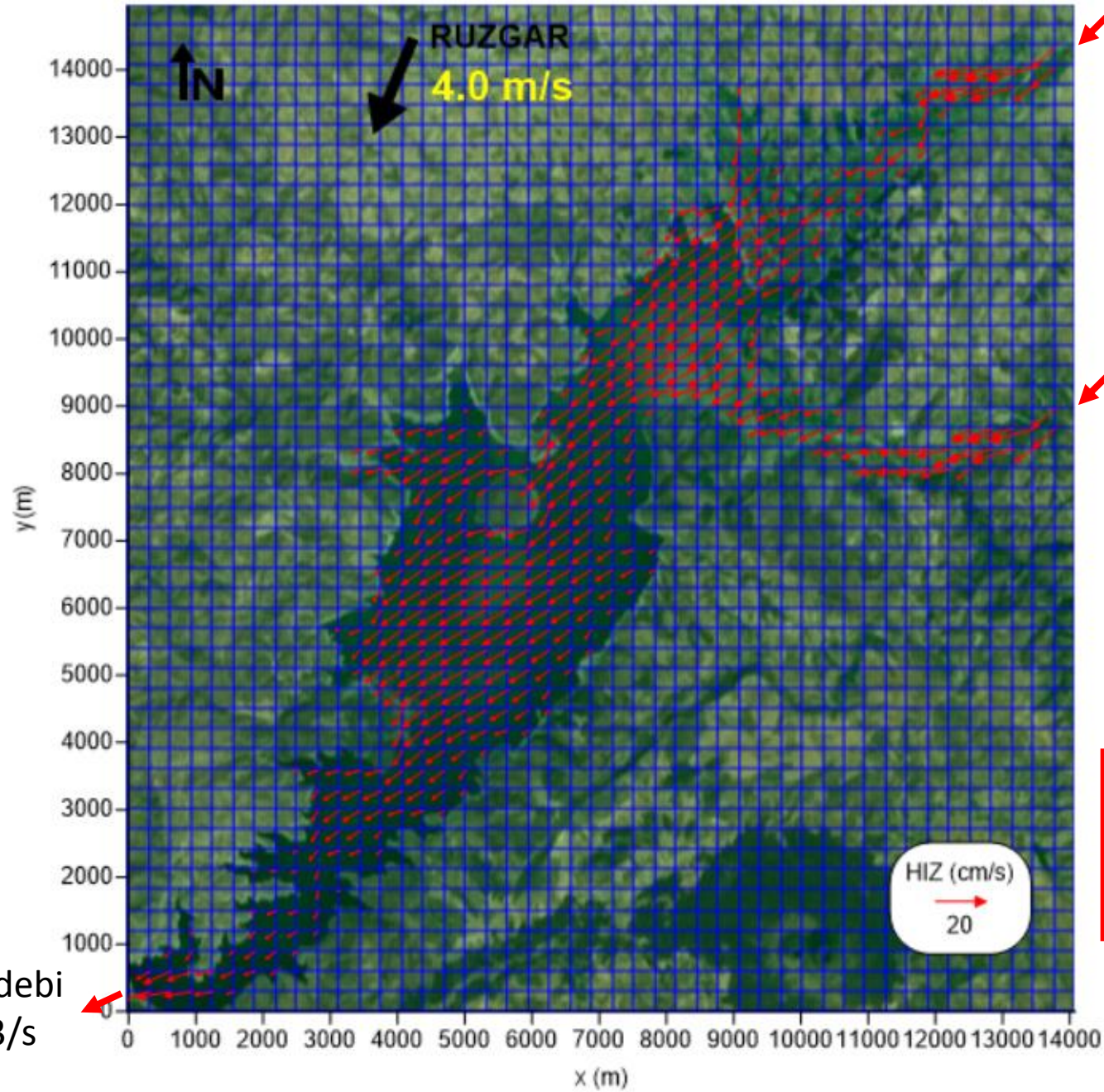


3-B HİDRODİNAMİK MODEL UYGULAMA

Giren Debi= $20 \text{ m}^3/\text{s}$
Çıkan Debi= $10 \text{ m}^3/\text{s}$

Rüzgar 4 m/s ,
KuzeyKuzeyDoğu(NNE)

Çıkan debi
 $10 \text{ m}^3/\text{s}$



Giren debi
 $10 \text{ m}^3/\text{s}$

Giren debi
 $10 \text{ m}^3/\text{s}$

**Yüzey Tabakası
Hız Dağılımı**

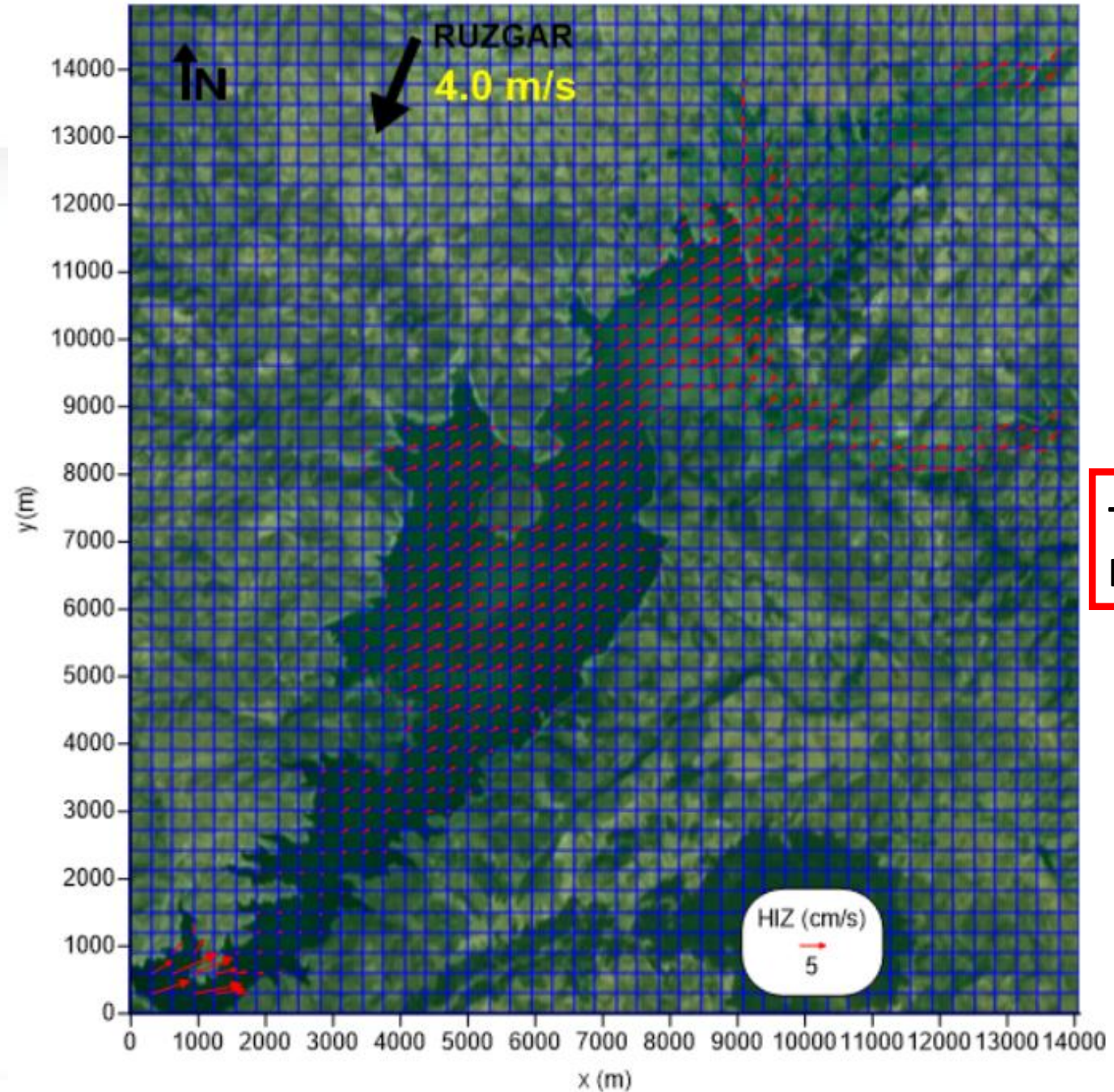


3-B HİDRODİNAMİK MODEL UYGULAMA

Giren Debi=20 m³/s

Çıkan Debi= 10 m³/s

Rüzgar 4 m/s,
KuzeyKuzeyDoğu(NNE)



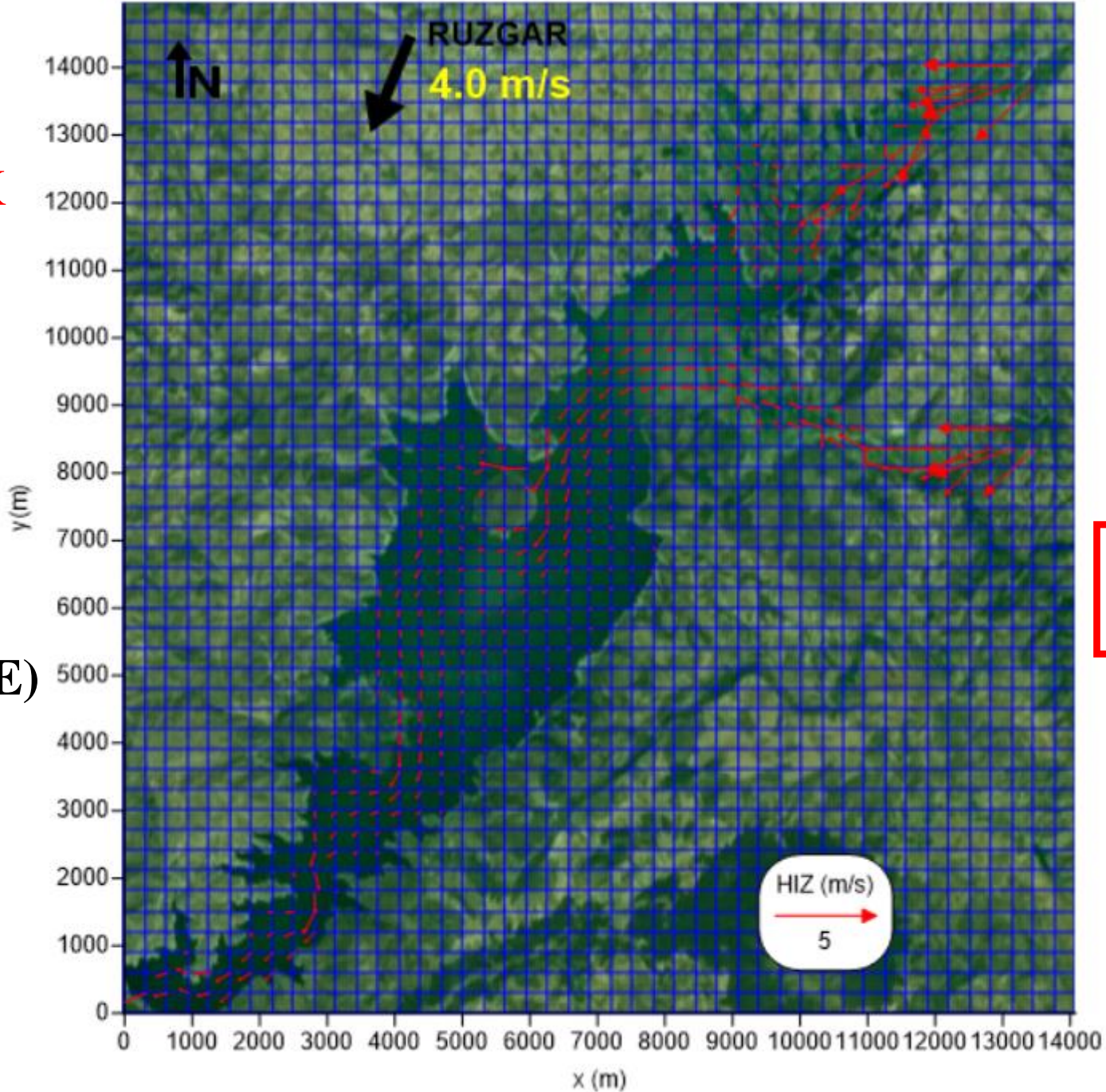
Taban Tabakası
Hız Dağılımı



3-B HİDRODİNAMİK MODEL UYGULAMA

Giren Debi= $20 \text{ m}^3/\text{s}$
Çıkan Debi= $10 \text{ m}^3/\text{s}$

Rüzgar 4 m/s ,
KuzeyKuzeyDoğu(NNE)



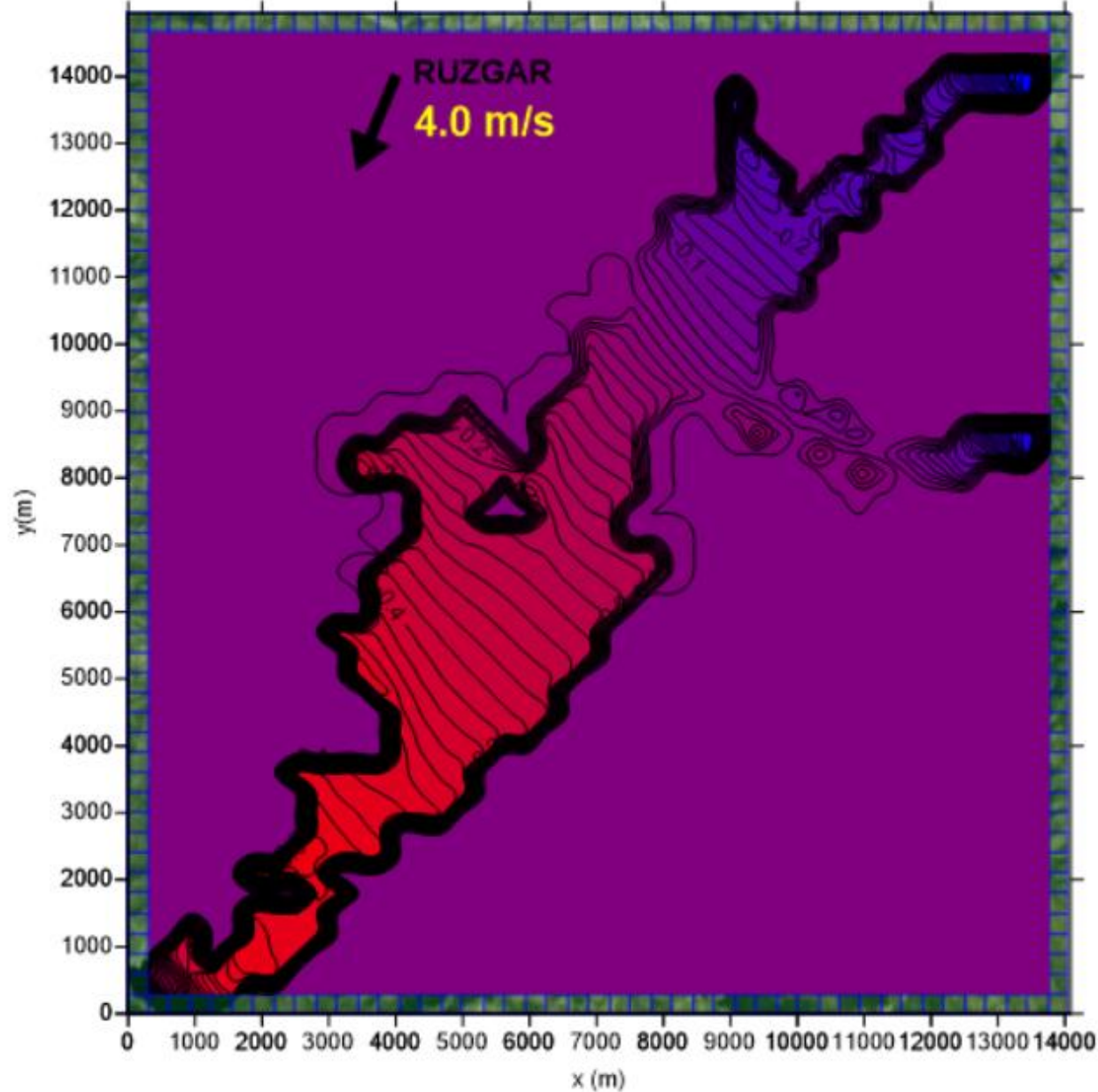
Ortalama çevrinti düzeni

3-B HİDRODİNAMİK MODEL UYGULAMA

Giren Debi=20 m³/s

Çıkan Debi= 10 m³/s

Rüzgar 4 m/s,
KuzeyKuzeyDoğu(NNE)



Su düzeyi değişimi

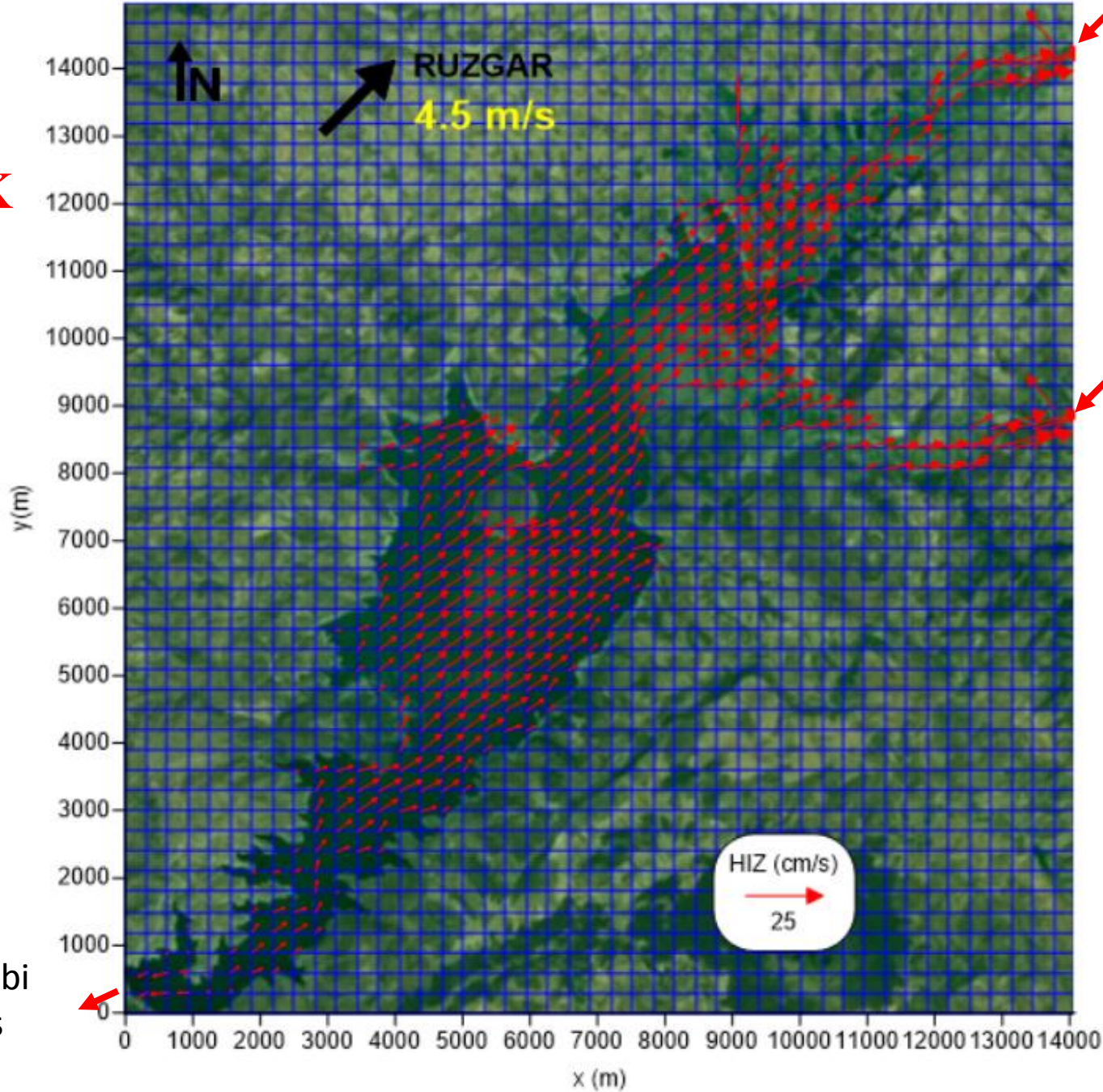


3-B HİDRODİNAMİK MODEL UYGULAMA

Giren Debi= $20 \text{ m}^3/\text{s}$
Çıkan Debi= $10 \text{ m}^3/\text{s}$

Rüzgar $4,5 \text{ m/s}$,
GüneyBatı (SW)

Çıkan debi
 $10 \text{ m}^3/\text{s}$

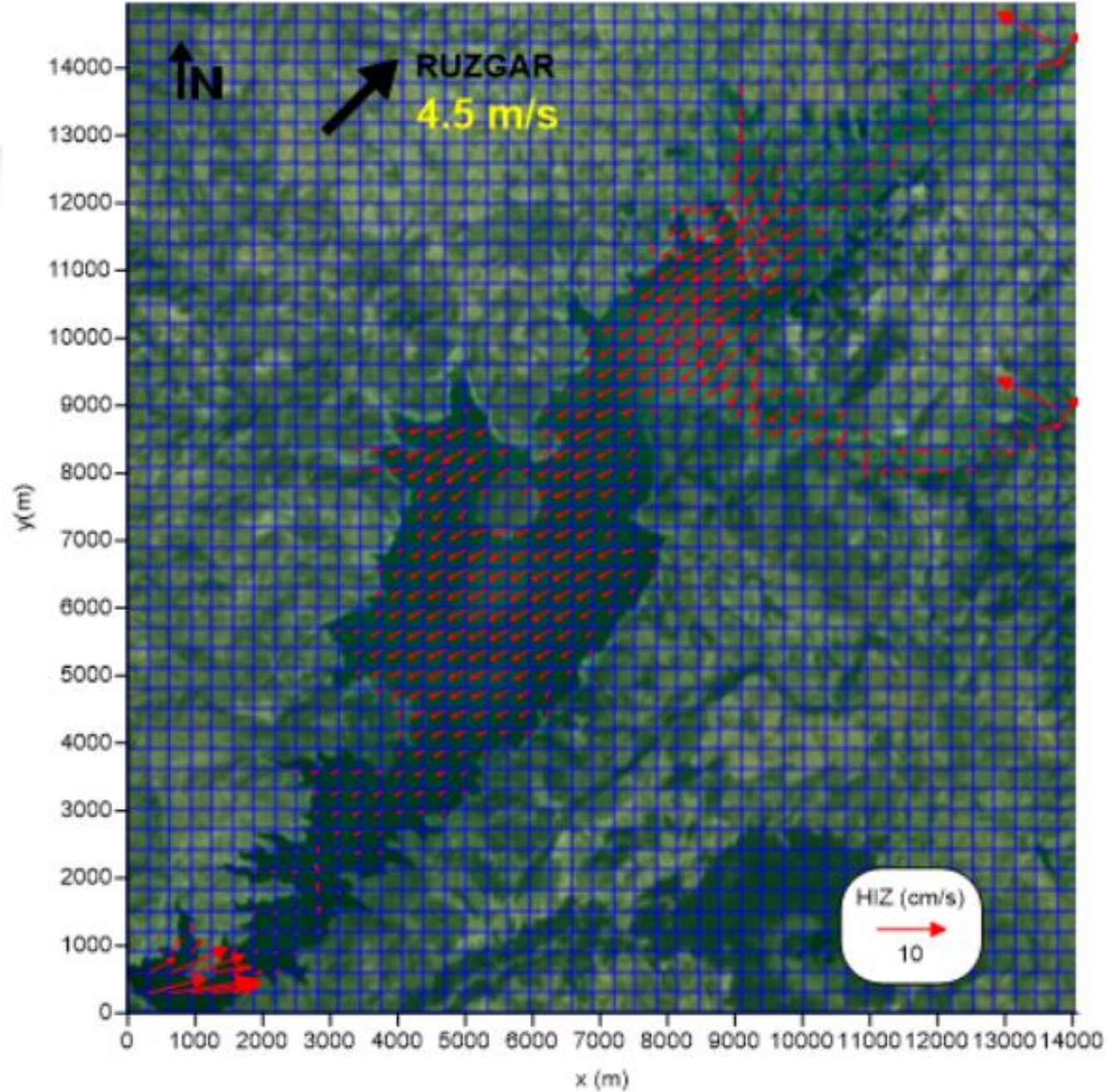




3-B HİDRODİNAMİK MODEL UYGULAMA

Giren Debi= $20 \text{ m}^3/\text{s}$
Çıkan Debi= $10 \text{ m}^3/\text{s}$

Rüzgar $4,5 \text{ m/s}$,
GüneyBatı (SW)



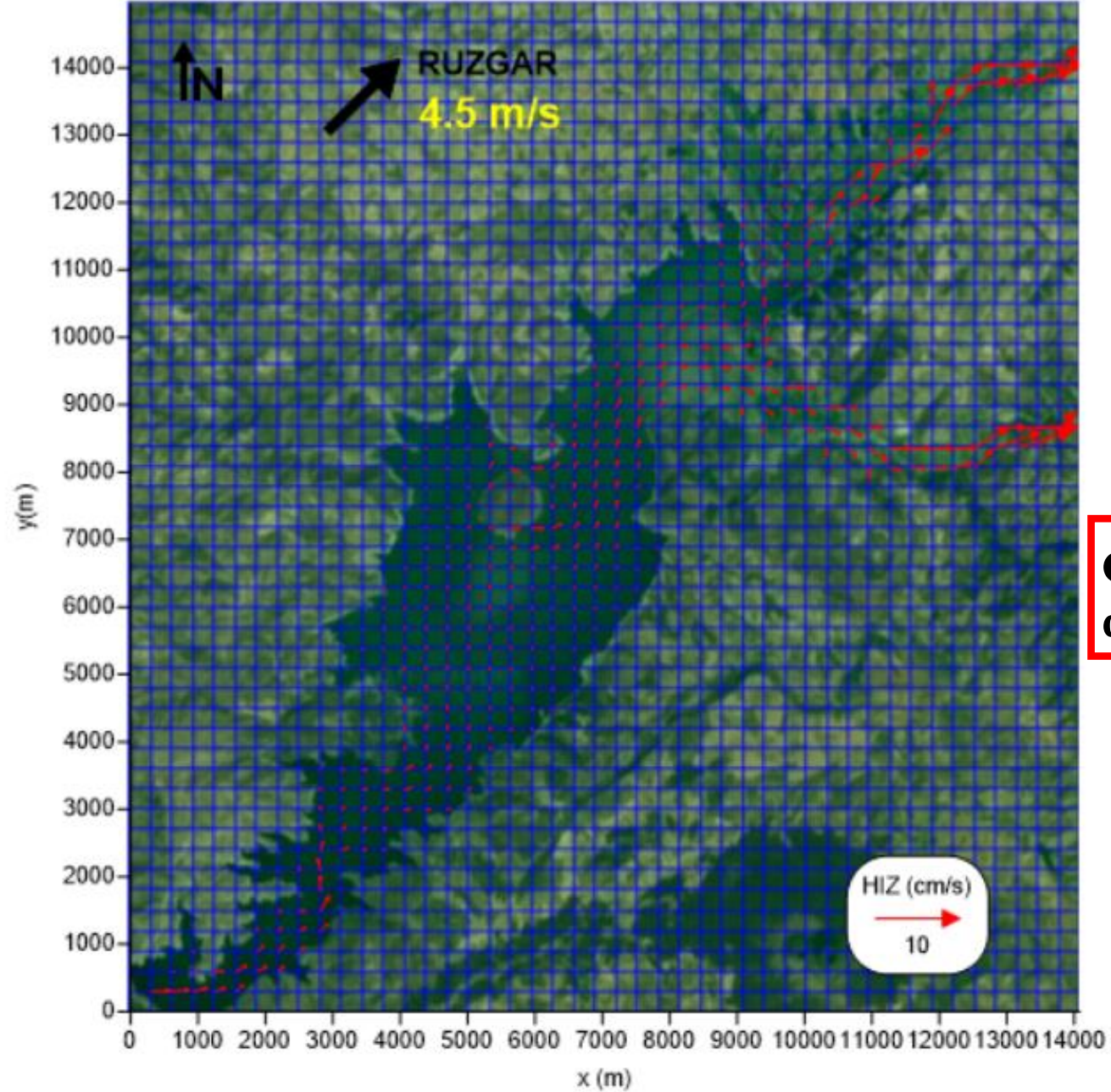
Taban Tabakası
Hız Dağılımı



3-B HİDRODİNAMİK MODEL UYGULAMA

Giren Debi=20 m³/s
Çıkan Debi= 10 m³/s

Rüzgar 4,5 m/s,
GüneyBatı (SW)



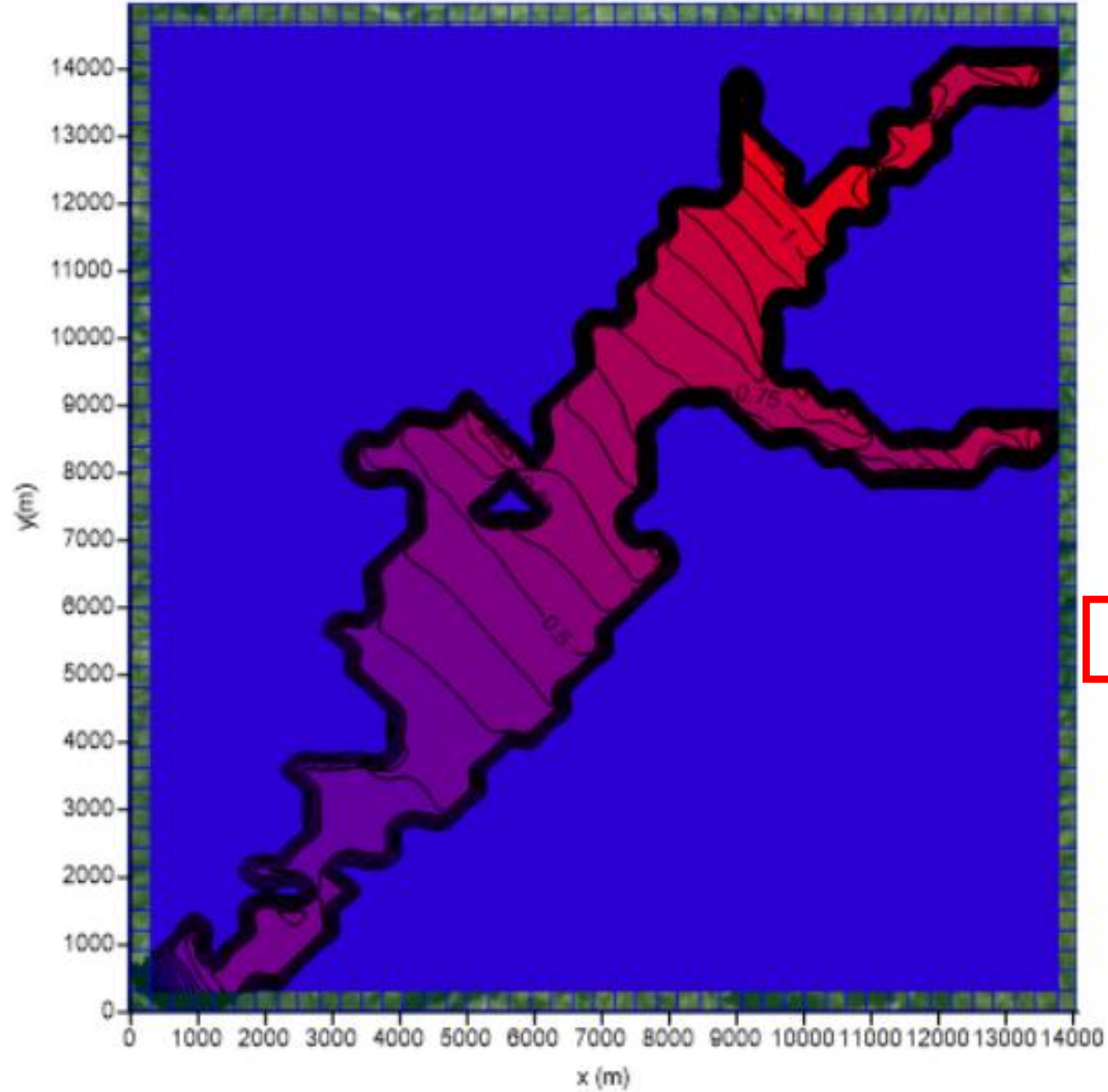
Ortalama çevrinti
düzeni



3-B HİDRODİNAMİK MODEL UYGULAMA-5

Giren Debi=20 m³/s
Çıkan Debi= 10 m³/s

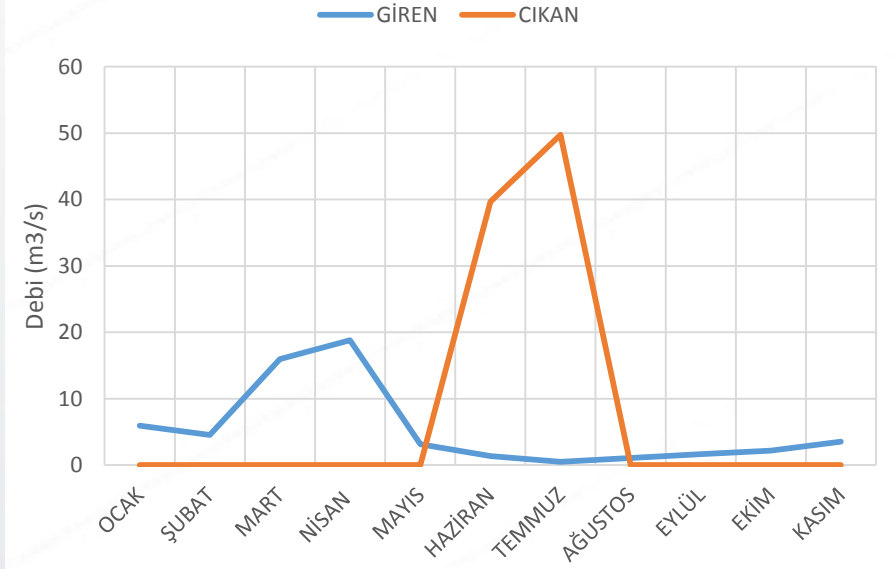
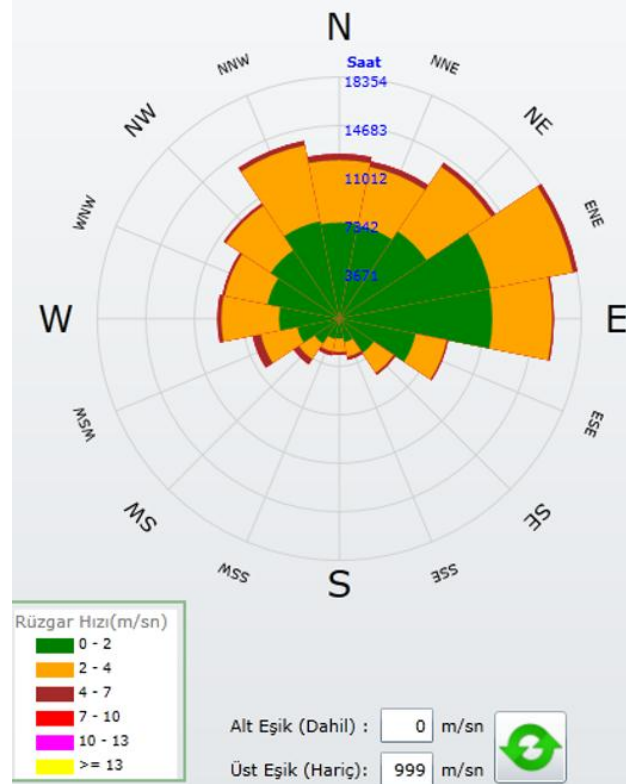
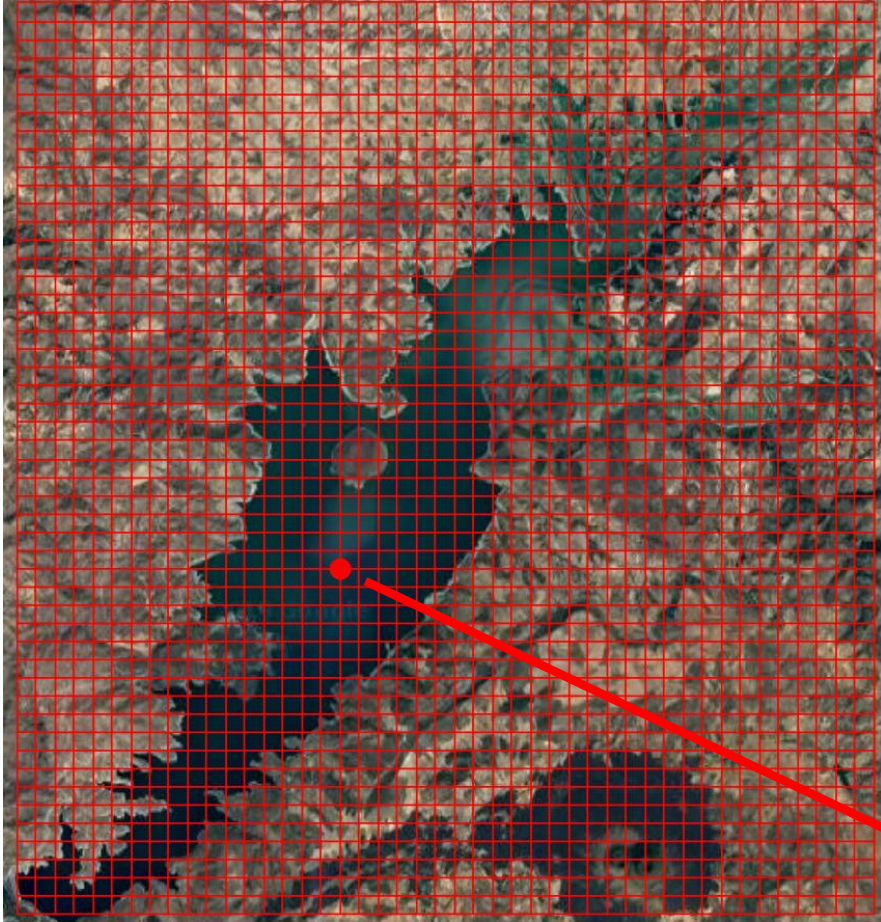
Rüzgar 4,5 m/s,
GüneyBatı (SW)



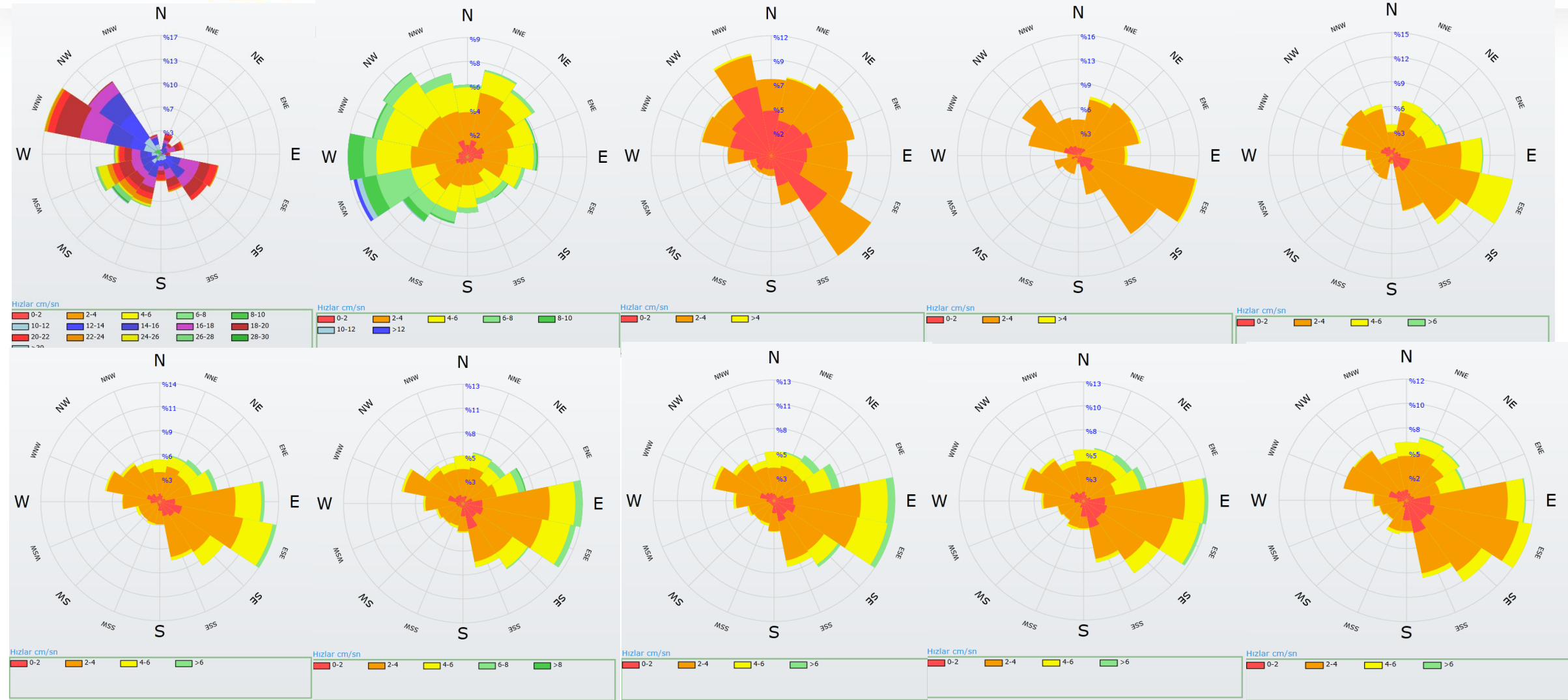
Su düzeyi değişimi

3-B HİDRODİNAMİK MODEL UYGULAMA-6

2008 yılı tüm 6'şar saatlik rüzgar veri seti ve günlük debi ile 1 yıllık model akıntı düzeni benzeştirmesi

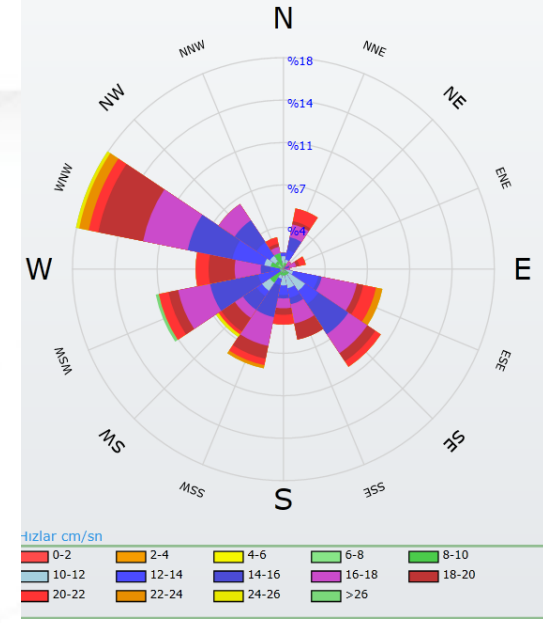
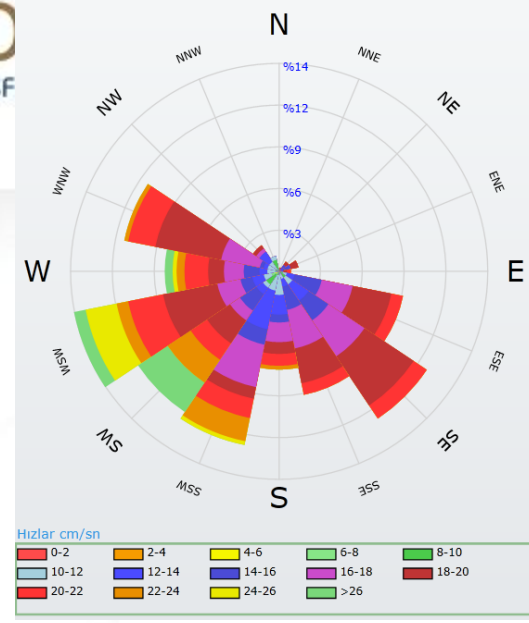
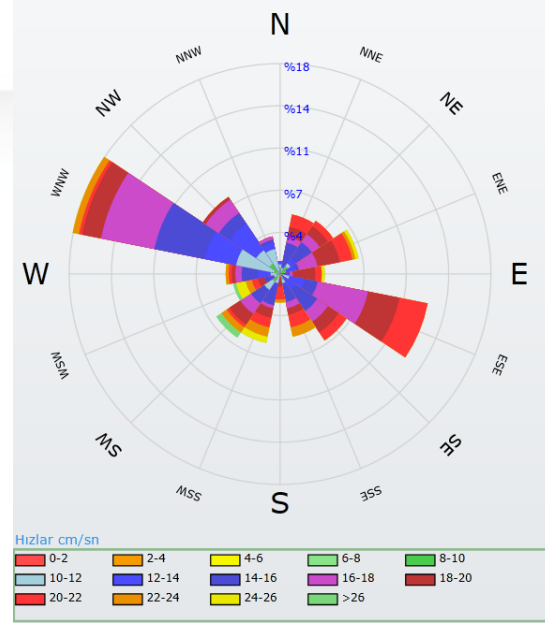
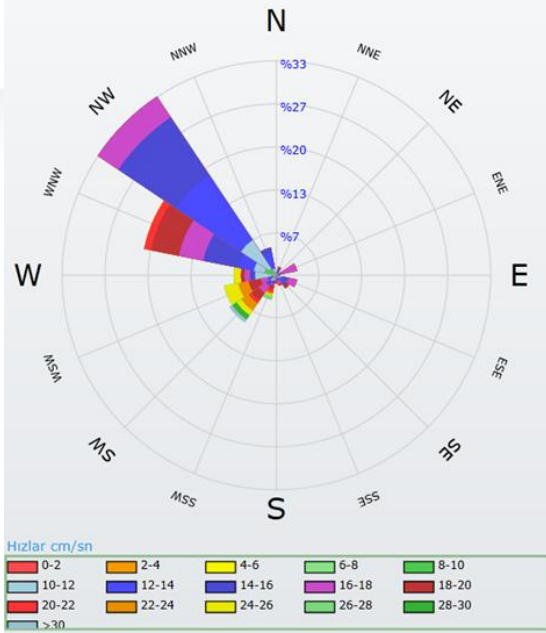


Yıllık Akıntı Gülü Noktası

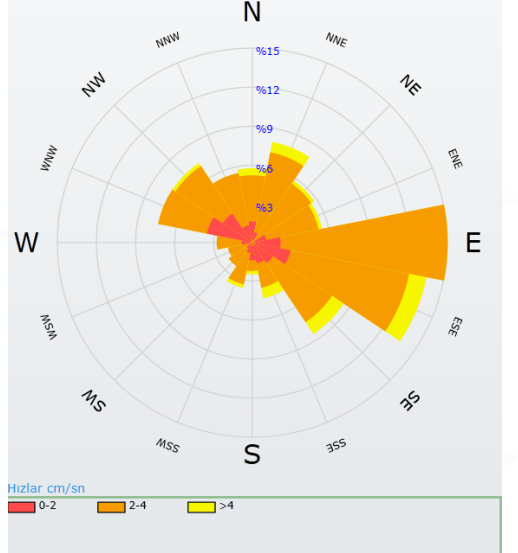
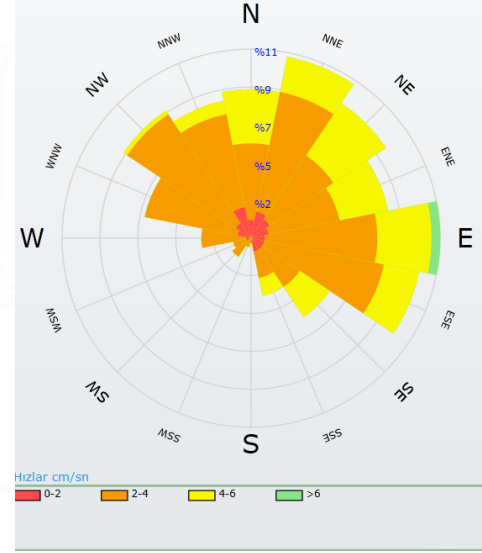
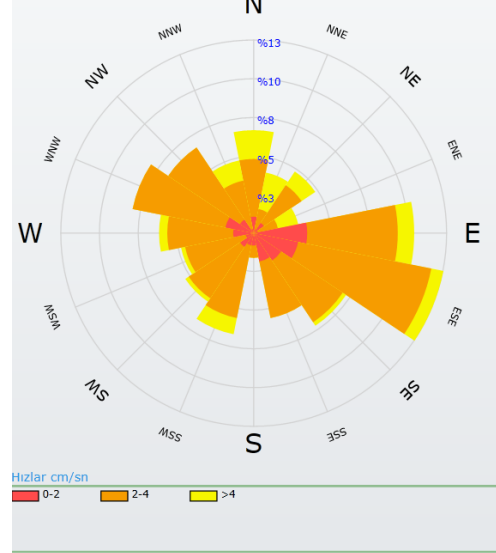
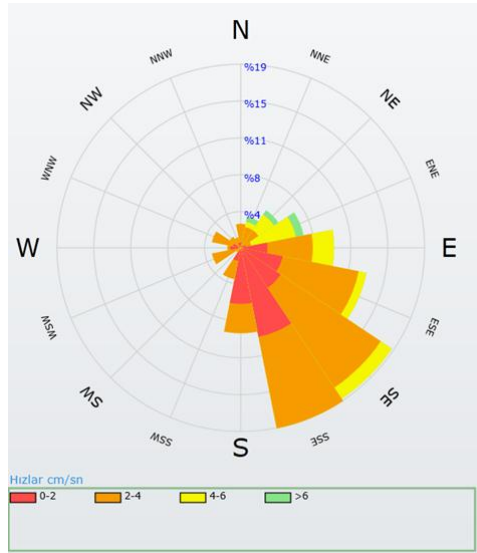


Yüzey tabakasından aşağıya doğru 10 tabaka için akıntı gülleri (2008 yılı için)

yüzey tabakası



taban tabakası



MEVSİMSEL AKINTI GÜLÜ