

# TÜRKİYE KIYILARI ONLINE RÜZGAR, DALGA, KIYISAL AKINTI VE SU KALİTESİ ATLASI

[www.hydrotam3d.com](http://www.hydrotam3d.com)

# HYDROTAM-3D ÜÇ BOYUTLU HİDRODİNAMİK VE TAŞINIM MODELİ

TÜBİTAK PROJESİ No: 7100233

HYDROTAM3D - "BULUT TEKNOLOJİSİ" MİMARİSİNDE .NET  
PLATFORMUNDA, ÜÇ BOYUTLU, GIS ENTEGRE MODELLEME

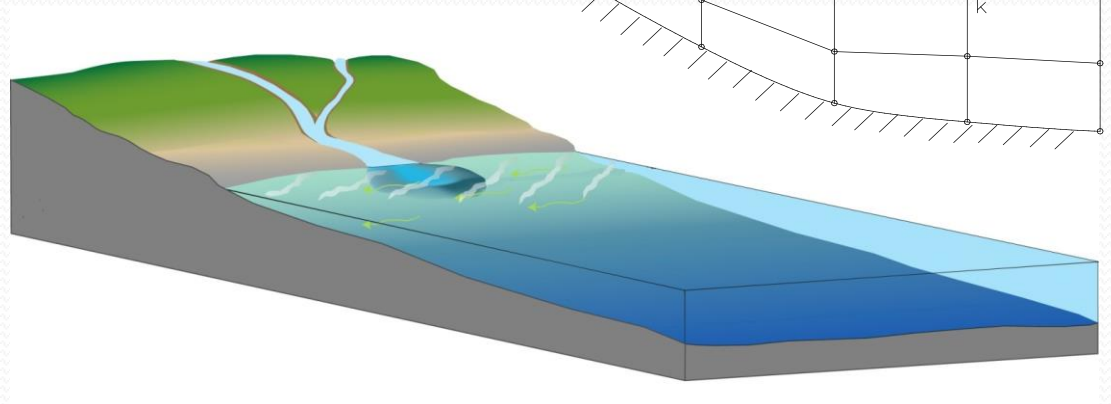
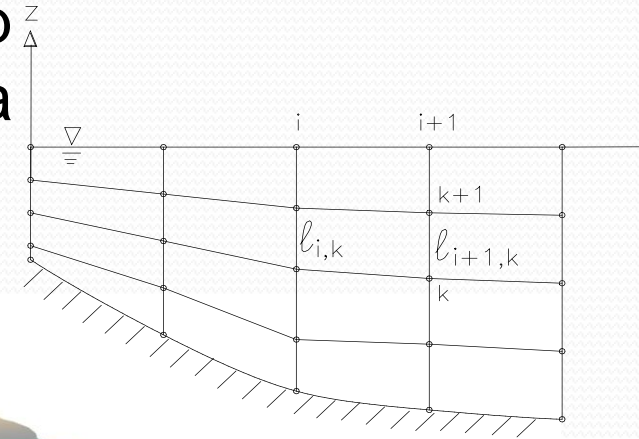
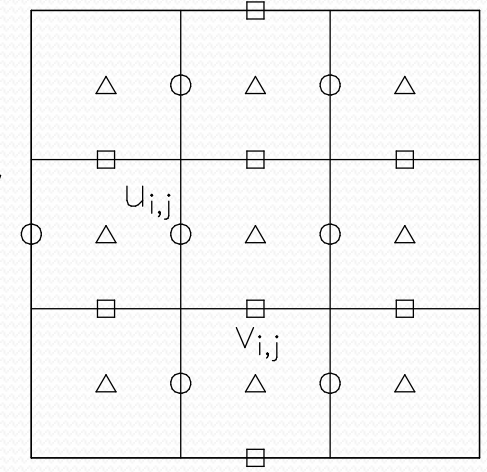
# Yöntem

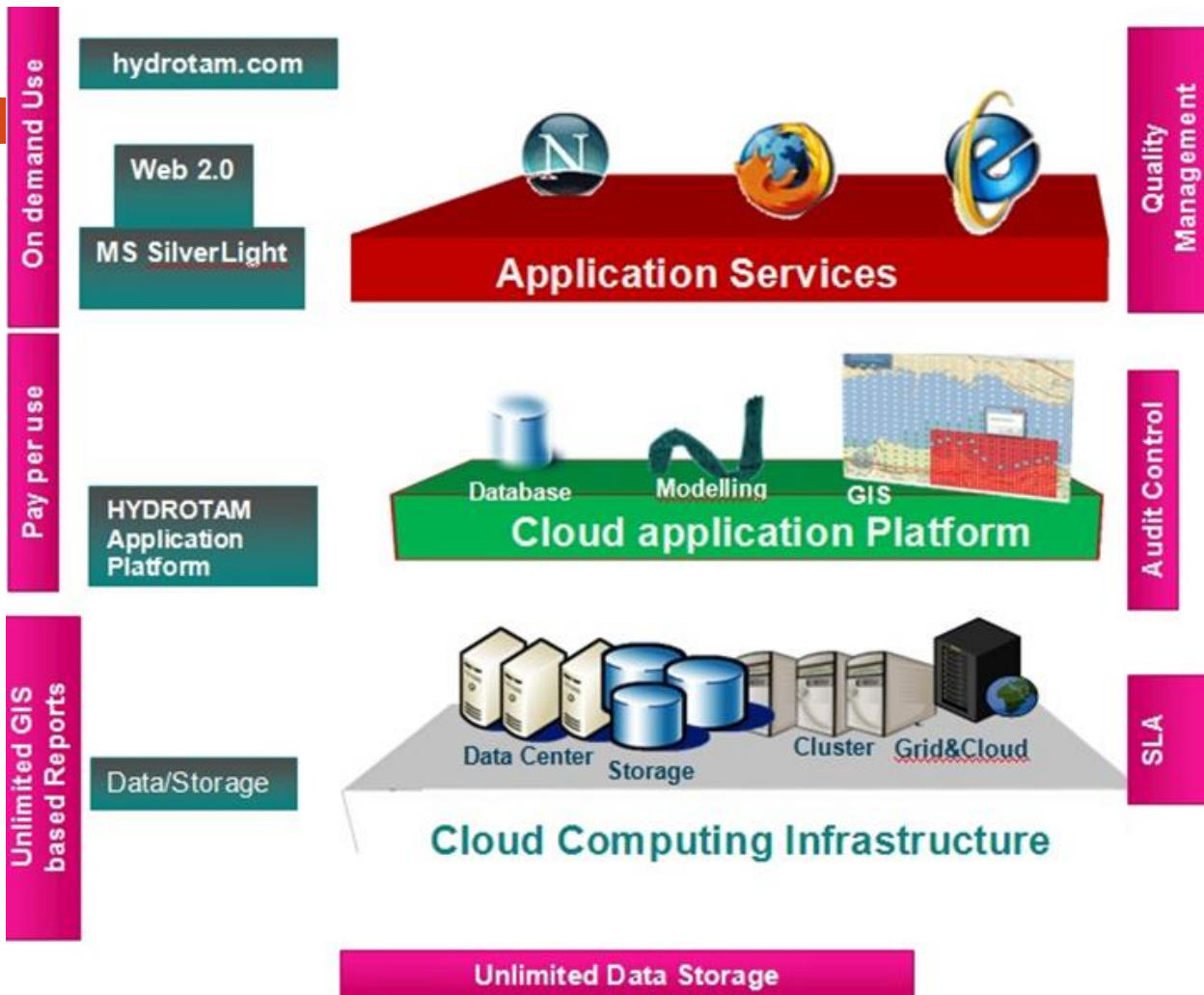
## Model Sayısal Yöntemi

- Yatay düzlemde sonlu farklar yaklaşımları, düşey düzlemde sonlu elemanlar şekil fonksiyonları kullanılmaktadır.
- Su derinliği, taban topoğrafyasını takip eden eşit sayıda katmana ayrılmaktadır.

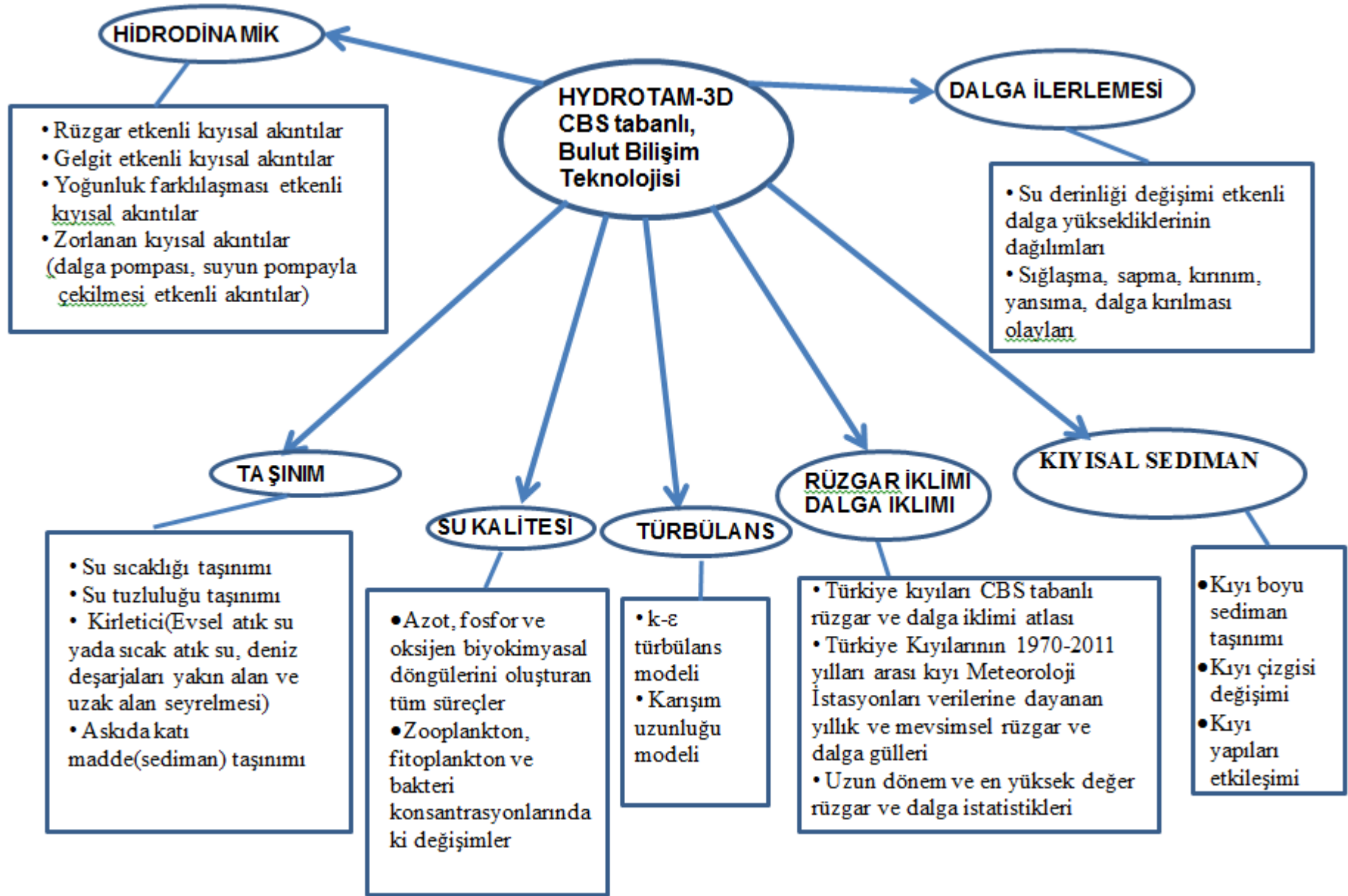
## Model Sınır Koşulları

- Serbest su yüzeyi
- Deniz tabanı
- Açık deniz
- Kıyı









- ❑ Üç boyutlu, alansal ve derinlik boyunca sayısal modelleme yapar.
- ❑ Tüm değişkenlerin, zamana göre değişimlerini içerir. Kullanıcının belirttiği herhangi bir zaman dilimi için sonuç üretebilir.
- ❑ Bulut bilişim mimarisinde olup herhangi bir donanım, yazılım yatırımı ve sistem bakım/yönetimi gerektirmez.
- ❑ Çoklu çekirdek ortamını kullanabildiği için hızlıdır.
- ❑ Modelin çıktıları coğrafi bilgi sistem temellidir, kolayca yorumlanabilir, anlaşılabilir özelliktedir.
- ❑ Model küresel koordinat sistemini kullanır.
- ❑ Sonlu hacimler ve sonlu farklar metodu ile çözüm oluşturur.
- ❑ Modele noktasal yoğunluk tanımlanabilir. Model yoğunluk farklılaşmasını dikkate alarak işlem yapar. Baroklinik bir modeldir.
- ❑ Modele noktasal su sıcaklıkları, su tuzlulukları tanımlanabilir.
- ❑ Modelde Coriolis faktör bileşeni mevcuttur.
- ❑ Kullanıcı istenildiğinde farklı hız ve yönlerde bir çok rüzgar verisi tanımlayabilir.
- ❑ Model batimetri verilerinin sisteme yüklenmesine izin verir.
- ❑ Model, batimetri verisi olmayan yerler için kendisi CBS çözümlemesi yapar.
- ❑ Model "çoklu nokta seçimine" izin verir, çözümlemeyi ve raporlamayı seçilen noktalar için gerçekleştirir.
- ❑ Model kıyısal deniz, haliç, lagün ve göl ortamlarına uygulanabilir.

# ALT MODELLER

RÜZGAR İKLİMİ

DALGA İKLİMİ

DALGA İLERLEMESİ

KIYISAL AKINTILAR

TÜRBÜLANS

KİRLETİCİ , ASKIDA KATI MADDE, KIYI BOYU SEDİMAN TAŞINIMI

SU KALİTESİ

## **HYDROTAM-3D UYGULAMALARI**

- Fethiye Körfezi (Akıntı düzeni, kirletici dağılımı, sediment taşınımı, su kalitesi)
- Kaş Körfezi (Akıntı düzeni, kirletici dağılımı, su kalitesi)
- İzmir Körfezi (Akıntı düzeni, kirletici dağılımı, sediment taşınımı, su kalitesi)
- Samsun Körfezi Akıntı düzeni, kirletici dağılımı, su kalitesi)
- Göksu Lagünü (Akıntı düzeni)
- Marmaris Körfezi (Akıntı düzeni, deniz deşarjı)
- Bodrum Körfezi (Akıntı düzeni, deniz deşarjı)
- Ölüdeniz Lagünü ve Belceğiz Kumsalı (Akıntı düzeni, kirletici dağılımı)
- Obaköy (Akıntı düzeni, deniz deşarjı)
- Kemer, Çamyuva, Göynük, Belek (Akıntı düzeni, deniz deşarjı)
- Mersin Körfezi (Akıntı düzeni, deniz deşarjı, petrol kirliliği yayılımı)
- İskenderun Körfezi (Akıntı düzeni, petrol kirliliği yayılımı, su kalitesi)
- İzmit Körfezi (Akıntı düzeni, petrol kirliliği yayılımı, su kalitesi)
- Antalya Körfezi (Akıntı düzeni, deniz deşarjı, su kalitesi)
- Cardiff Körfezi (Akıntı düzeni, su seviyesi değişimleri, gelgit)
- Karasu Limanı (Akıntı düzeni, askıda madde taşınımı)
- Samsun Limanı (Akıntı düzeni, petrol kirliliği yayılımı)
- Gökova Körfezi (Akıntı düzeni, sediment taşınımı)
- Dimçay, Boğaçay, Alara, Pot Deresi (Akıntı düzeni, sediment taşınımı)
- Karasu, Göksu, Ağva (Akıntı düzeni, sediment taşınımı)

# RÜZGAR İKLİMİ ALT MODELİ

- HYDROTAM-3D veri tabanı, Türkiye kıyılarının tüm Meteoroloji İstasyonlarının kuruluşlarından günümüze saatlik rüzgar (yaklaşık olarak 1970-2014) verilerini içermektedir.
- Tüm istasyonların yerleri, Türkiye haritası üzerinde CBS ortamında gösterilmektedir.
- Çalışılmak istenen denizel alan, harita üzerinde işaretlenebilmekte, ve alana en yakın meteoroloji istasyonları harita üzerinde gösterilmektedir.
- Kullanıcı çalışmak istediği istasyonu harita üzerinden seçebilmektedir.
- Seçilen istasyona ait saatlik rüzgar verileri analiz edilmekte, aylık, yıllık ve mevsimlik rüzgar gülleri sunulmaktadır.

- Yıllık rüzgar gülü, meteoroloji istasyonlarındaki ölçüm süresi boyunca, farklı yönlerden farklı hızlar ile esen rüzgarların oluşma oranlarını göstermektedir.
- Rüzgarın hangi yönden hangi yöne doğru esmekte olduğunu gösteren yön dilimleri, coğrafik yönlerle aynı seçilmiştir.
- Yıllık, mevsimsel, aylık rüzgar gülleri

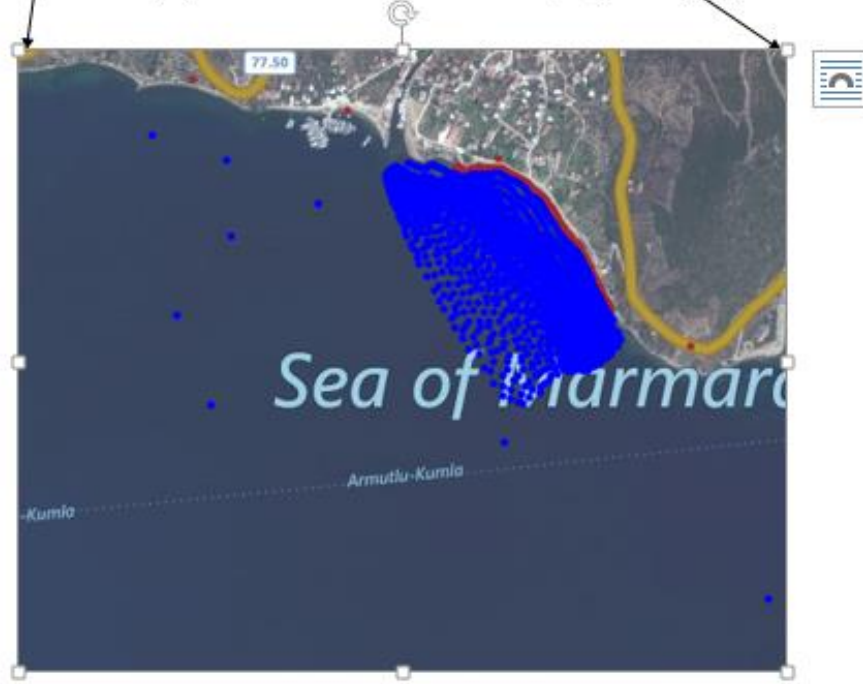
- **ECMWF operasyonel arşiv**( Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi)
- **ERA-interim** (ECMWF Re-analiz)

**0.1° x 0.1° (yaklaşık 11 km x 11 km) alansal çözünürlükle tüm Türkiye kıyıları için Meteorolojik Arşivleme Sistemi (MARS)'den elde edilmiştir**





Harita 1. Çalışma Sahası Genel Coğrafi Konumu (Google Earth, 2015)



Harita 2. Çalışma Sahasının Konumu (HYDROTAM3D, 2015)

Çalışma bölgesinin rüzgâr ikliminin belirlenebilmesi için, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilen Yalova(1983-2014 yılları arası saatlik rüzgarlar) Meteoroloji İstasyonlarına ve ECMWF'e ait 40.4 N, 29.0 E (2000-2014 yılları arası 6 saatlik rüzgar tahminleri)koordinatlarında deniz üstü rüzgâr verileri incelenmiştir (Harita 3).

Model çalışmalarında, bu iki veri kaynağının bütünleştirilerek kullanılmasının çalışma bölgesinin rüzgâr ve dalga iklimini en iyi yansıtacağı görülmüş ve yönlere göre rüzgâr oluşum sayıları belirlenerek yıllık rüzgâr gülü oluşturulmuştur(Çizim 2)



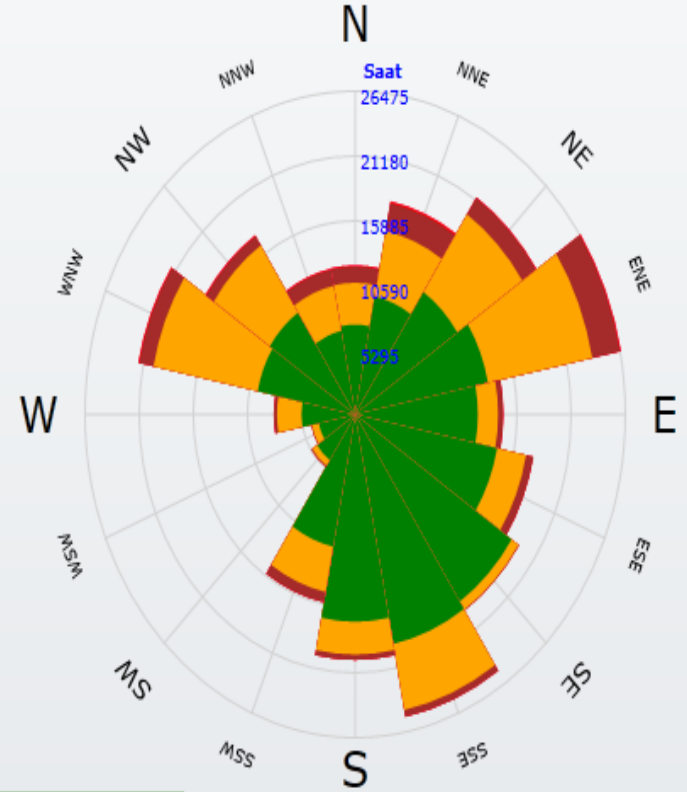
Harita 3. Meteoroloji İstasyonunun ve ECMWF Ağının Konumları (HYDROTAM-3D)

# YALOVA

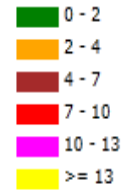
## Rüzgar İstatistikleri

Yön	Max. Hız	Ort. Hız	Top. Saat	0-2*	2-4*	4-7*	7-10*	10-13*	>=13m/sn
Hiç Esmedi			1						
N	10.5	2.1	12178	7342	3416	1313	106	1	
NNE	10.2	2.2	17751	9827	5437	2328	158	1	
NE	10.3	2	21328	12018	7633	1622	53	2	
ENE	9.4	2.2	26475	13236	10389	2763	87		
E	7.8	1.3	14474	11977	1989	494	14		
ESE	7.1	1.3	17744	14139	2892	712	1		
SE	7	.8	19242	18387	794	60	1		
SSE	8.2	1.4	25176	19109	5505	559	3		
S	8.2	1.1	20049	16928	2680	435	6		
SSW	9.4	1.6	15651	11004	3775	854	18		
SW	6.7	1.1	5152	4474	567	111			
WSW	8	1.2	4366	3613	688	64	1		
W	9.2	1.7	7957	5239	2393	298	27		
WNW	14.2	2.2	21612	9704	10387	1424	91	3	3
NW	10.1	1.9	17595	10019	6587	901	87	1	
NNW	11.4	2.1	12138	6960	3753	1324	97	4	
Kümüle saat			258888	173976	242861	258123	258873	258885	258888
Kümüle %				67	94	100	100	100	100

\*Hız aralığında başlangıç hızı dahil, bitiş hızı hariç. Örn. 0-2 grubuna 0 hızlar dahil, 2m/sn hızlar hariç.



Rüzgar Hızı(m/sn)



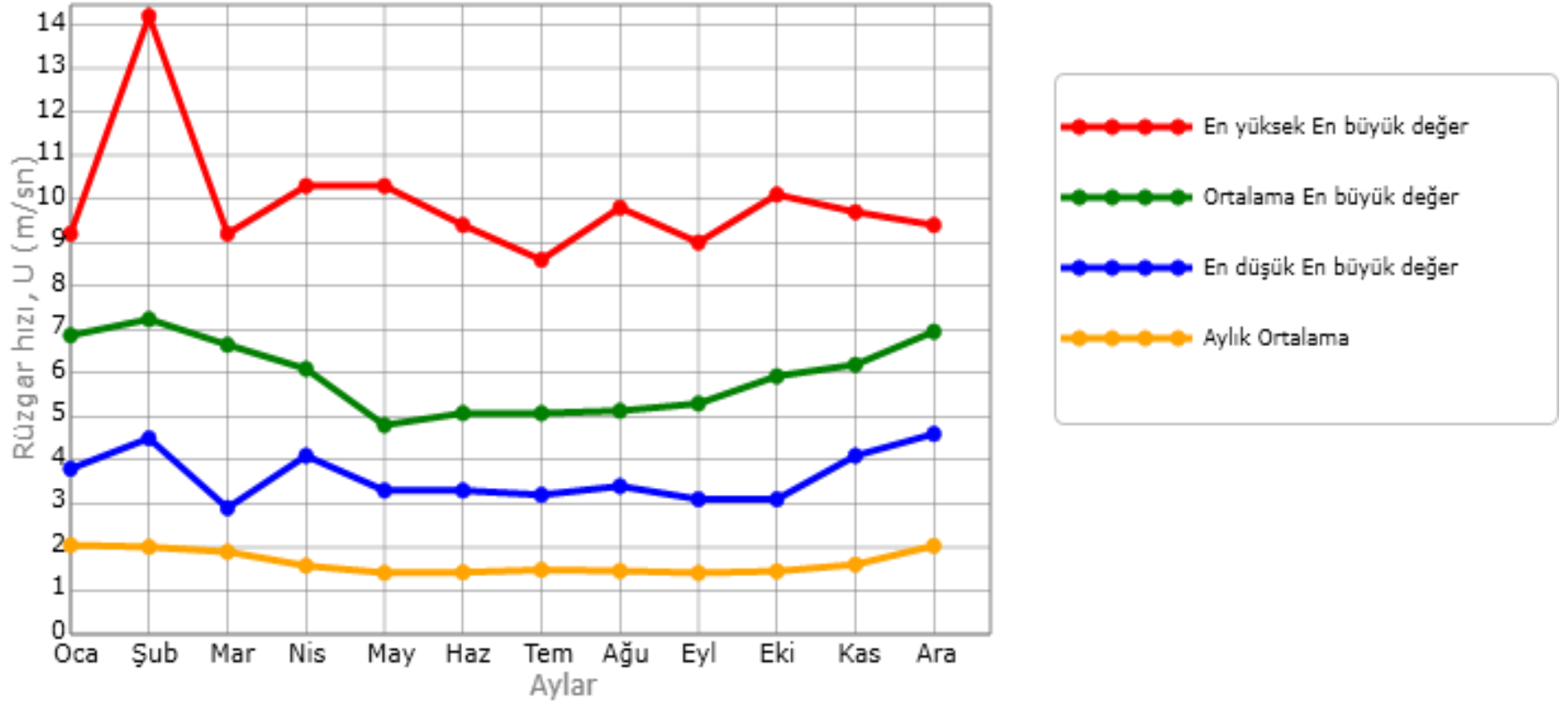
Alt Eşik (Dahil) : 0 m/sn

Üst Eşik (Hariç): 999 m/sn

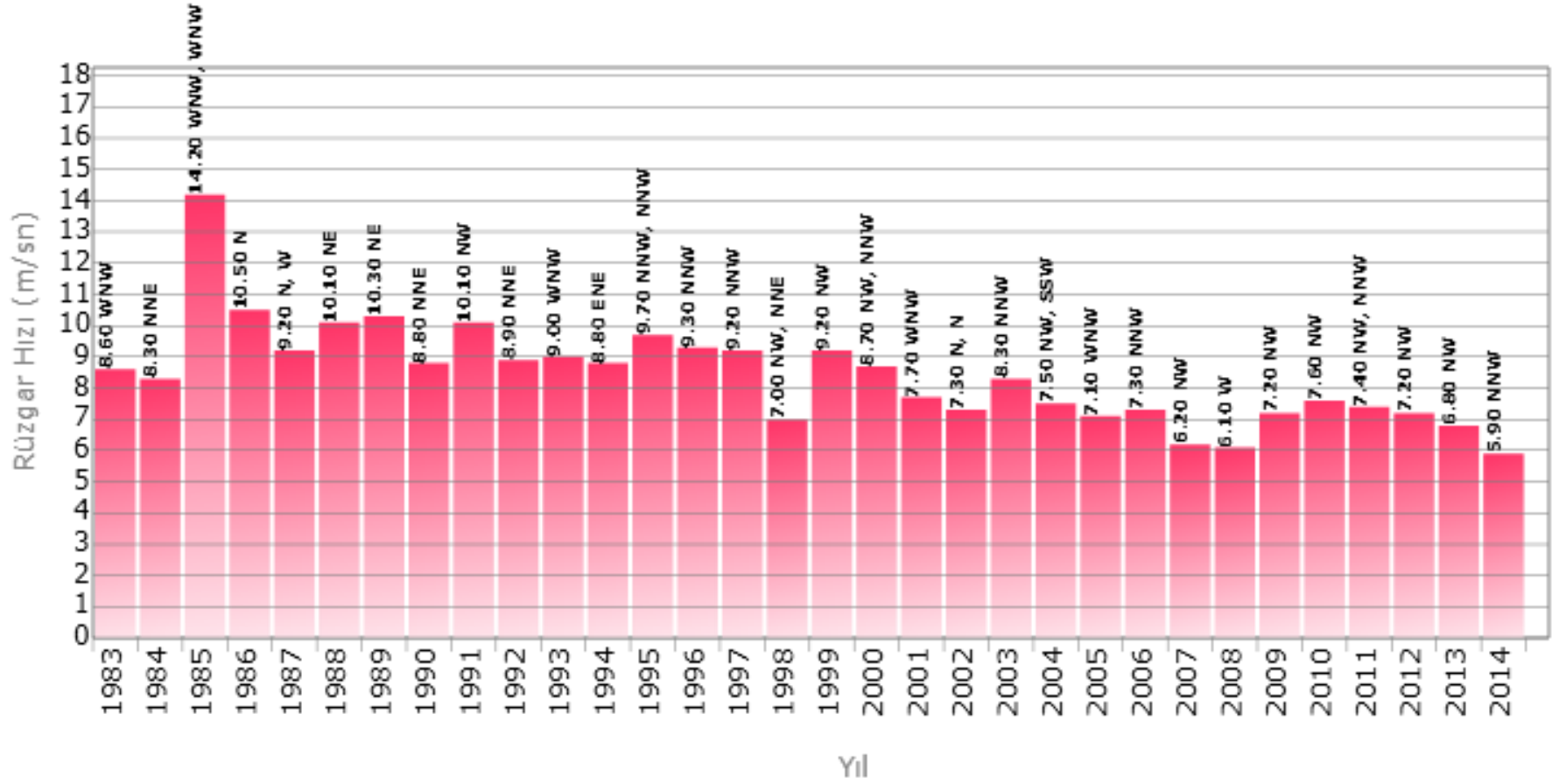


Yalova meteoroloji istasyonu verilerine göre yıllık rüzgar gülü (HYDROTAM-3D)

## Aylık Ortalama ve En uç değer Rüzgar hızları



Yalova Meteoroloji İstasyonu (1983 – 2014) için aylık ortalama ve en uç değer rüzgâr hızları

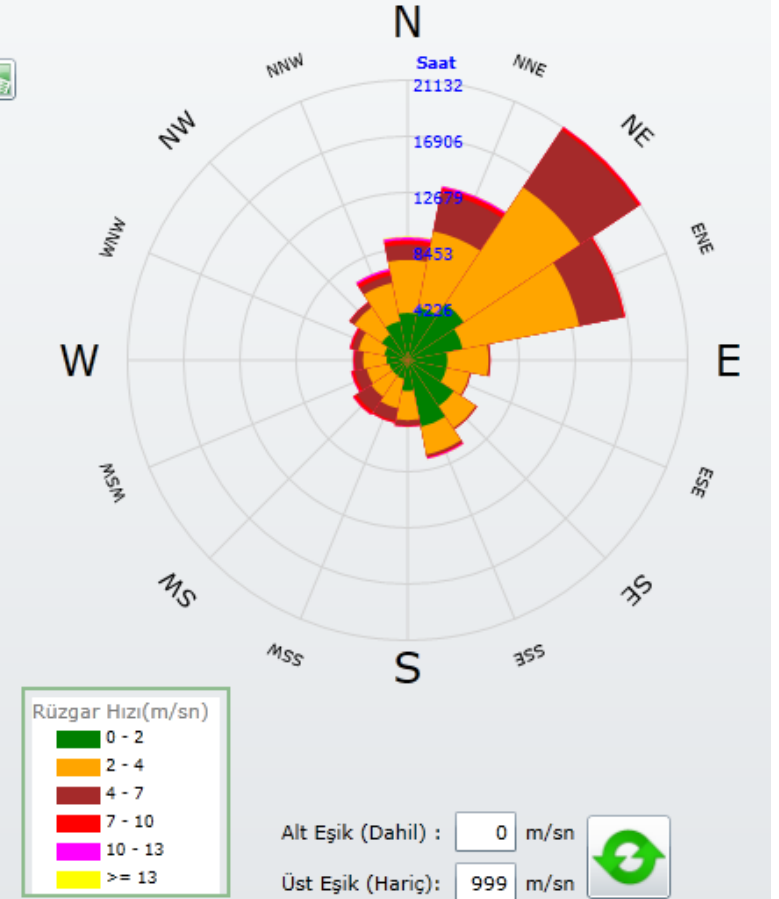


Yalova Meteoroloji İstasyonu (1983 – 2014) için yıllara göre en yüksek rüzgâr hızları ve esme yönleri

## ECMWFuv(40.4,29)

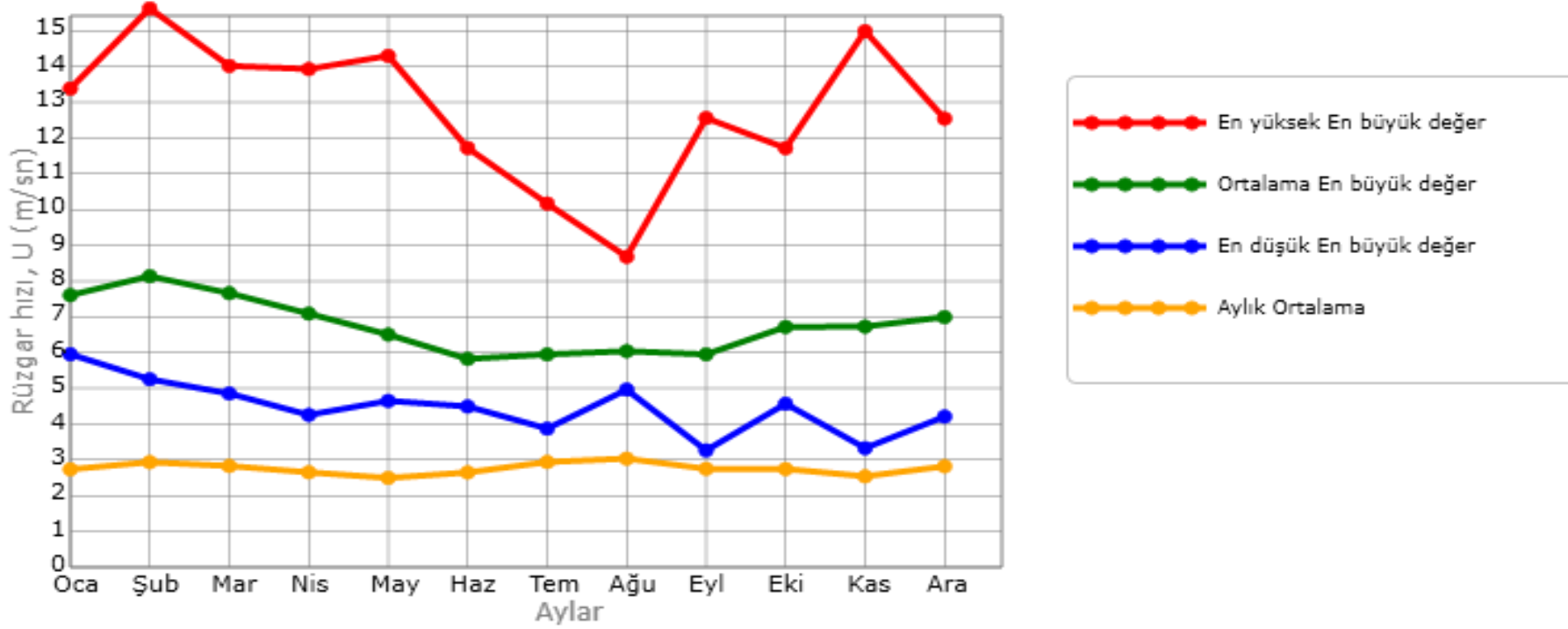
Rüzgar İstatistikleri									
Yön	Max. Hız	Ort. Hız	Top. Saat	0-2*	2-4*	4-7*	7-10*	10-13*	>=13m/sn
Hiç Esmedi									
N	15.2	.5	9306	3558	3990	1134	372	192	60
NNE	13.6	.5	13374	4068	5820	2958	378	138	12
NE	12.2	.5	21132	5112	10530	5190	252	48	
ENE	9.1	.5	16698	4224	8958	3372	144		
E	8.7	.3	6240	3000	3096	114	30		
ESE	9.9	.3	4866	2982	1794	78	12		
SE	14.3	.3	6312	4176	2004	84	30	12	6
SSE	13.5	.3	7590	5100	2136	174	78	84	18
S	15.6	.4	5046	2322	2196	408	78	36	6
SSW	11.5	.5	4830	1434	2268	972	144	12	
SW	13.9	.6	4980	1392	1920	1320	288	54	6
WSW	11.8	.5	4362	1398	1752	924	234	54	
W	11.2	.5	4116	1578	1782	600	120	36	
WNW	12.5	.5	4464	1788	1980	492	168	36	
NW	10.1	.4	5292	2346	2466	426	48	6	
NNW	12.8	.5	7008	2976	2946	576	348	162	
Kümüle saat			125616	47454	103092	121914	124638	125508	125616
Kümüle %				37	82	97	99	100	100

\*Hız aralığında başlangıç hızı dahil, bitiş hızı hariç. Örn. 0-2 grubuna 0 hızlar dahil, 2m/sn hızlar hariç.



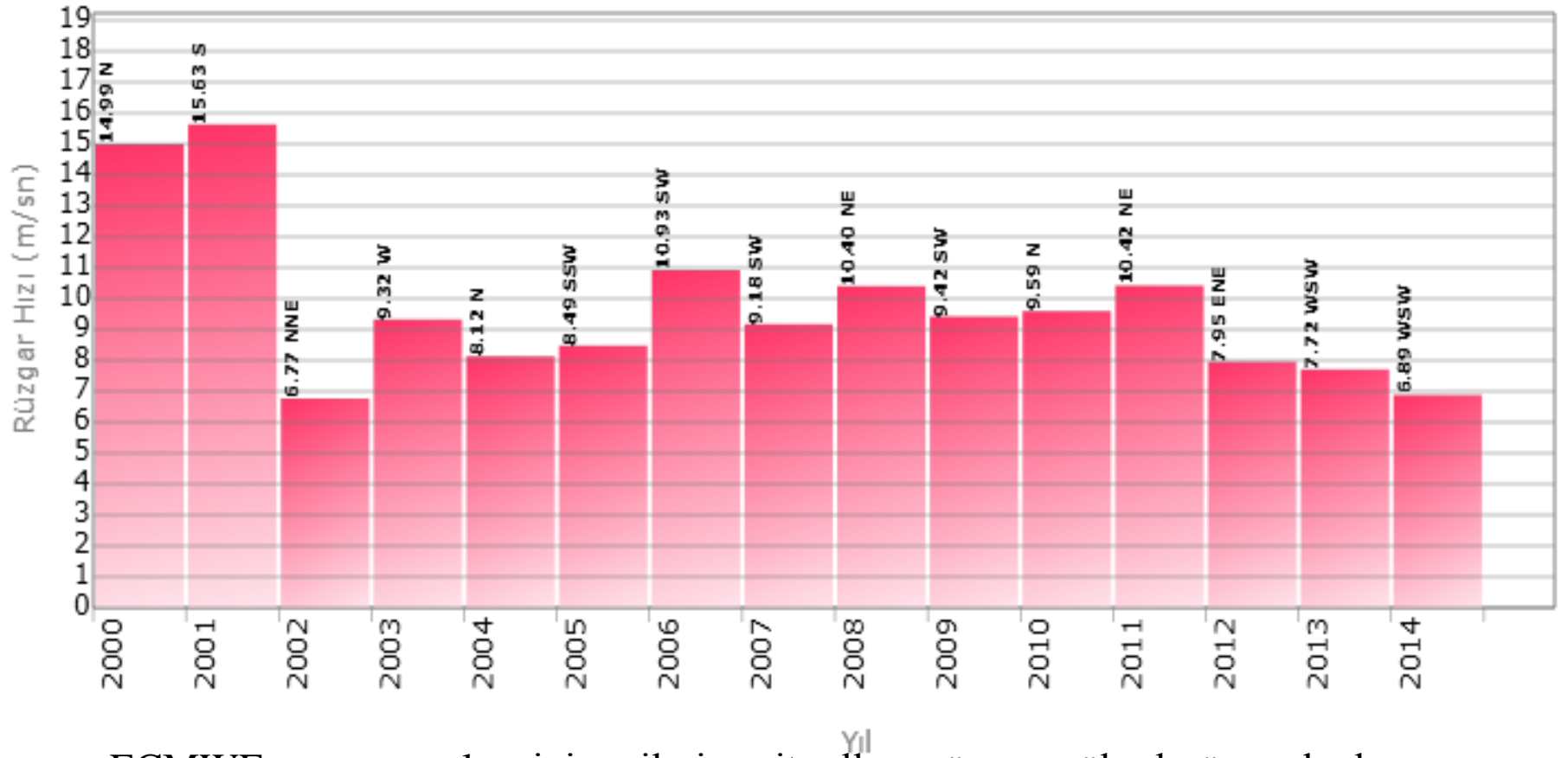
2000-2014 yılları arası ECMWF operasyonel arşivi verilerine göre yıllık rüzgar gülü

### Aylık Ortalama ve En uç değer Rüzgar hızları



ECMWF operasyonel arşivi verilerine ait aylık ortalama ve en uç değer rüzgar hızları





ECMWF operasyonel arşivi verilerine ait yıllara göre en yüksek rüzgar hızları ve esme yönleri

# DALGA İKLİMİ ALT MODELİ

- Ampirik model: Dünyada en çok kullanılan, ölçümlerle test edilmiş **CEM (US Army, 2006)**
- Sayısal model: Dalga Modeli Geliştirme ve Uygulama Grubu (WAMDI) tarafından üretilen üçüncü nesil dalga tahmin modeli olan WAM modeli dalga tahminleri (2000-2014 yılları arası 6 saatlik tüm veriler)

**0.1° x 0.1° (yaklaşık 11 km x 11 km) alansal çözünürlükle tüm Türkiye Kıyıları**

Uzun dönem

En yüksek değer

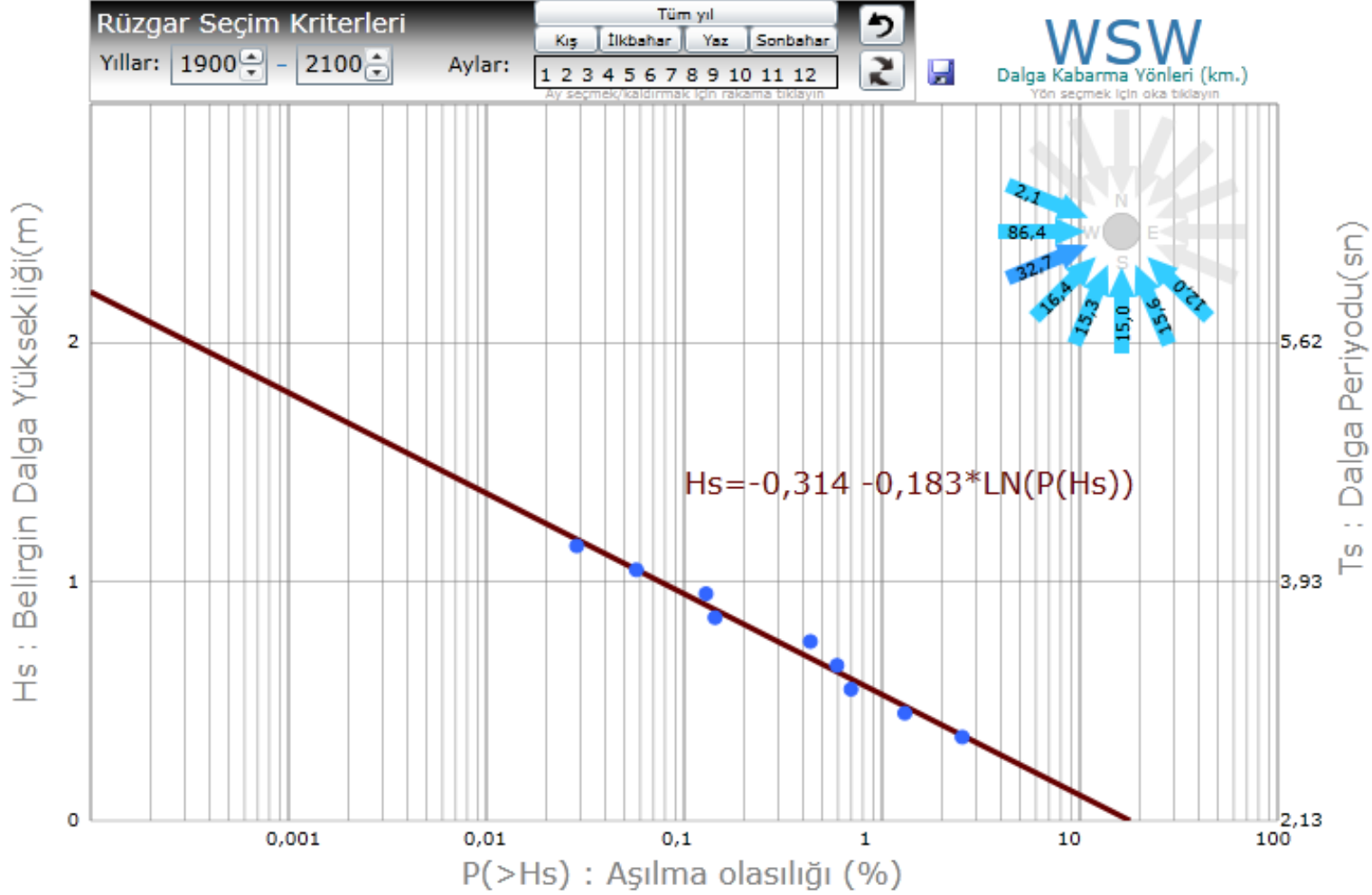


Harita 4. Yönlere göre dalga kabarma mesafeleri (feç)

Çizelge 1.Etkin Dalga Kabarma Mesafeleri (feç) (km)

Yön	Mesafe(Km)	Yön	Mesafe (Km)
GüneyDoğu(SE)	12.0	GüneyBatı(SW)	16.4
GüneyGüneyDoğu(SSE)	15.6	BatıGüneyBatı(WSW)	32.7
Güney(S)	15.0	Batı(W)	86.4
GüneyGüneyBatı (SSW)	15.3		

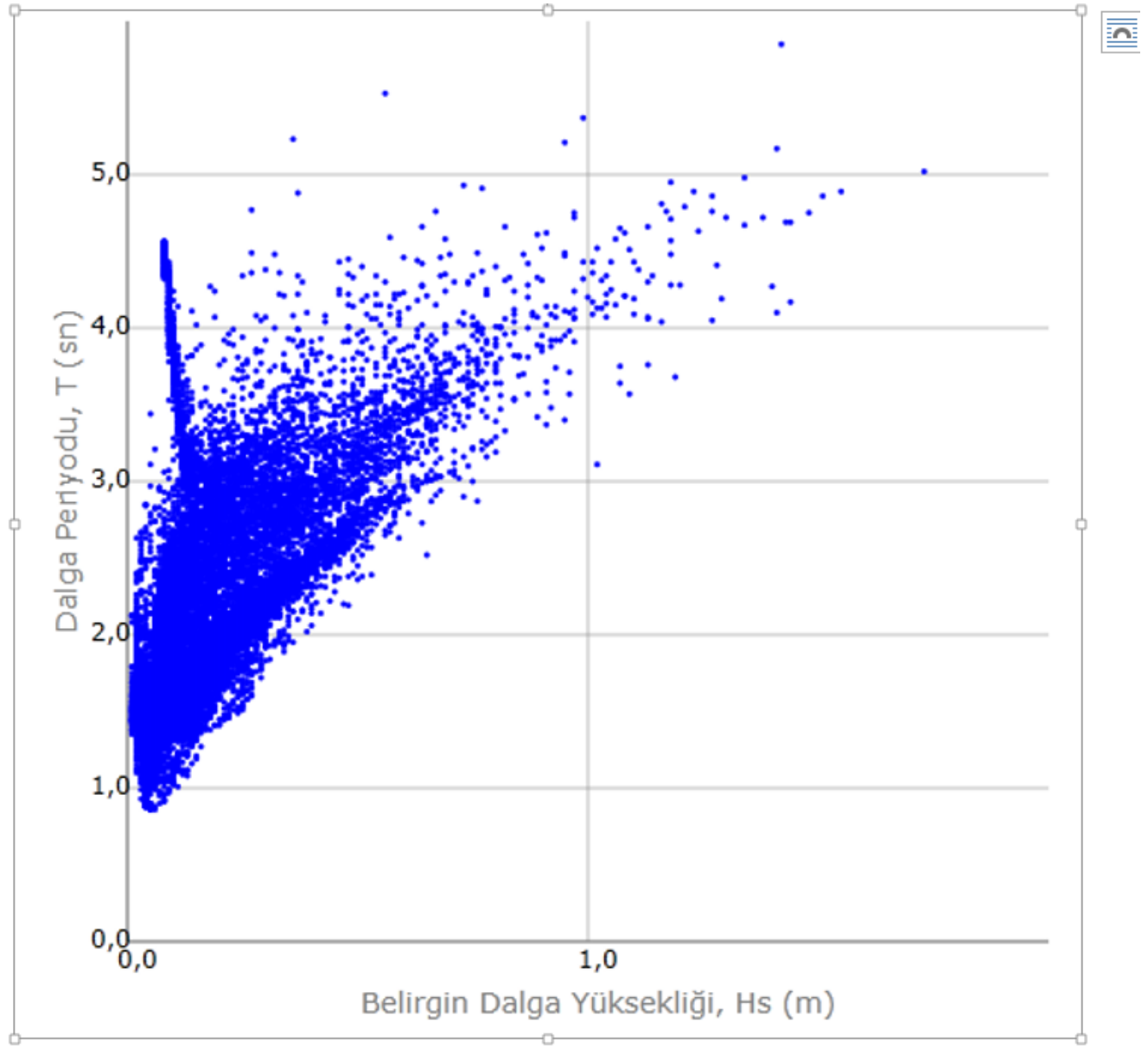
## Uzun Dönem Dalga İstatistiği (Log-Normal)



BatıGüneyBatı(WSW) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği

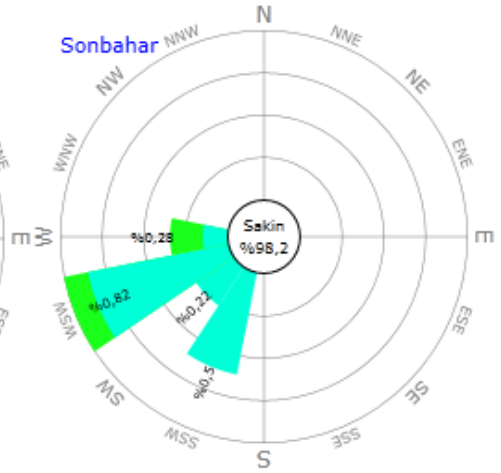
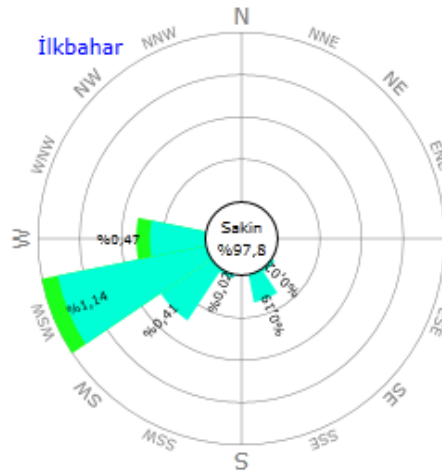
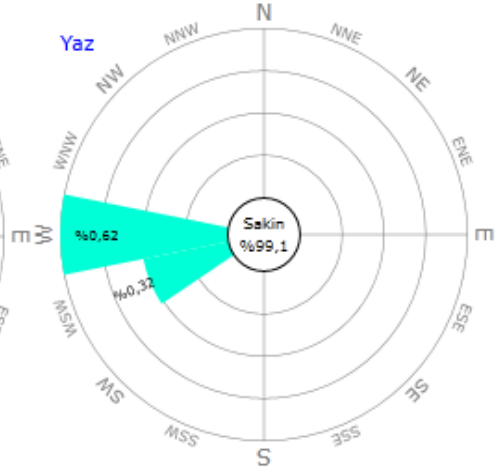
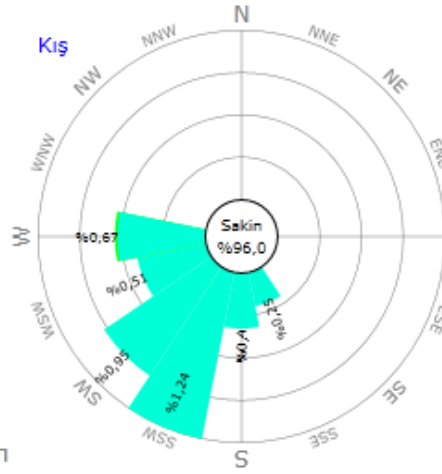
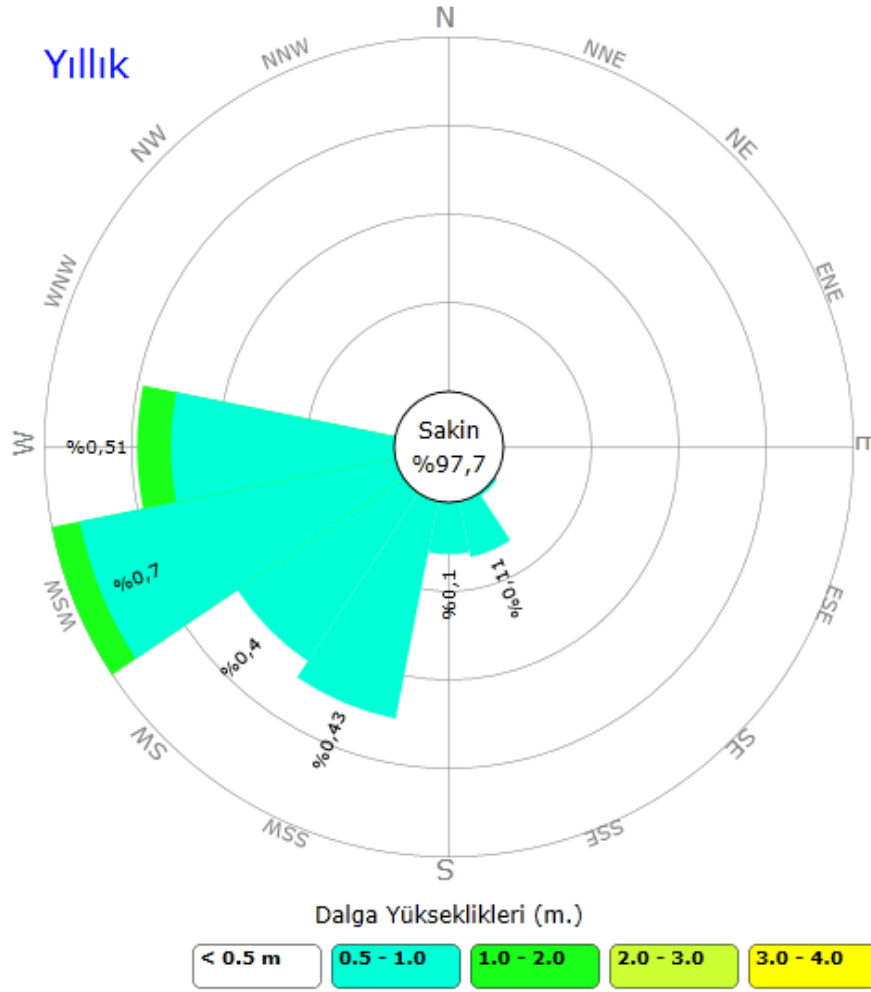
Çizelge 3. Belirgin Dalga Yükseklikleri Aşılma Süreleri ve Olasılık Dağılımları

Yön	Dağılım Denklemi				1 saat/yıl	5 saat/yıl	10 saat/yıl
					$H_s$ (m)	$H_s$ (m)	$H_s$ (m)
<b>SE</b>	$H_s =$	-0.063	$\ln(p(H))$	-0.058	0.51	0.41	0.37
<b>SSE</b>	$H_s =$	-0.157	$\ln(p(H))$	-0.411	1.01	0.76	0.65
<b>S</b>	$H_s =$	-0.109	$\ln(p(H))$	-0.174	0.81	0.64	0.56
<b>SSW</b>	$H_s =$	-0.139	$\ln(p(H))$	-0.191	1.07	0.85	0.75
<b>SW</b>	$H_s =$	-0.149	$\ln(p(H))$	-0.261	1.09	0.85	0.75
<b>WSW</b>	$H_s =$	-0.183	$\ln(p(H))$	-0.314	1.35	1.05	0.93
<b>W</b>	$H_s =$	-0.261	$\ln(p(H))$	-0.760	1.61	1.19	1.01



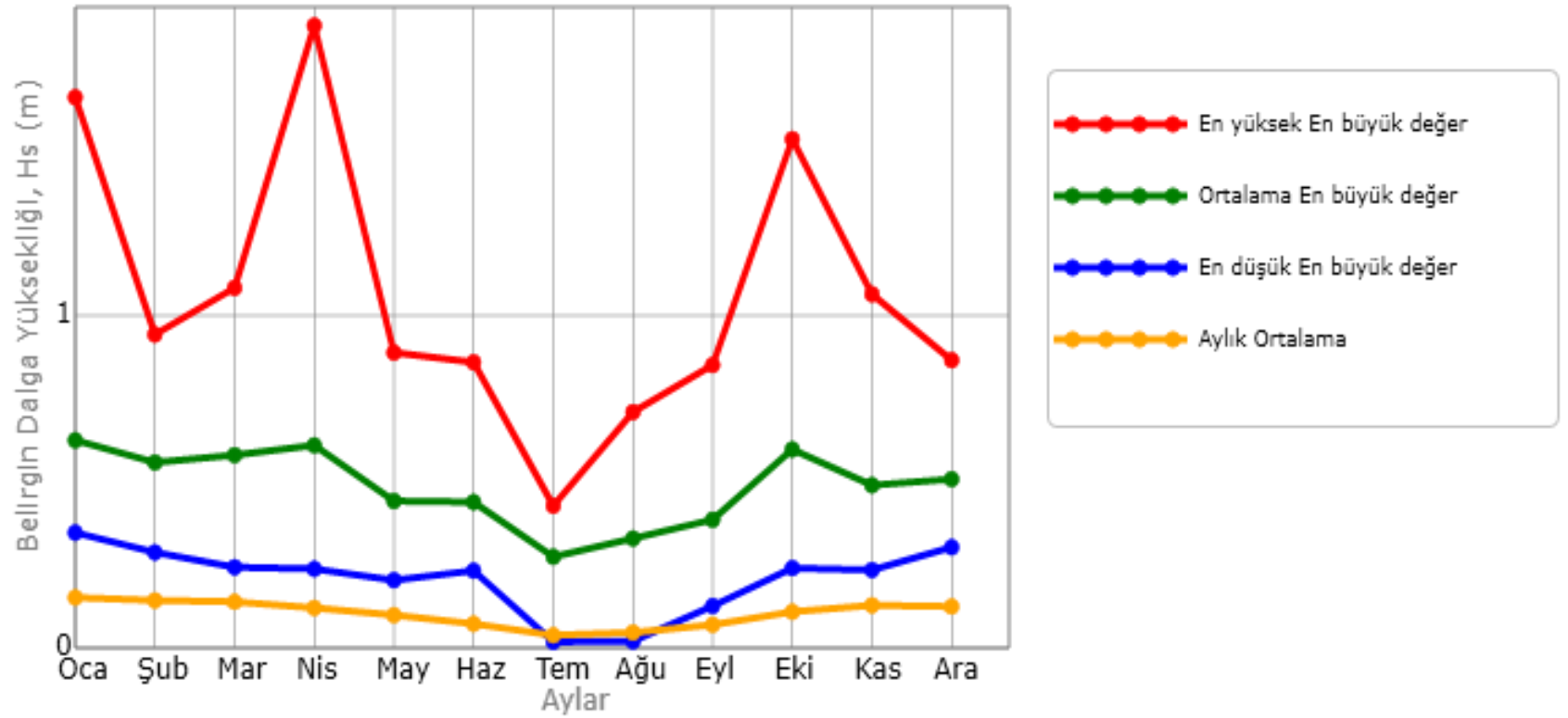
Çizim 20. Uzun dönem dalga istatistiği  $H_s - T_s$  grafiği





Dalga Gülü

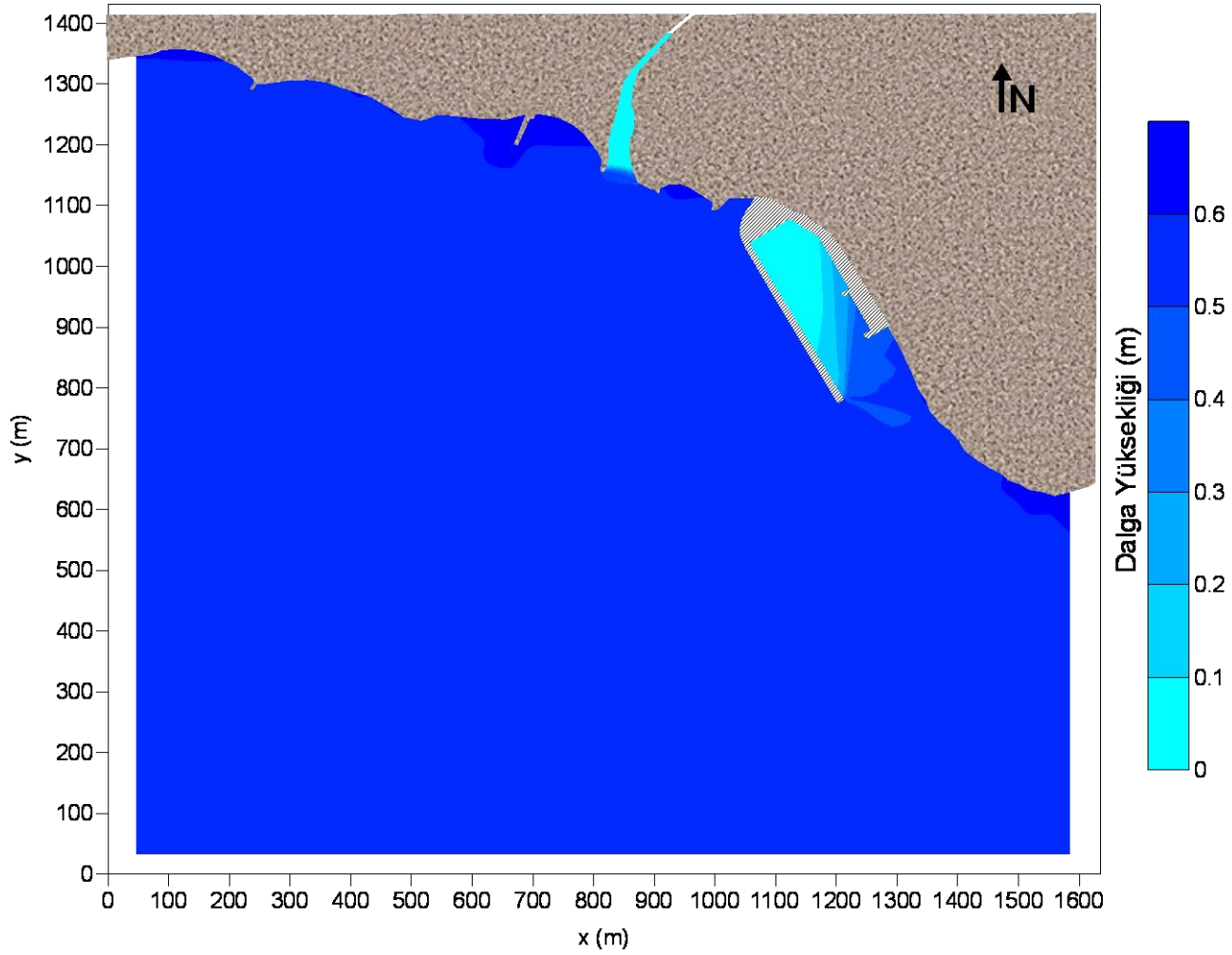
Yıllar : 1900 - 2100 Aylar : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12



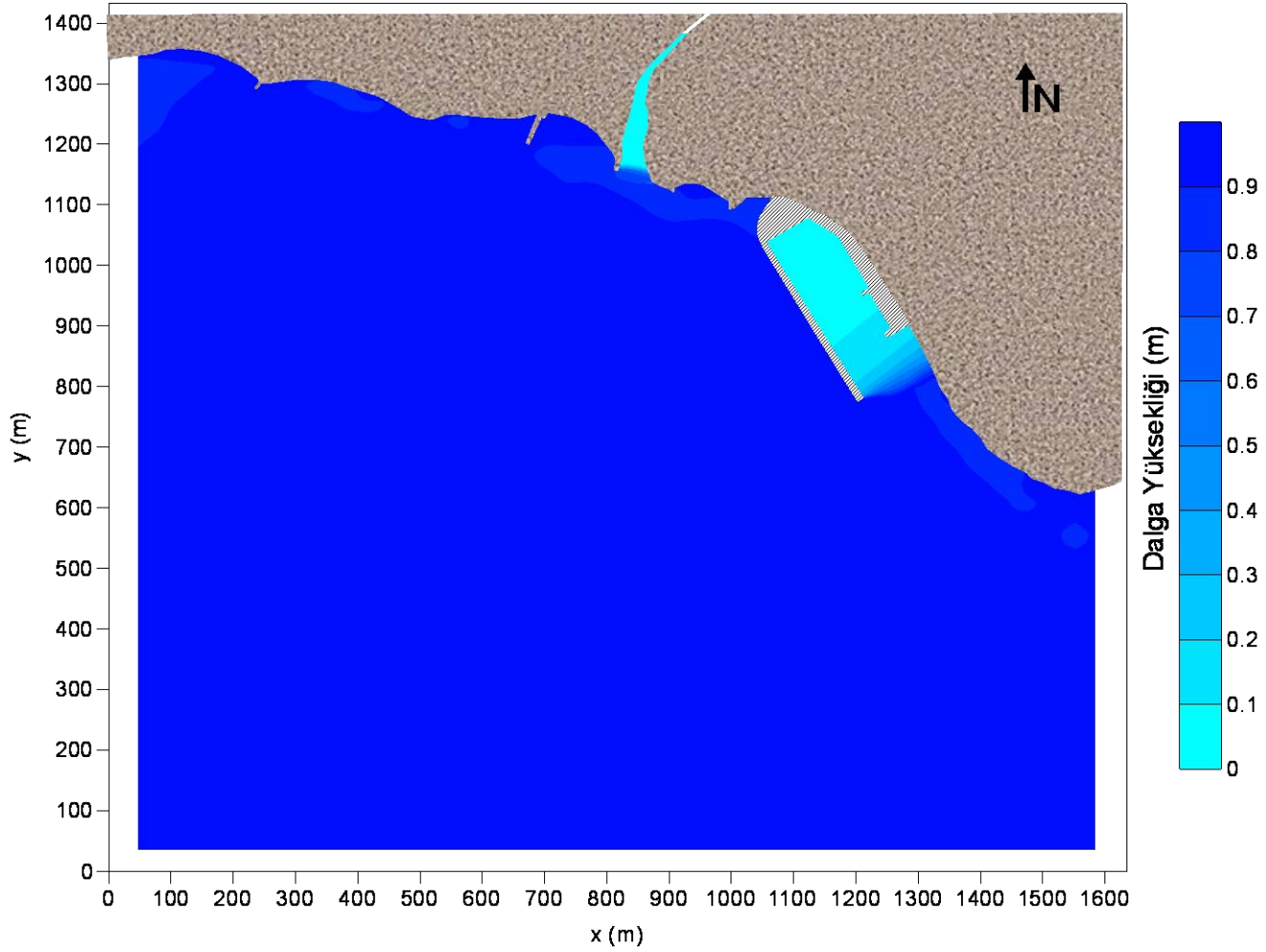
Aylık ortalama ve en büyük değer belirgin dalga yükseklikleri

## **DALGA İLERLEMESİ ALT MODELİ**

- **Geniş ve düzensiz batimetriye sahip alanlarda açık denizden eğik açıyla yaklaşan dalgaların ilerlerken uğrayacakları değişimleri ve bunların sonucunda dalgaların sahip olacakları dalga yüksekliklerini benzeştirmek amacıyla, geliştirilmiş yumuşak eğim denklemleri çözülmektedir.**
- **Açık deniz dalgaları, rüzgar etkisiyle oluşan dalgalardır. Düzensiz taban topoğrafyasına ve değişen su derinliklerine bağlı olan sığlaşma, sapma, dönme, yansıma, taban sürtünmesi ve kırılma etkileri benzeştirilmektedir.**



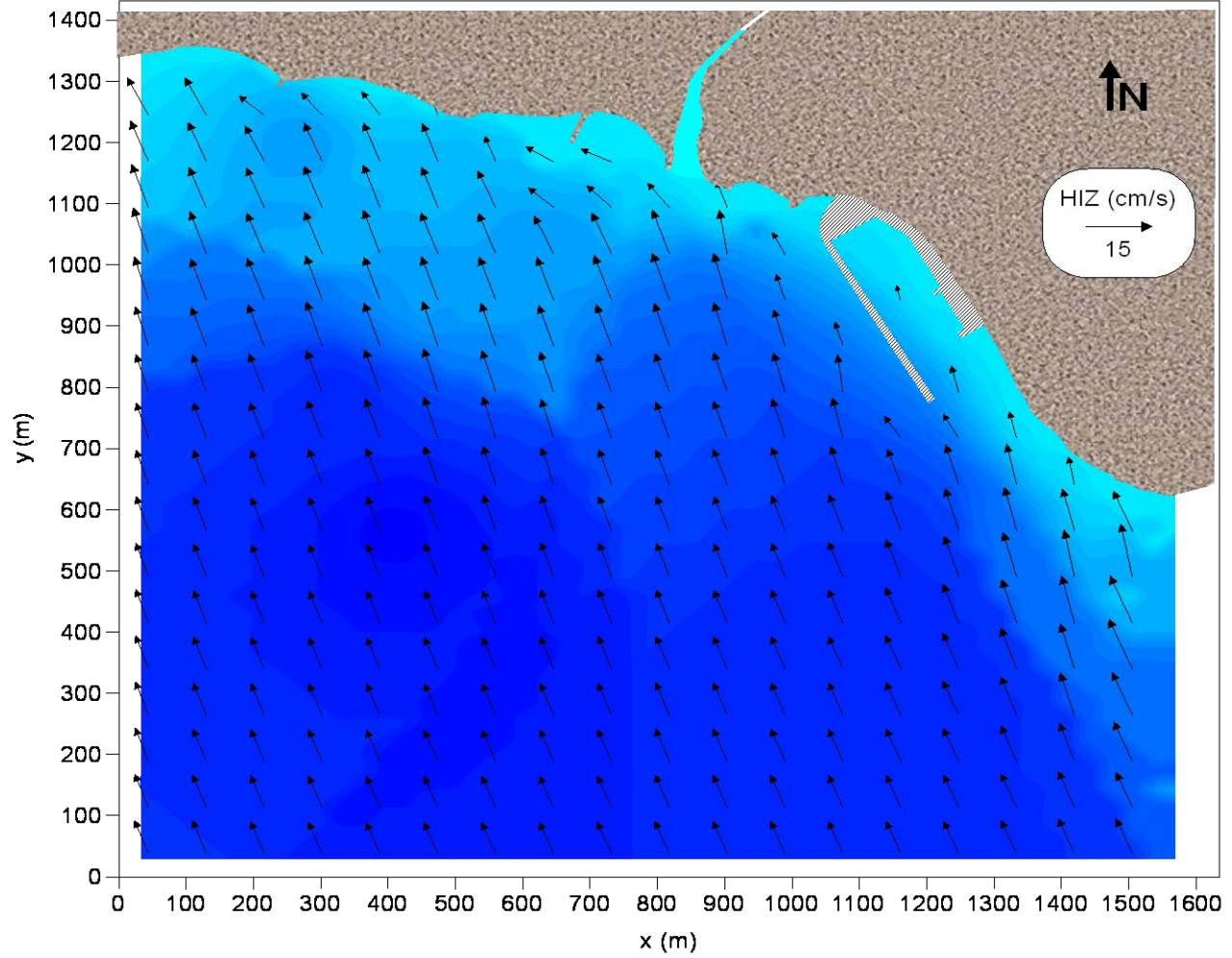
Güney(S) yönünden  $H_s = 0.56$  m derin deniz belirgin dalga yüksekliği ve  $T_s = 2.8$  sn dalga dönemi ile yaklaşan dalgaların dağılıımı



BatıGüneyBatı (WSW) yönünden  $H_s=0.93$  m derin deniz belirgin dalga yüksekliği ve  $T_s=3.8$  sn. dalga dönemi ile yaklaşan dalgaların dağılımı

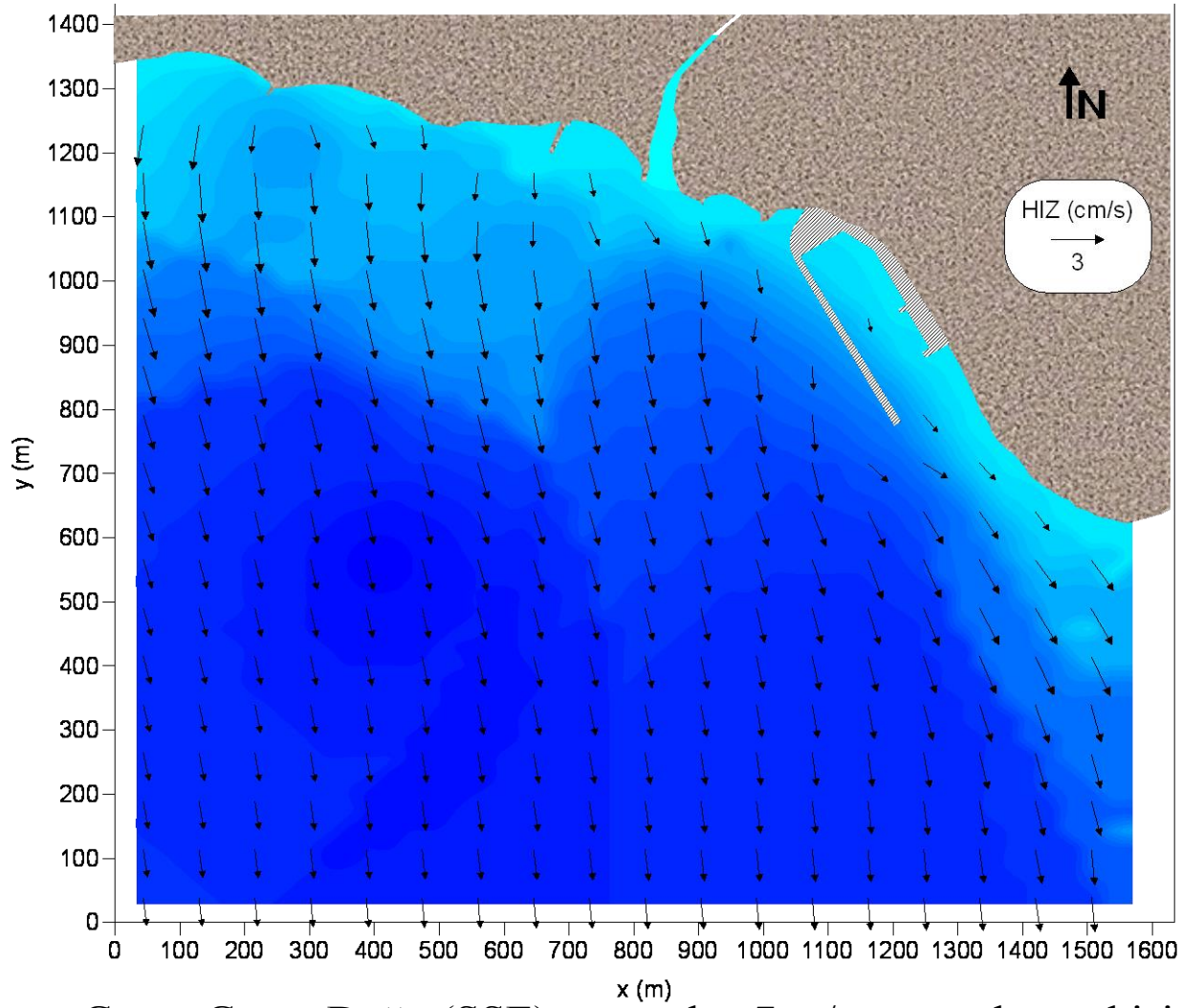
# KIYISAL AKINTI(HİDRODİNAMİK)

- Model, rüzgâr, gelgit ya da yoğunluk farklılaşması etkenli akıntıları, su düzeyi değişimlerini, rüzgâr kabarmasını 3-boyutlu olarak benzeştirmektedir



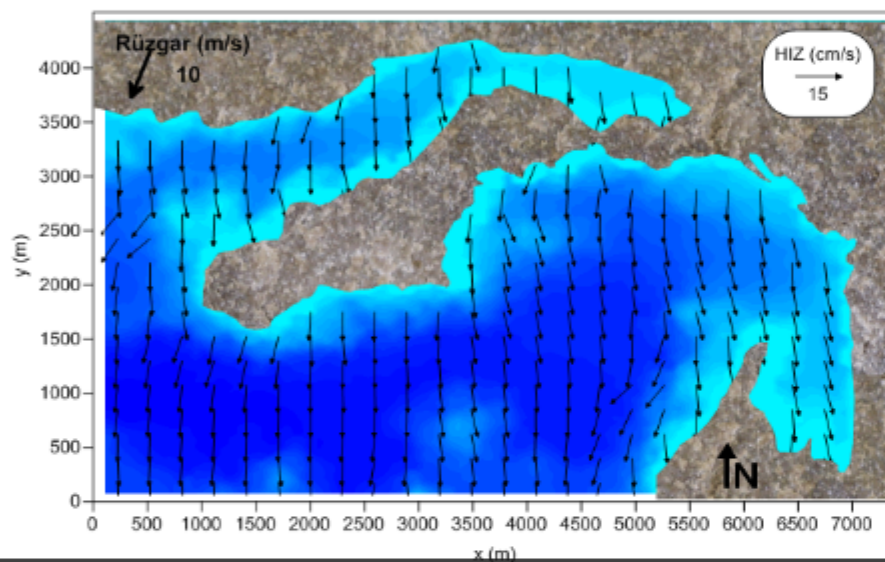
GüneyGüneyDoğu (SSE) yönünden esen 7 m/s rüzgar hızı etkisinde yatışkın durumda yüzeyde akıntı düzeni



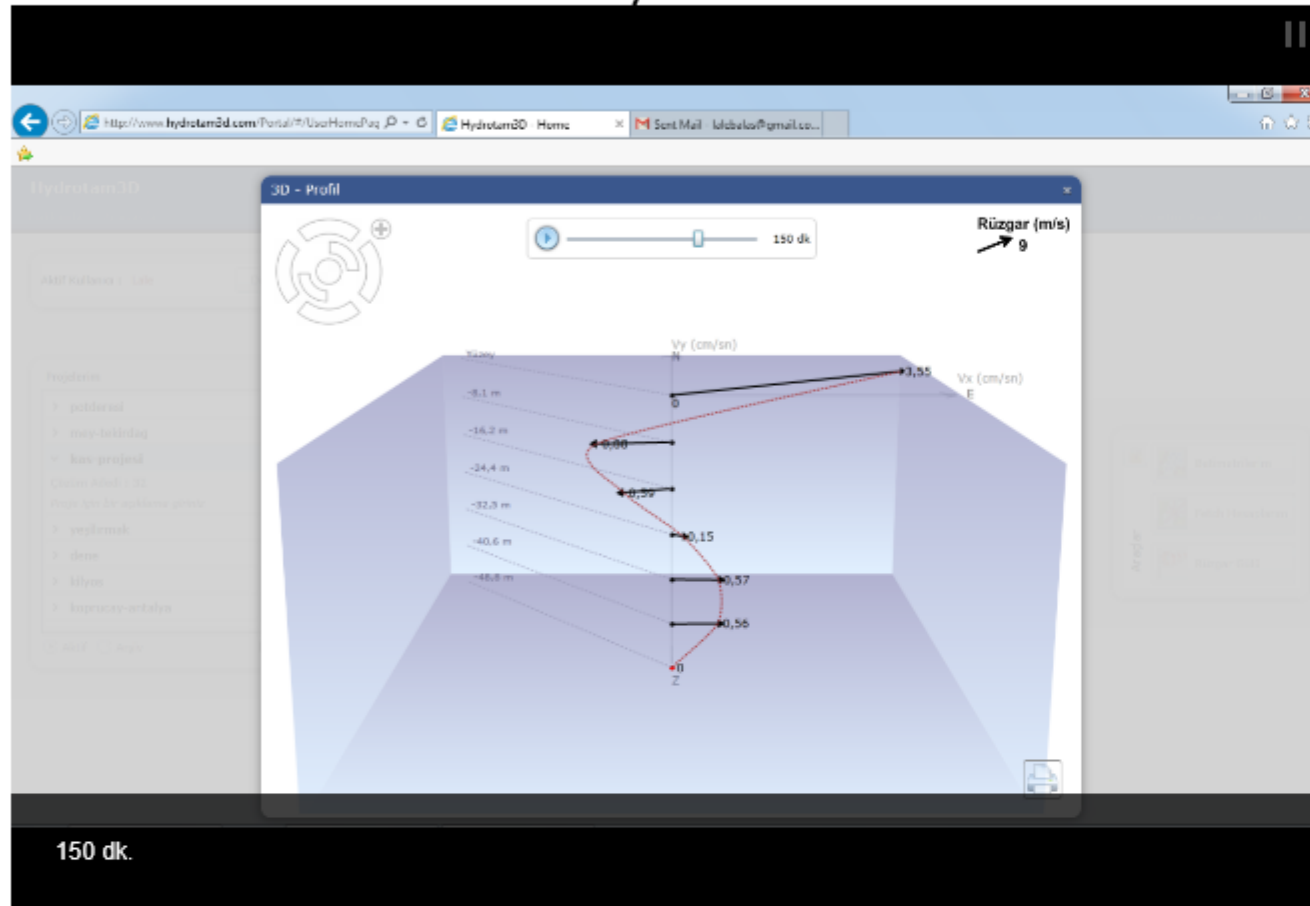


GüneyGüneyDoğu (SSE) yönünden 7 m/s rüzgar hızı etkisinde yatışkın durumda taban tabakasında akıntı düzeni

## Kaş Körfezi Yüzey Akinti Modelleme

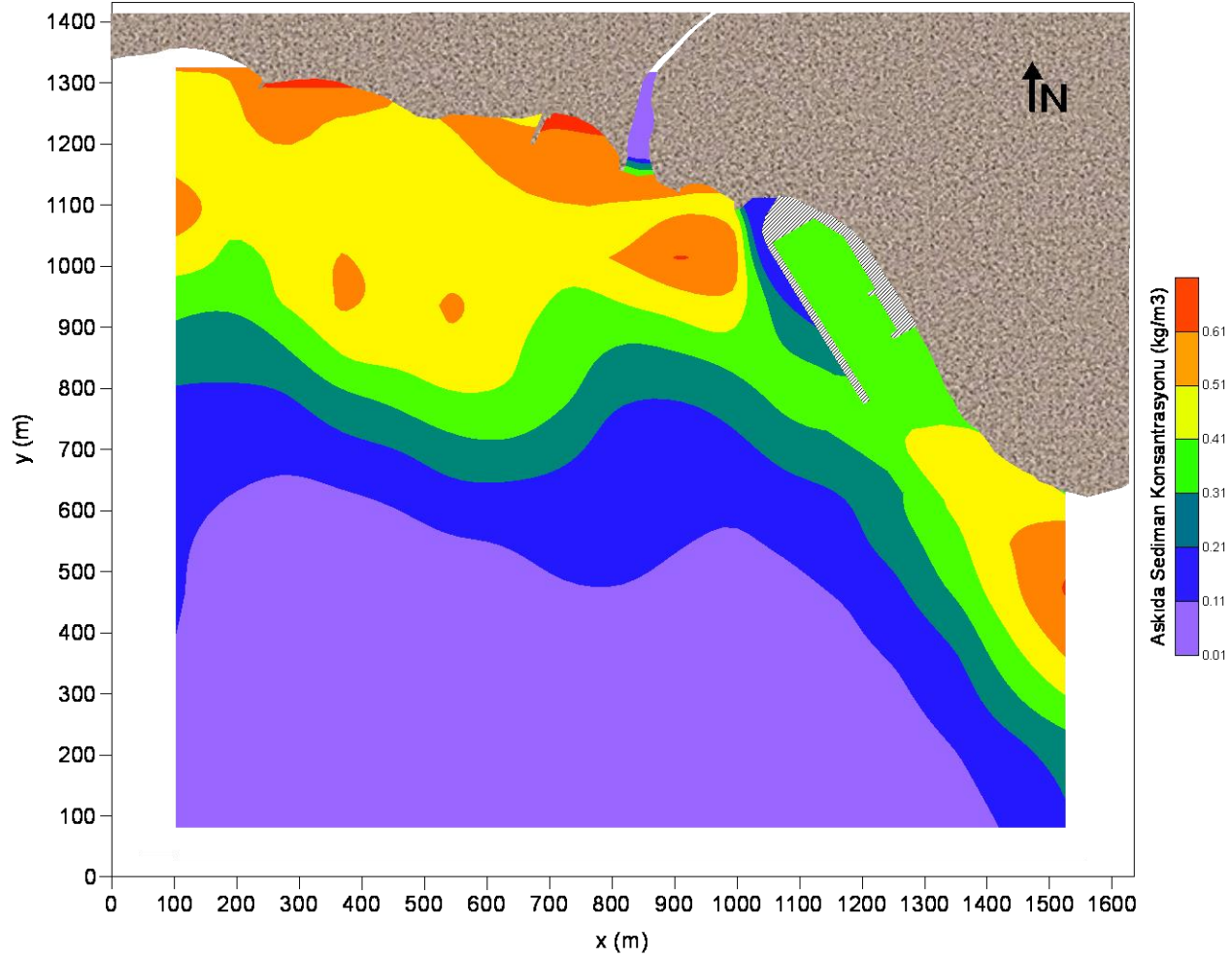


## K2 noktasında derinlik boyunca akıntı hızları

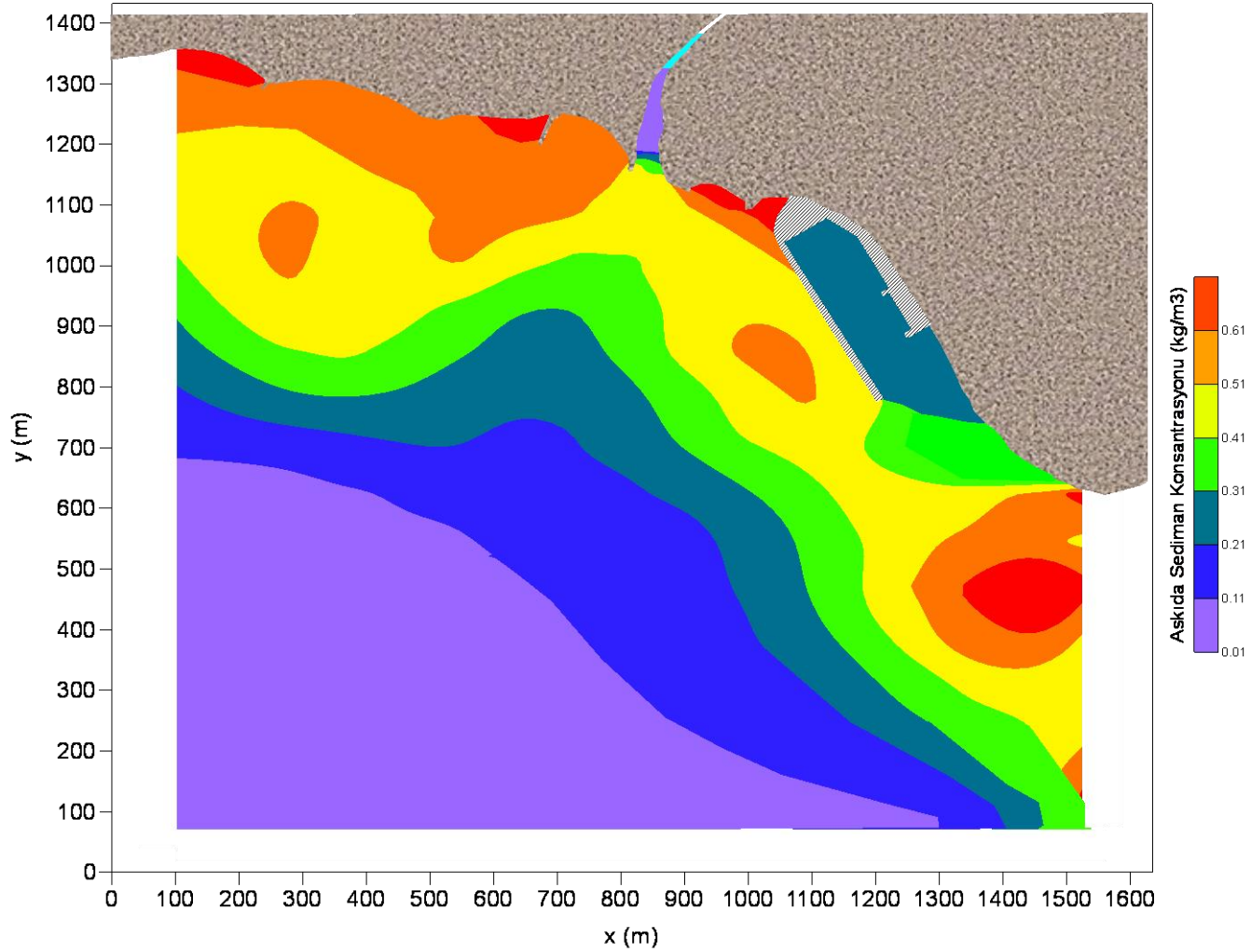


## Askıda Katı Madde Taşınımı Modeli

- Akıntı hızı tahminleri ve sediman karakteristikleri kullanılarak, askıda katı madde derişimleri hesaplanır. Çözüm türbülans etkilerini de içermektedir.
- Akışkan-sediman karışımının hareket dengesi çözülerek, askıdaki maddelerin taşınımına olan etkileri incelenmektedir.
- Askıda katı madde taşınım denklemi: Askıda katı maddenin ortalama akıntıyla yatayda ve derinlik boyunca ilerlemesi, türbülans ile dağılımı ve çökmesi çözümlenmektedir.



GüneyGüneyDoğu (SSE) yönünden 7 m/s hızla esen rüzgar etkisinde askıda madde konsantrasyonu dağılımı



BatıGüneyBatı (WSW) yönünden 7 m/s hızla esen rüzgar etkisinde askıda madde konsantrasyonu dağılımı

# **KIYI BOYU SEDİMAN TAŞINIMI**

**Geliştirilen kıyı boyu sediman taşınımı alt modeli, Türkiye kıyılarında rüzgâr etkenli uzun dönem dalga istatistiğine dayanmaktadır. Seçilen denizel alanda, her yön için, uzun dönem dalga istatistiğinden elde edilen dalgaların, değişen dalga yükseklikleri aralıklarındaki, oluşma olasılıkları da kıyı boyu sediman taşınımı modelinde dikkate alınmaktadır. Denizel alanda, net ve toplam (gross) kıyı boyu sediman taşınım miktarları ( $m^3/yıl$ ), dünyada en yaygın olarak kullanılan CERC metodu (CEM, 2006) ile hesaplanmaktadır.**



# KIYI BOYU SEDİMAN TAŞINIMI



Kıyı doğrultusu ve sediman taşınım yönleri



Çizelge 4. Yıllık kıyı boyu sediman taşınım miktarı Q (m<sup>3</sup>/yıl)

YÖN	BATIKUZEYBATIDAN DOĞUGÜNEYDOĞUYA WNW → ESE	DOĞUGÜNEYDOĞUDAN BATIKUZEYBATIYA ESE → WNW
N	-	-
NNE	-	-
NE	-	-
ENE	-	-
E	-	-
ESE	-	52.88
SE	-	10650.44
SSE	-	23768.44
S	-	21249.38
SSW	2698.74	-
SW	32713.07	-
WSW	77151.96	-
W	45475.9	-
WNW	-	-
NW	-	-
NNW	-	-
--Toplam--	158039.68	55721.58
----Net----	102318.09	
---Gross---	213761.26	

## **SU KALİTESİ**

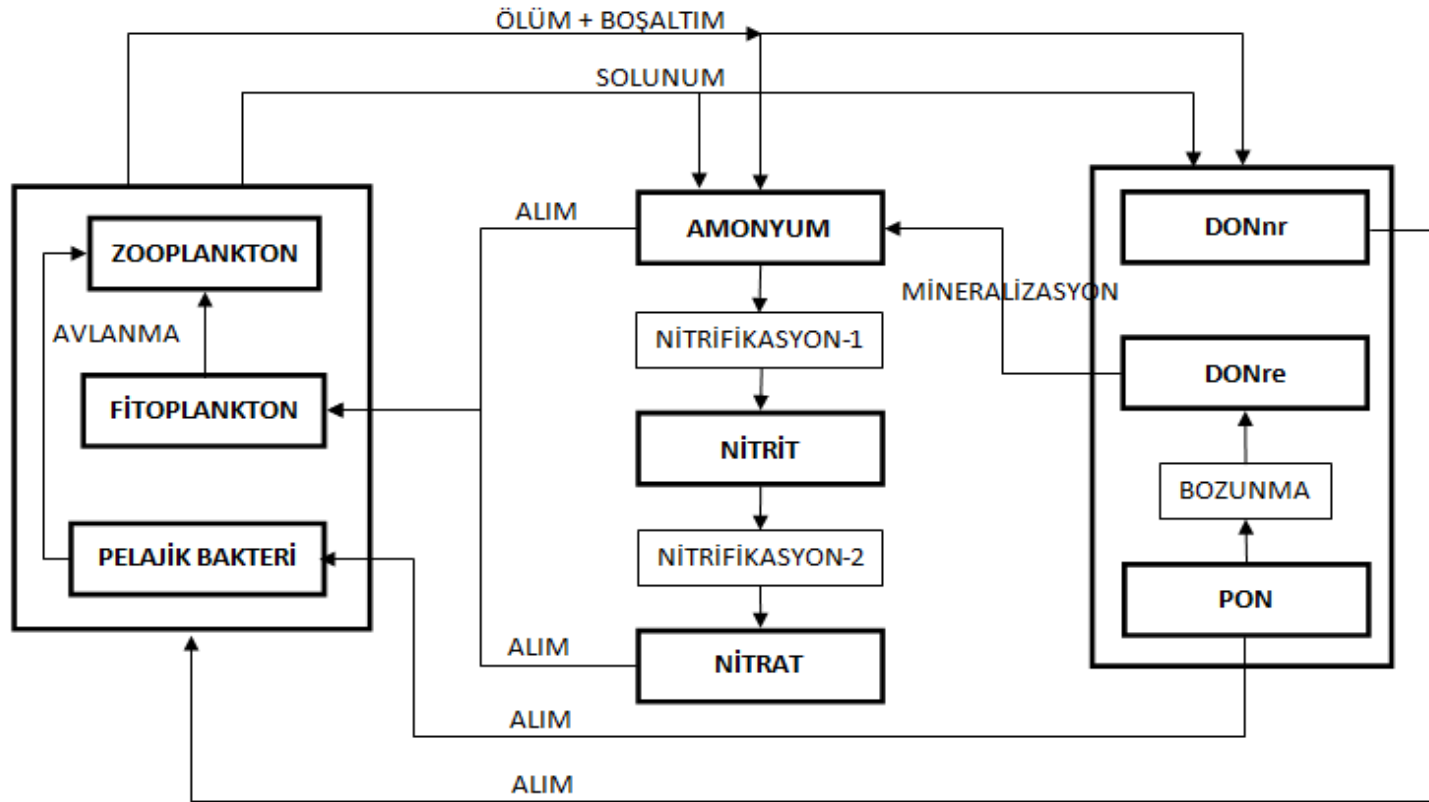
- **Deniz ortamına bırakılan kirleticilerin deniz suyu kalitesine etkileri su kalitesi modeli ile sayısal olarak modellenmektedir.**
- **Alıcı deniz ortamındaki azot, fosfor, oksijen döngüleri, fitoplankton, zooplankton ve bakteri konsantrasyonlarının değişimleri modellenmektedir**

# **Su Kalitesi Alt Modelinde Temsil Edilen** **Biyokimyasal Döngüler**

- Azot Biyokimyasal Döngüsü
- Fosfor Biyokimyasal Döngüsü
- Oksijen Biyokimyasal Döngüsü

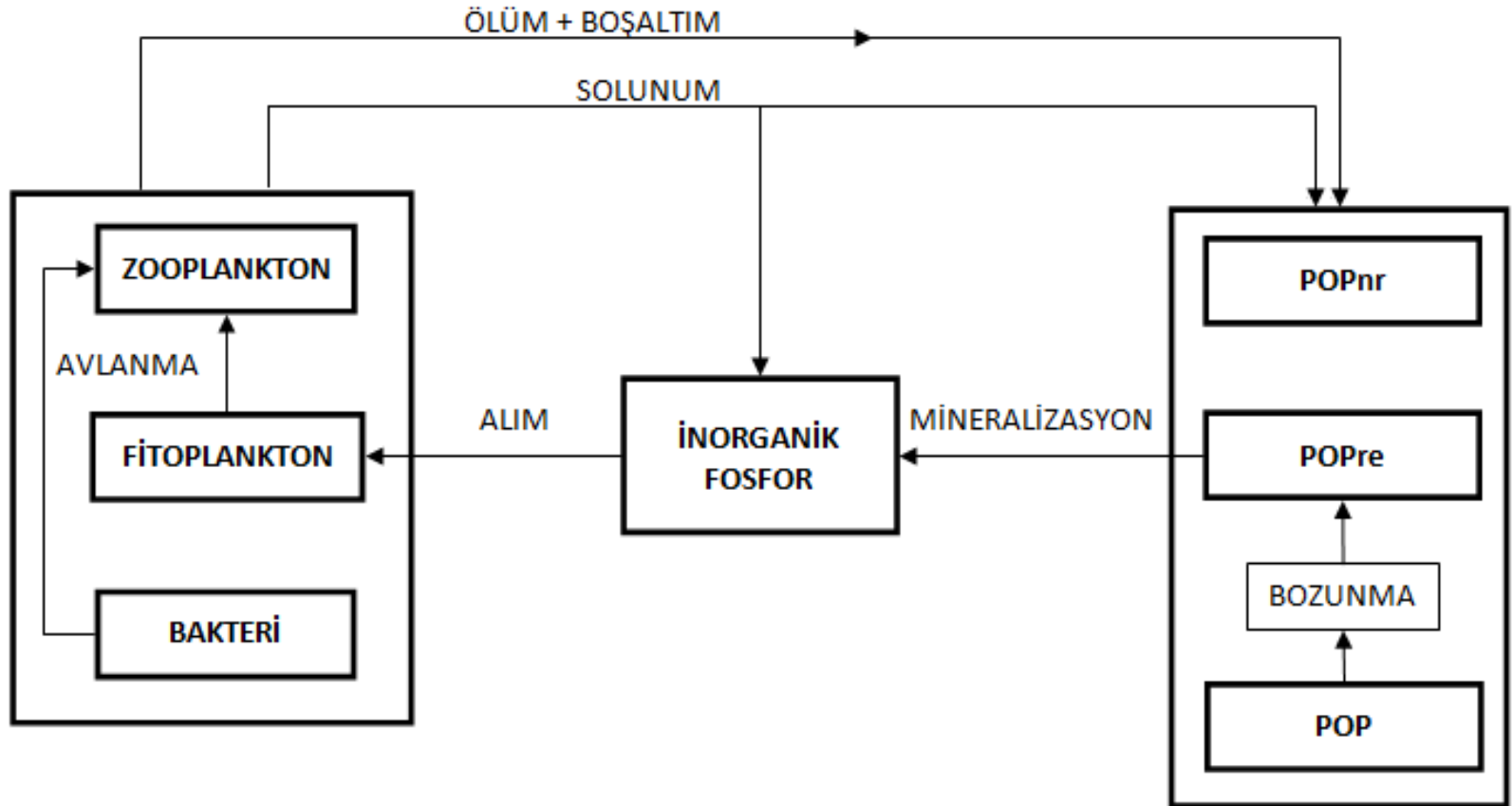
# Su Kalitesi Alt Modeli

## Azot Biyokimyasal Döngüsünü Oluşturan Süreçler



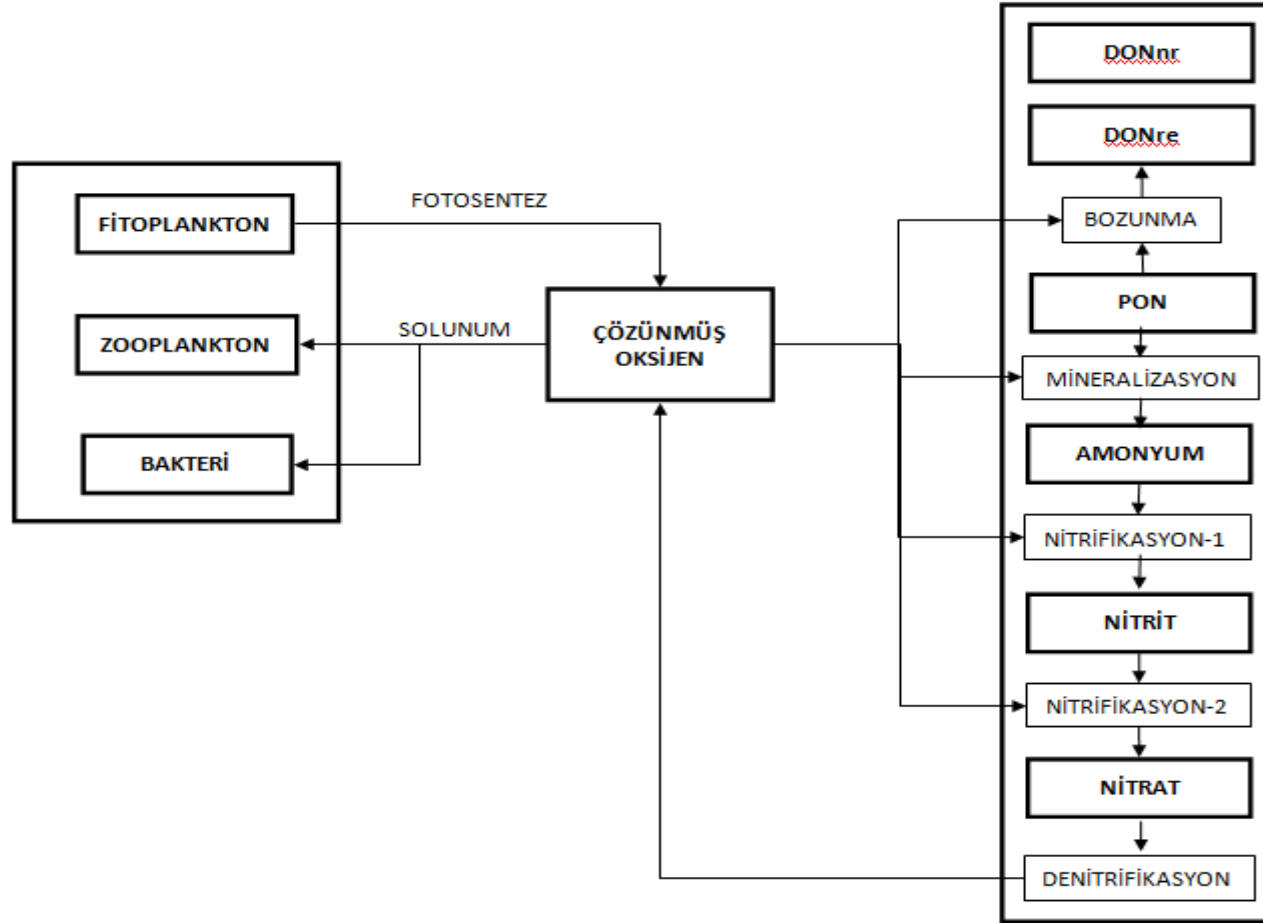
# Su Kalitesi Alt Modeli

## Fosfor Biyokimyasal Döngüsünü Oluşturan Süreçler



# Su Kalitesi Alt Modeli

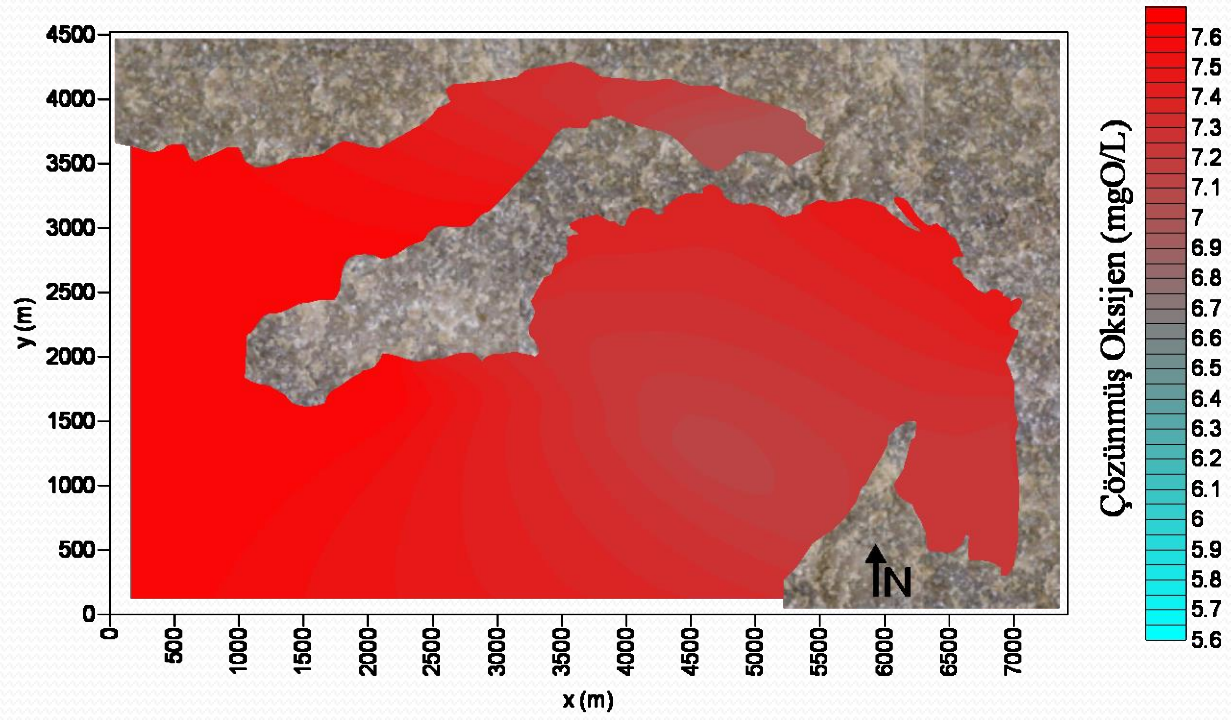
## Oksijen Biyokimyasal Döngüsünü Oluşturan Süreçler



# Su Kalitesi Alt Modeli

## Modelde Benzetimi Gerçekleştirilen Ekolojik Parametreler

Simge	Tanım	Birim
C <sup>f</sup>	Fitoplankton konsantrasyonu	mgC/l
C <sup>b</sup>	Zooplankton konsantrasyonu	mgC/l
C <sup>z</sup>	Bakteri konsantrasyonu	mgC/l
C <sup>NH4</sup>	Amonyum (NH <sub>4</sub> ) konsantrasyonu	mgN/l
C <sup>NO2</sup>	Nitrit (NO <sub>2</sub> ) konsantrasyonu	mgN/l
C <sup>NO3</sup>	Nitrat (NO <sub>3</sub> ) konsantrasyonu	mgN/l
C <sup>PON</sup>	Partikül organik azot (PON) konsantrasyonu	mgN/l
C <sup>DONnr</sup>	Korunumsuz çözünmüş organik azot (DON <sub>nr</sub> ) konsantrasyonu	mgN/l
C <sup>DONre</sup>	Korunumlu çözünmüş organik azot (DON <sub>re</sub> ) konsantrasyonu	mgN/l
C <sup>IP</sup>	İnorganik fosfor (IP) konsantrasyonu	mgP/l
C <sup>POP</sup>	Partikül organik fosfor (POP) konsantrasyonu	mgP/l
C <sup>DOPnr</sup>	Korunumsuz çözünmüş organik fosfor (DOP <sub>nr</sub> ) konsantrasyonu	mgP/l
C <sup>DOPre</sup>	Korunumlu çözünmüş organik fosfor (DOP <sub>re</sub> ) konsantrasyonu	mgP/l
C <sup>O</sup>	Oksijen konsantrasyonu	mgO/l

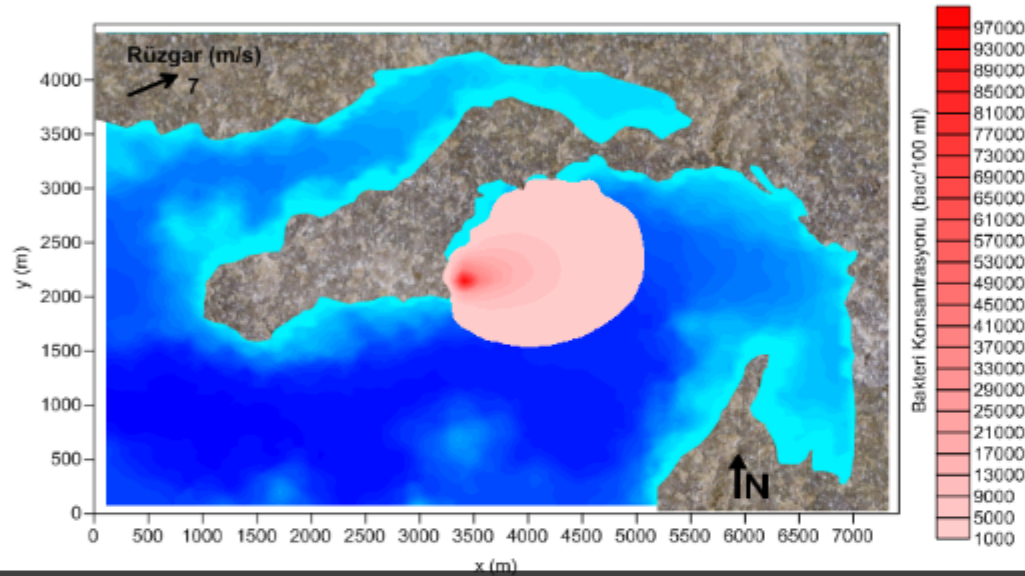




# KİRLLETİCİ TAŞINIM MODELİ

- **BAKTERİYAL KİRLLETİCİ**
- **PETROL TÜREVLERİ**
- **SICAK SU**
- **TUZLU SU**
- **TUZLU VE SICAK SU**

WSW yönünden 7 m/sn. hızla esen rüzgar etkisinde kirlenici modellemesi



6 sa 00 dk

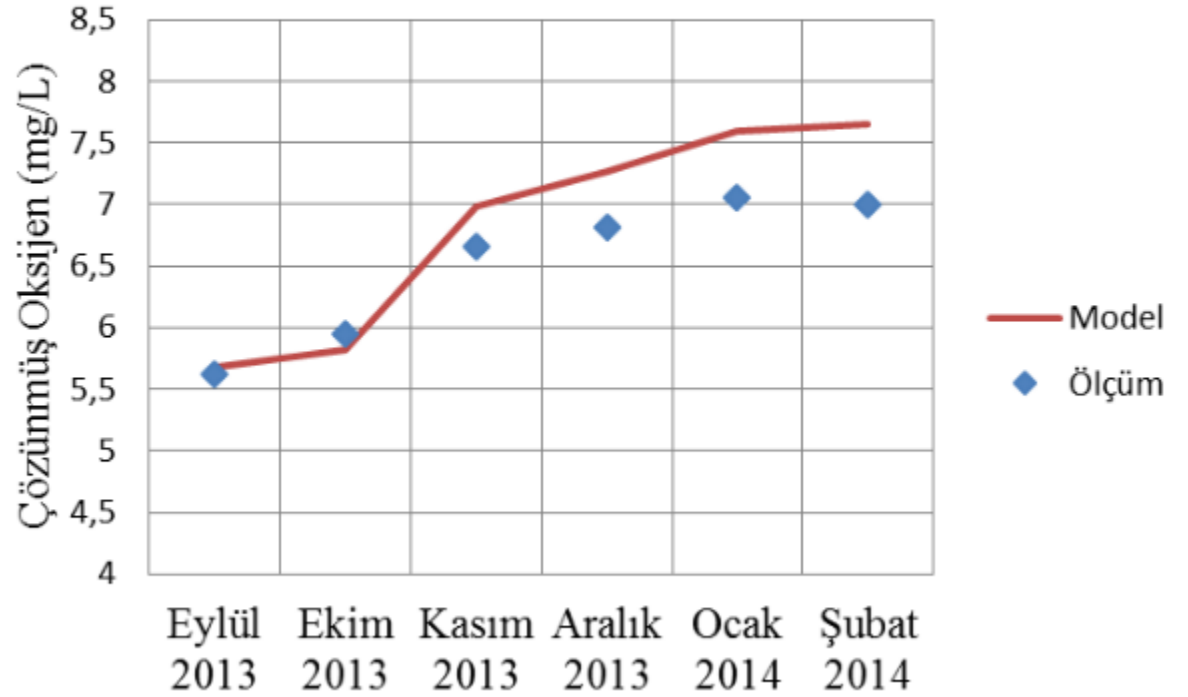
## Zaman Serisi

### Modelleme Sonucu

Proje: Kaş-2 (kagancel ▼)

Nokta: KAS-10

Modellenen: Çözünmüş Oksij ▼



Toplam Koliform  
Tuzluluk

17.5.2014

Çık

## **‘SU KALİTESİ ATLASI’**

**CBS temelli harita üzerinde sahanın herhangi bir noktasına tıklandığında su kirliliği verisine erişim imkanı sağlayan on-line "Karar Destek Sistemi" oluşturulacaktır.**



# TEŞEKKÜRLER