

SENSKIN

MONITORING SYSTEM OF SUSPENSION BRIDGES IN TURKEY



MINISTRY OF TRANSPORT, MARITIME AFFAIRS
AND COMMUNICATION
GENERAL DIRECTORATE OF HIGHWAYS (KGM)



Senskin Workshop, İstanbul

24/05/2018

Project co-funded
by the EU under H2020



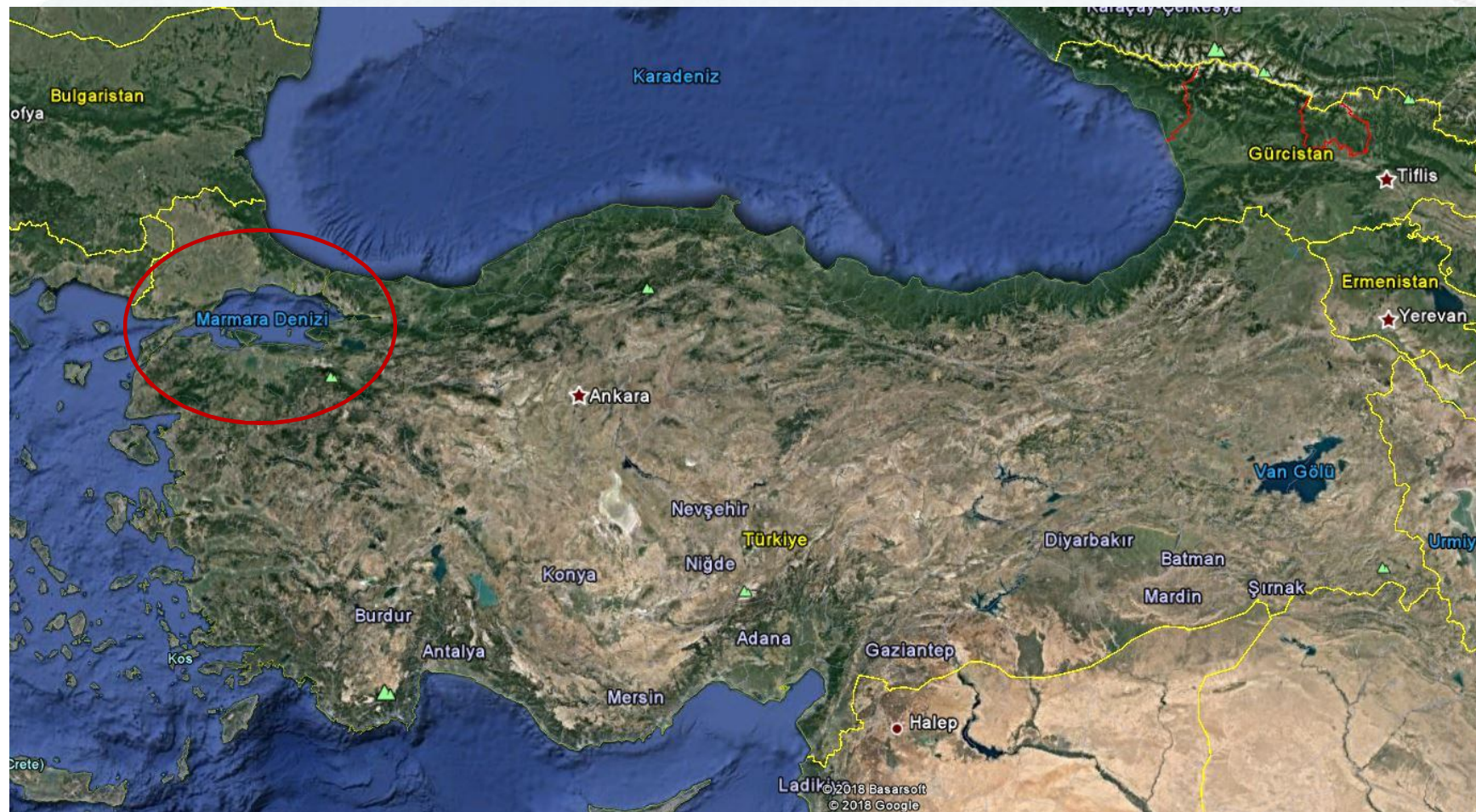
GENERAL INFORMATION ON SUSPENSION BRIDGES IN TURKEY

SENSKIN

- 15 Temmuz Şehitler Köprüsü (Bosphorus Bridge)-**1973**
- Fatih Sultan Mehmet Köprüsü (2nd Bosphorus Bridge)-**1988**
- Osmangazi Köprüsü (İzmit Bay Bridge)-**2016**
- Yavuz Sultan Selim Köprüsü (3rd Bosphorus Bridge)-**2016**
- 1915 Çanakkale Köprüsü (Dardanelles Bridge)- (**under construction**)

Location of Suspension Bridges

SENSKIN



Location of Suspension Bridges

SENSKIN



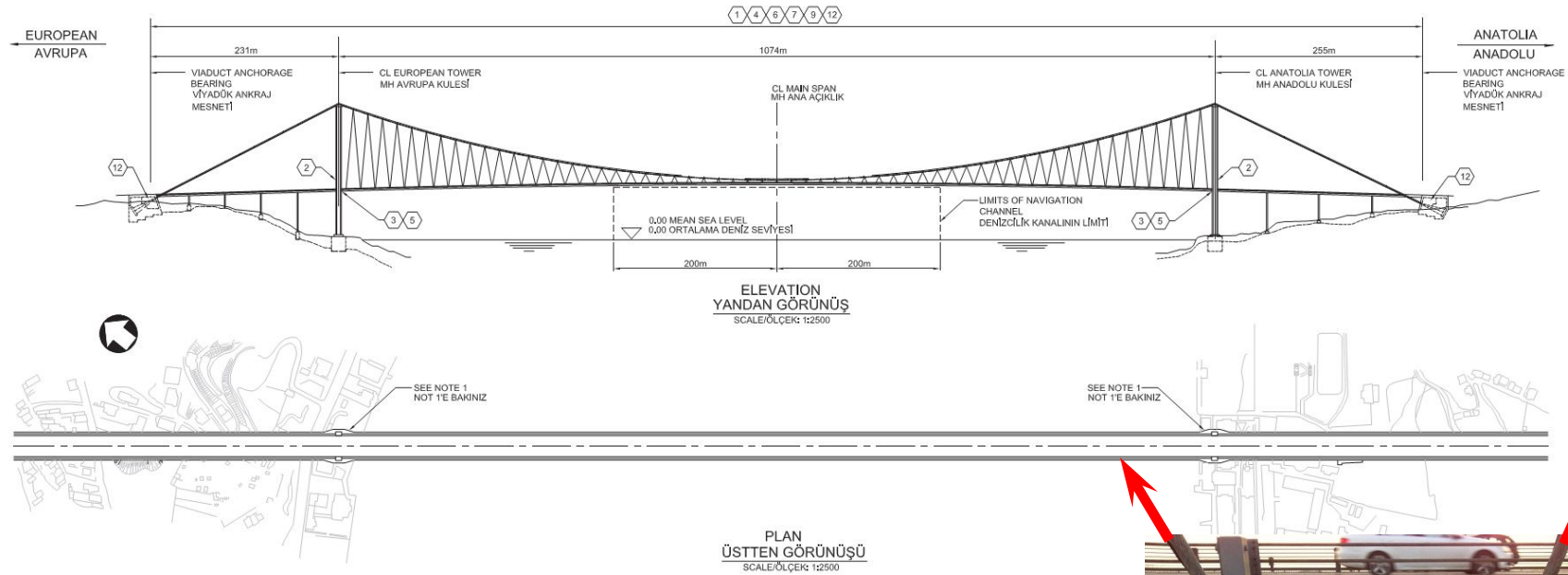
Bosphorus Bridge-Geometry

- Daily traffic more than 190.000
- 2x3 lanes, deck width 33,40m
- Length 1560m, main span 1074m
- 64m high from sea level
- Opened in 1973

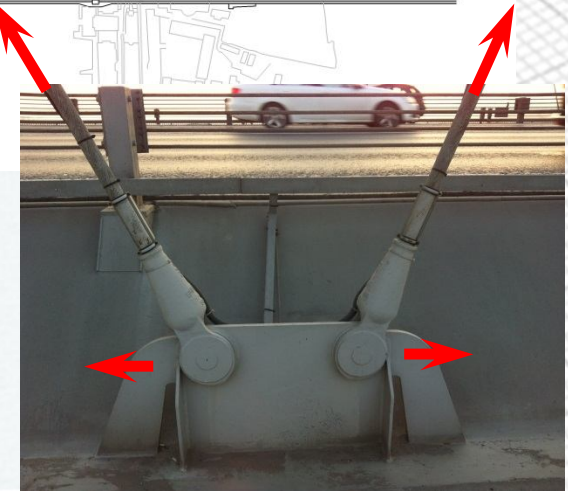


SENSKIN

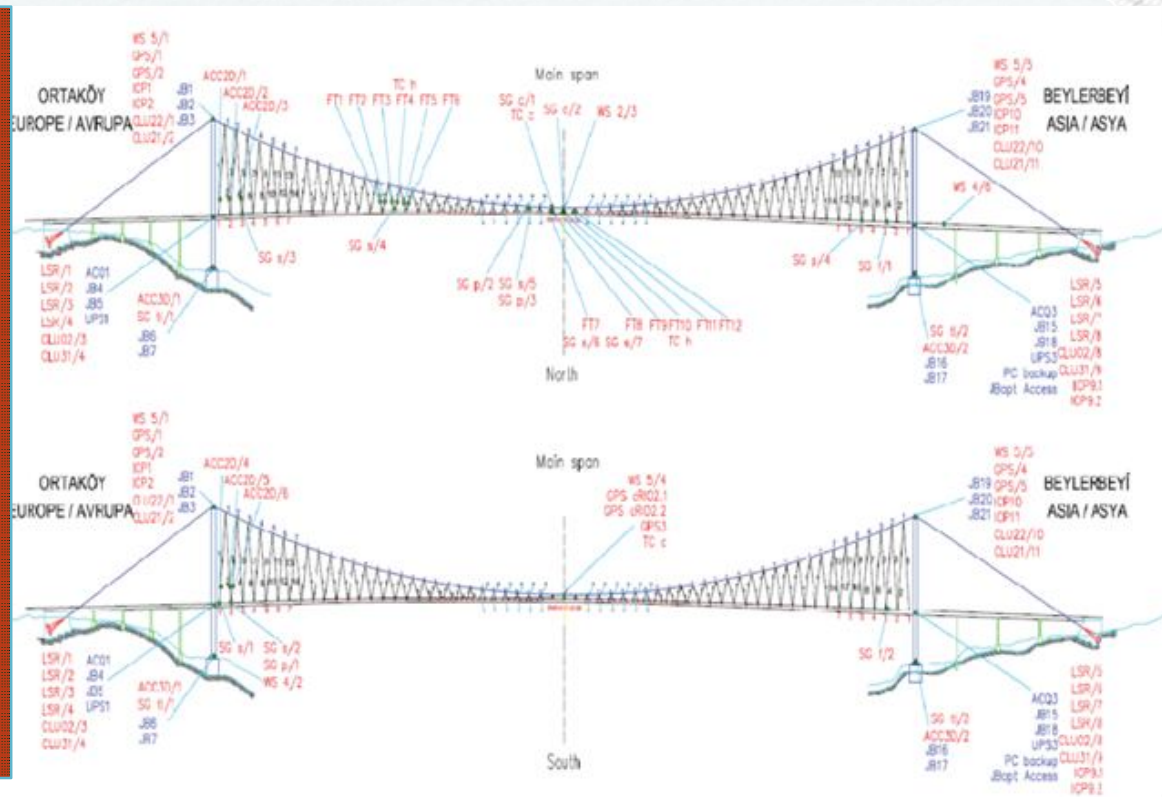
Repair & Strengthening Works at Bosphorus Bridge



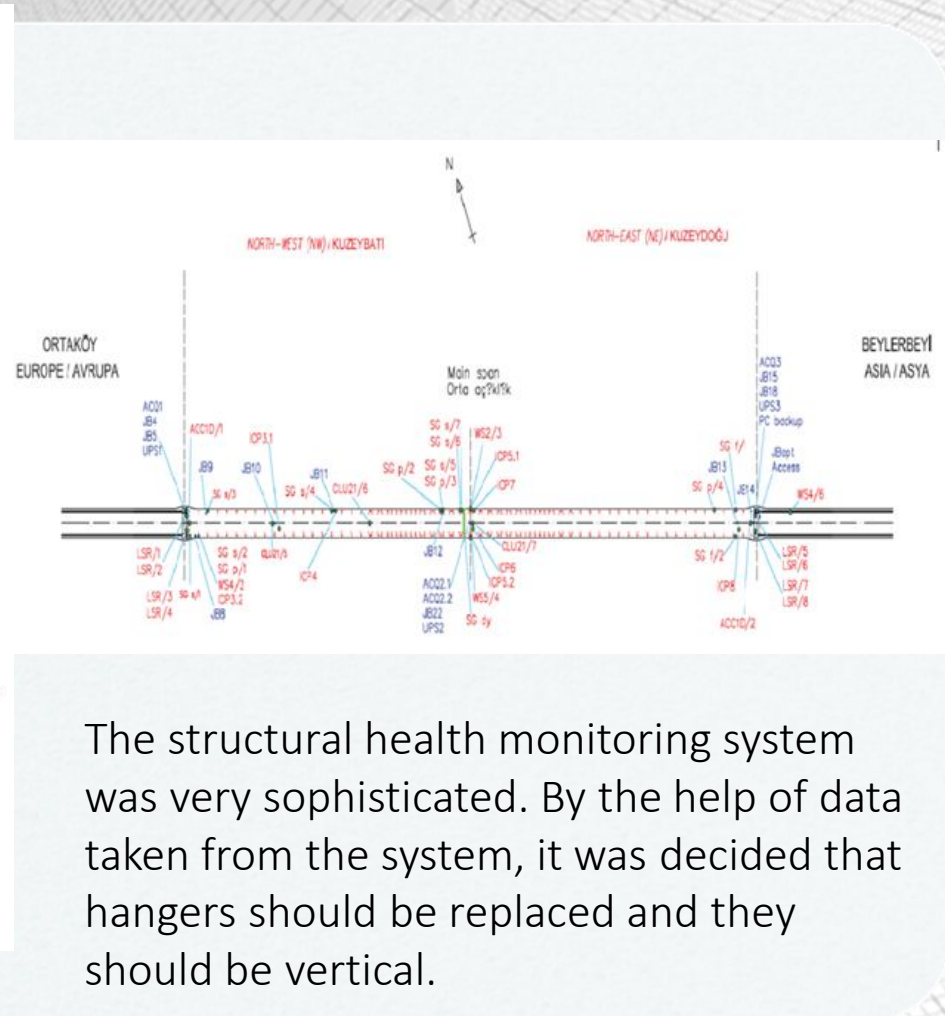
- Originally bridge had diagonal hangers which were creating fatigue. After a gusset plate was broken in 2004 due to heavy storm, the question of health monitoring arose. After a research, there found many defected hangers.



SENSKIN



SENSKIN



The structural health monitoring system was very sophisticated. By the help of data taken from the system, it was decided that hangers should be replaced and they should be vertical.

Initial Safety & Health Monitoring System

Strain gauges on hanger plates



Accelerometers and tiltmeters



SENSKIN

Initial Safety & Health Monitoring System

Thermocouples



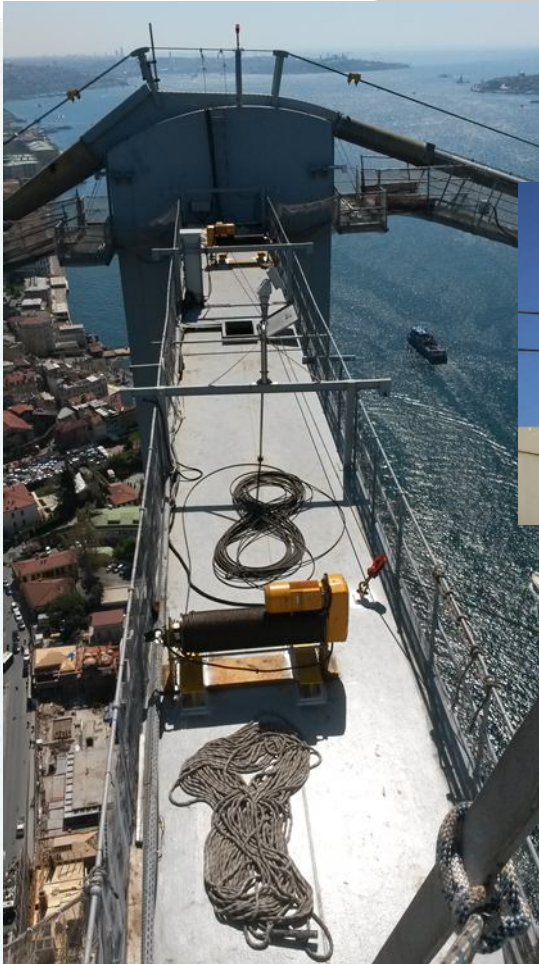
Force Transducers



SENSKIN

Initial Safety & Health Monitoring System

SENSKIN



GPS



Initial Safety & Health Monitoring System

Strain gauges in deck



Removed weather station



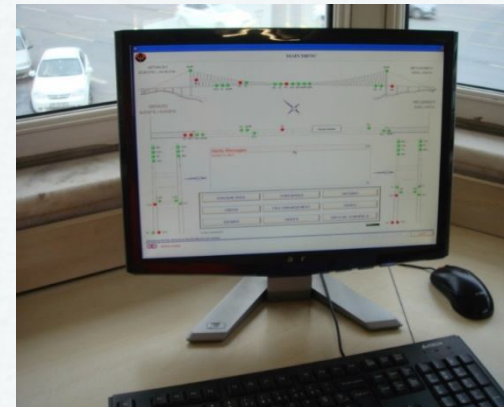
SENSKIN

Initial Safety & Health Monitoring System

Lasers

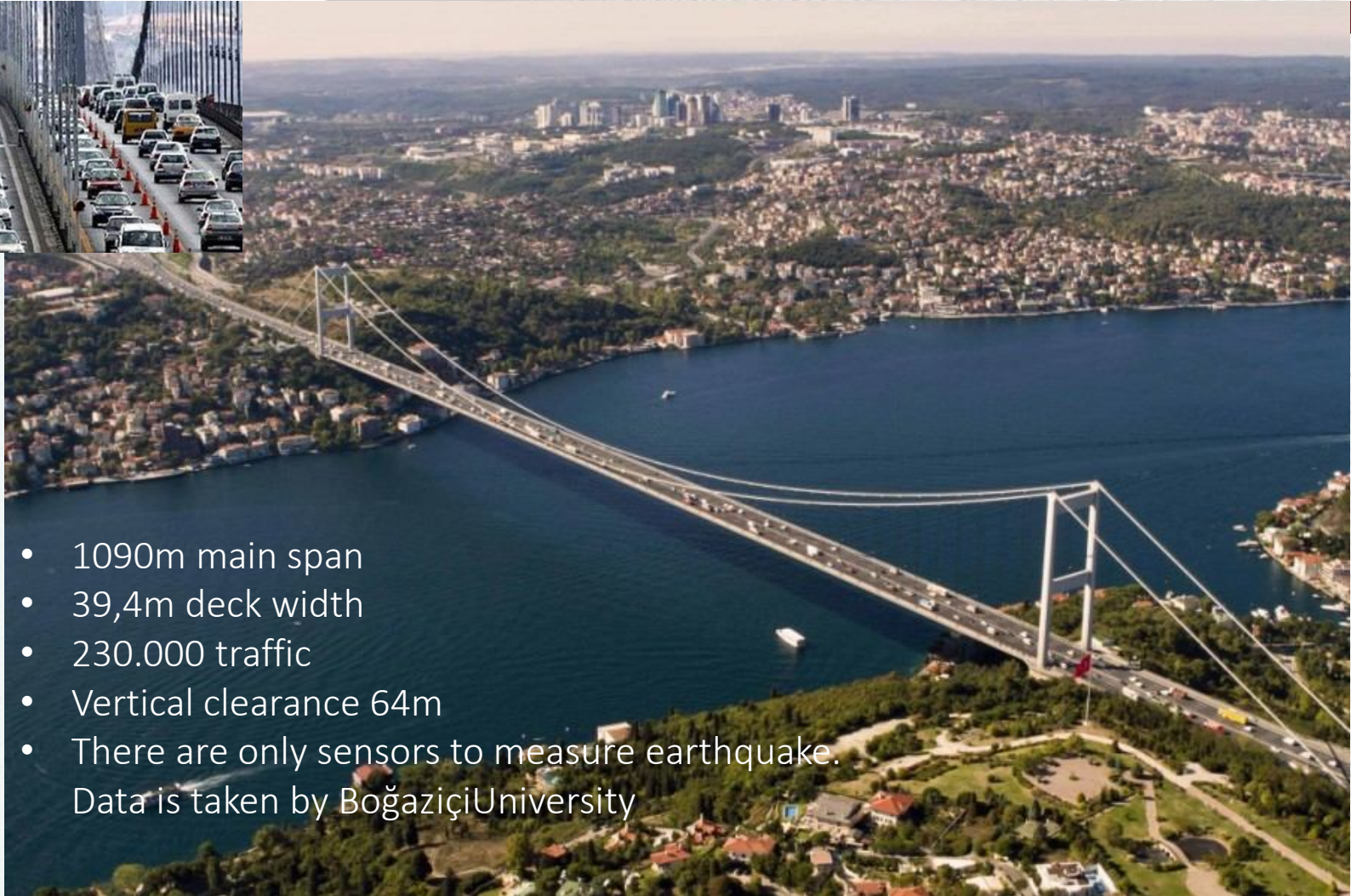


- System was installed in 2006,
- It was fully functional in 2009



Control Room

Fatih Sultan Mehmet Bridge



- 1090m main span
- 39,4m deck width
- 230.000 traffic
- Vertical clearance 64m
- There are only sensors to measure earthquake.
Data is taken by Boğaziçi University

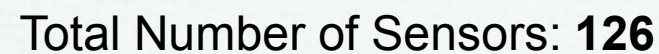
SENSKIN

Yavuz Sultan Selim Bridge

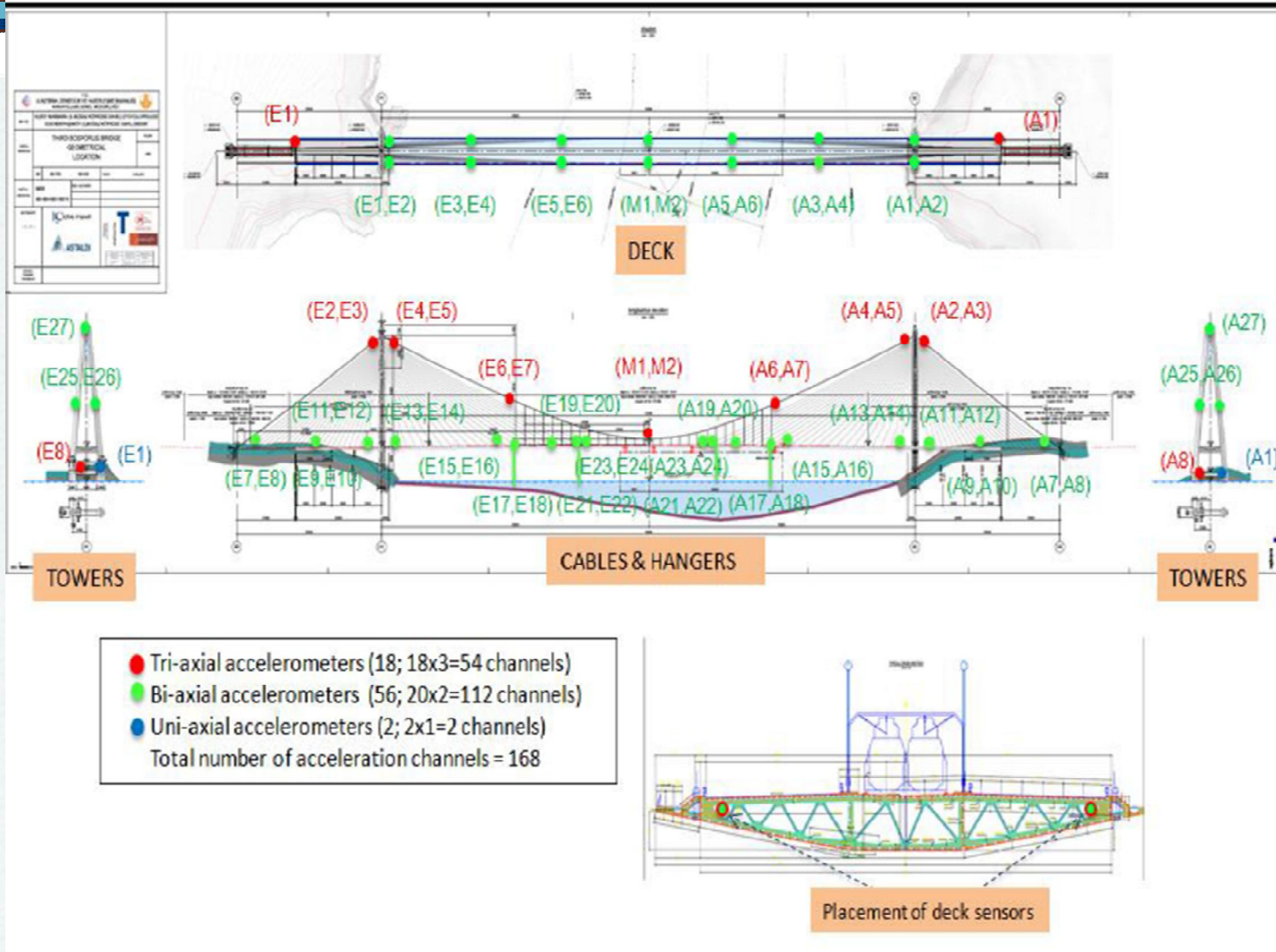
- Hybrid (suspension&cable stay)
- 2x4 highway, 2x1 railway on the same deck
- Deck width 59m (widest deck on a suspension bridge)
- Pylon height more than 320m (highest pylon)
- Main span 1408m Longest main span with railway)



SENSKIN



ACCELEROMETER LAYOUT



Osman Gazi Bridge

- Main span length: 1.550 m
- Tower height: 252,0 m
- Deck width: 35,93 m
- Total Length: 2.682 m
- 3x2 Lanes
- Vertical clearance: 64m

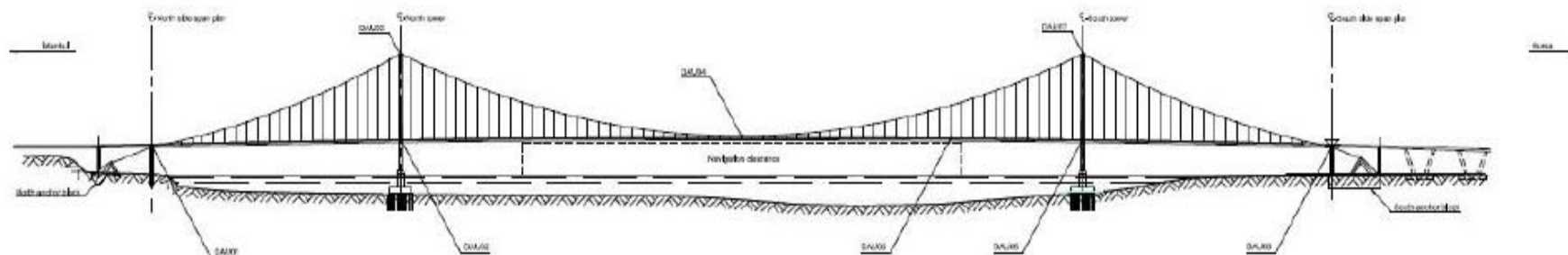


SENSKIN

SENSKIN

SHMS main tasks:

- Confirm final geometry and design assumptions like settlement, maximum environmental effects, loading conditions and global behaviour of the bridge due to these effects (e.g. response of the bridge structure to the wind and vehicle traffic);
- Automatic Monitoring;
- Early identification of degradation mechanisms;
- Permanent devices and portable sensors/acquisition unit to verify structural anomalies;
- Effective planning of operation and maintenance.



Project co-funded
by the EU under H2020



Summary of Permanent main sensor array & DMS

The data management system will consist of:

- 8 DAUs
- 1 MFS

+

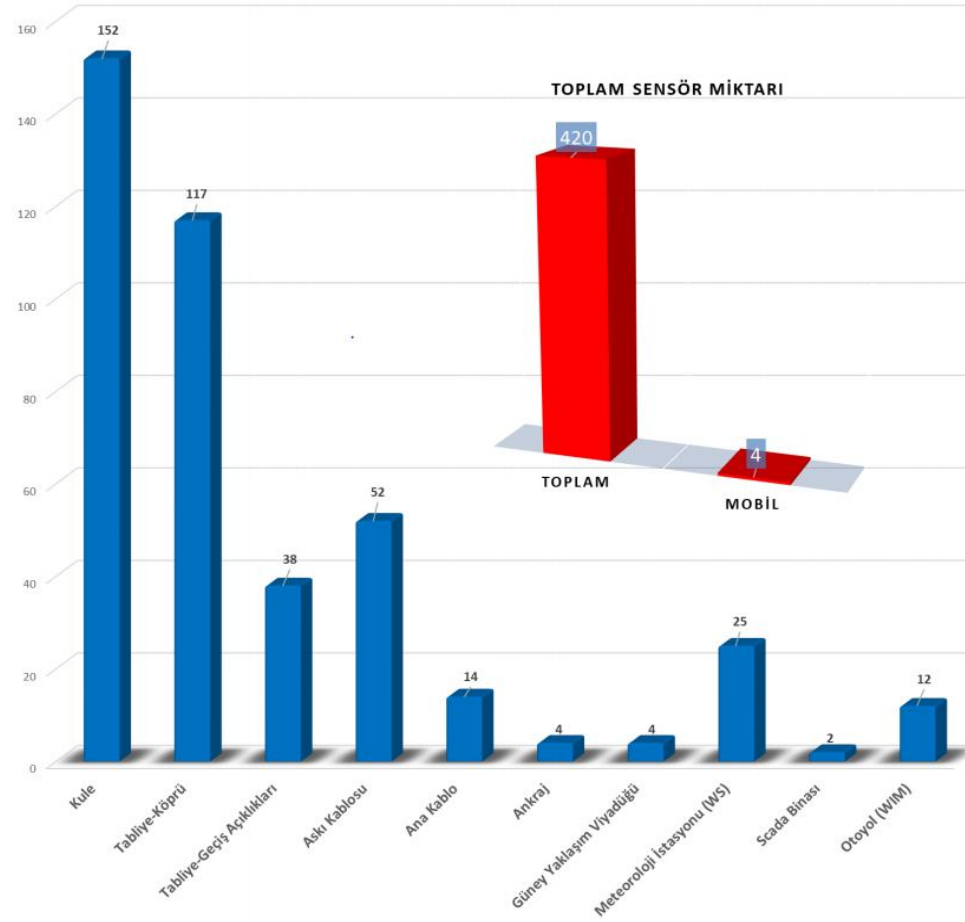
Item	Information
Weather station, 4 in total	Every weather station includes 1 Tri-axial anemometer, 1 Barometer, 1 Air Temperature, 1 Hygrometer
• Temperature sensor	
• Barometer	
• Hygrometer	
• Anemometer, Mechanical	
FOS, Fibre Optic Sensor, strain measurement	
FBG Steel Temperature Sensor	
FBG Main Cable Temperature Sensor	
FBG Hanger Temperature Sensor	
2D Accelerometer	
3D Accelerometer	
FBG Pavement temperature sensor	
Air temperature probe	
WIM	
Ultrasonic displacement sensor	
Echometer Ultrasonic Bolt Load Measurement	
GPS	
Static inclinometer	
Dynamic inclinometer	
Humidity sensor external	
Load measuring pin	
LVDT-Based Force Sensors	
Pyranometer	
Rain Gauge	
Road Wear Sensor	

SENSKIN

Distribution of SHMS Devices According to Structural Elements

SENSKIN

SHMS SENSÖRLERİNİN YAPILARA GÖRE DAĞILIMI



Meteorological Sensors

Meteorolojik Sensörler

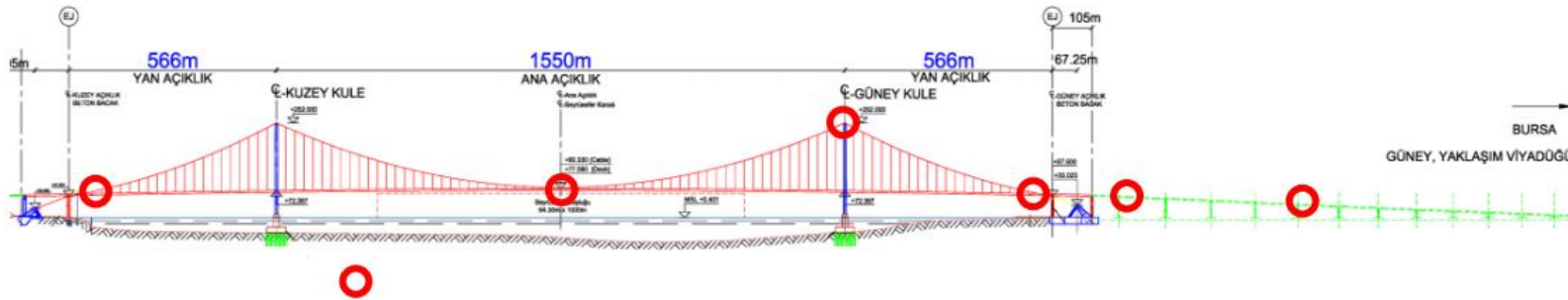
Meteoroloji İstasyonu (WS) Weather Station

Köprü üzerinde 4 Meteoroloji istasyonu (WS), Güney Yaklaşım Viyadüğünde 2 Meteoroloji istasyonu kurulmuştur. Meteoroloji istasyonu anemometre, barometre (atmosfer basınç sensörü), hava sıcaklık sensörü, higrometreden meydana gelmektedir.

Meteoroloji istasyonları, yanal rüzgar hızlarını ve rüzgar yönünü, hava sıcaklığını ve bağıl nemi, atmosferik basıncı izlemek için kullanılmaktadır.



Fig.-2.3 Meteoroloji İstasyonu (WS)



Meteorological Sensors

Yağmur Ölçer (RG)

Rain Gauge

Köprü üzerinde kuzey yan açıklık ve ana açıklığa yağmur ölçümü için iki adet yağmur ölçer tesis edilmiştir.

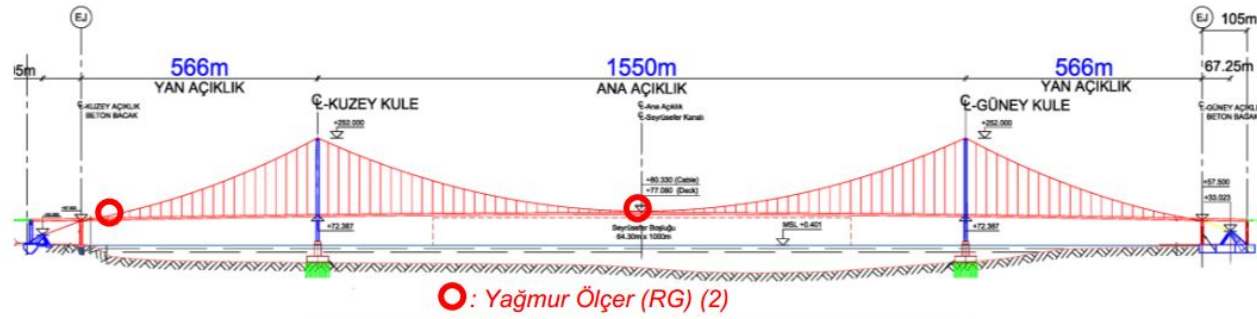


Fig.-2.4 Yağmur Ölçer (RG) Lokasyonu

SENSKIN

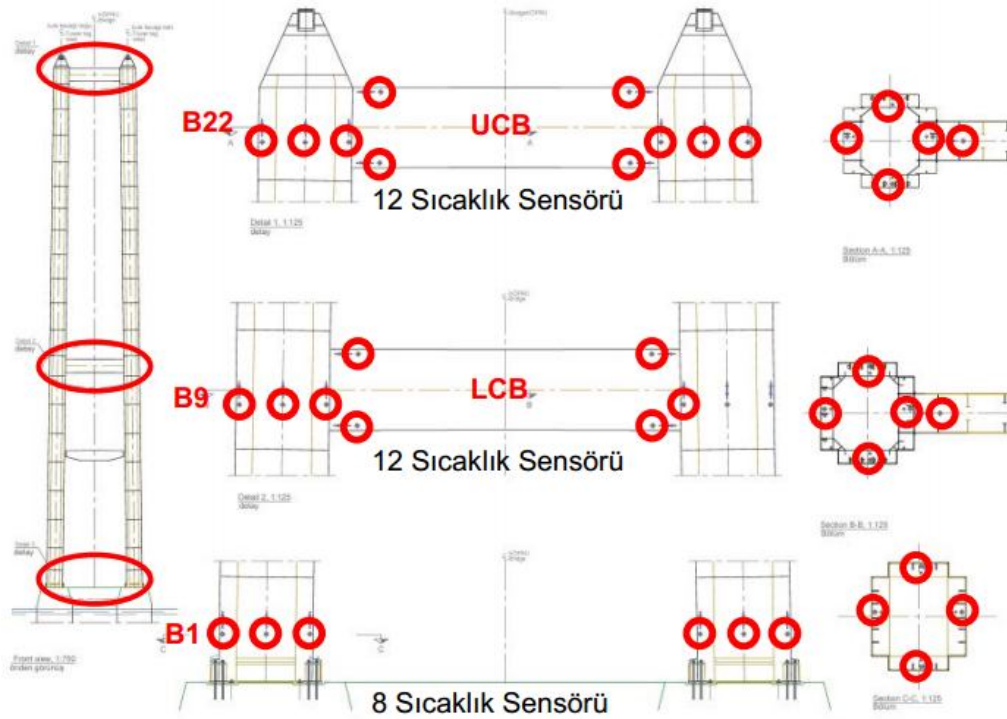
Fig.-2.5 Piranometre (PN) lokasyonu

Temperature Sensors

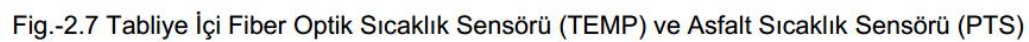
Çelik Sıcaklık Sensörü (TEMP)

Steel Temperature Sensors

Her bir kule ayağının Blok-1, Blok-9 ve Blok-22 de 4 er adet sıcaklık sensörü (toplam 24) ile üst ve alt portal kirişlerin her birinde 4 er adet sıcaklık sensörü (toplam 8) olmak üzere bir kulede toplam 32 adet fiber optik sıcaklık sensörü tesis edilmiştir.



SENSKIN



Temperature Sensors

Askı Kablosu Sıcaklık Sensörü (HT) Hanger Temperature Sensors

H22, H53, H84 doğu ve batı askı kablolarına toplam 6 adet fiber optik sıcaklık sensörü tesis edilmiştir.



Fig.-2.8 Askı Kablosu Fiber Optik Sıcaklık Sensörü (HT)

Temperature Sensors

Ana Kablo Sıcaklık Sensörü (MCT) Main Cable Temperature Sensors

Kule semerleri bölgesi ve ana açıklık merkezinde doğu ve batı kablo yüzeylerine toplam 6 adet fiber optik ana kablo sıcaklık sensörü (MCT) tesis edilmiştir.

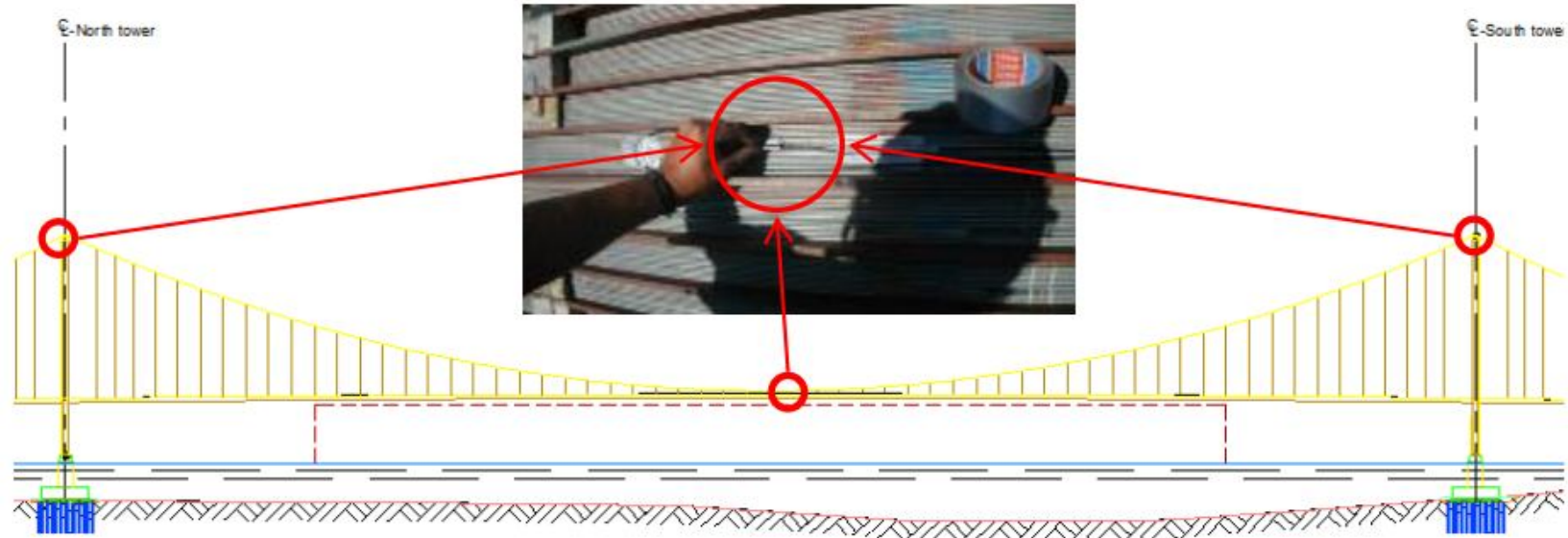


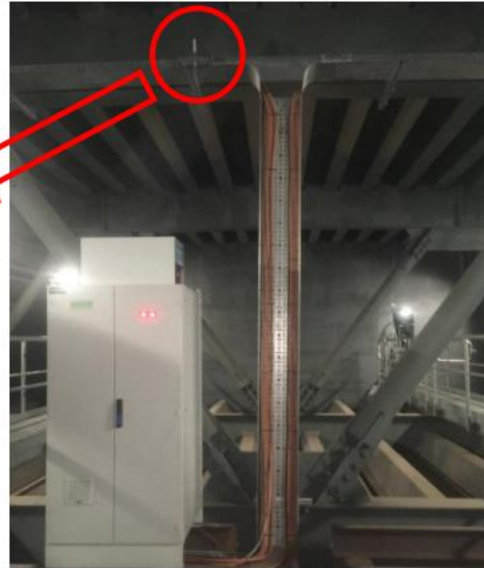
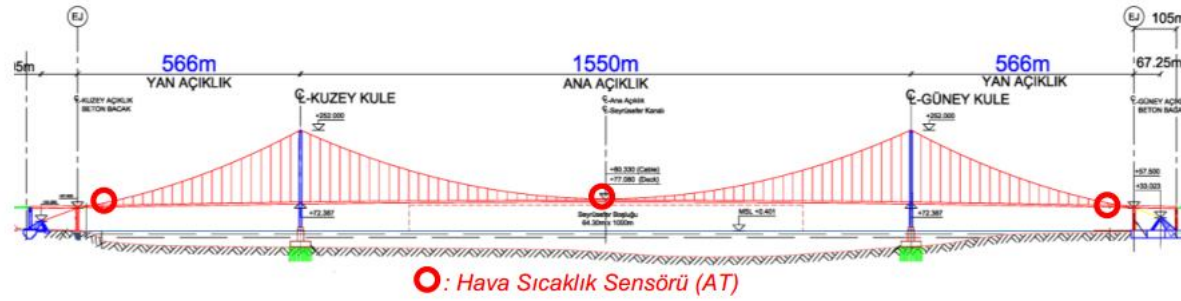
Fig.-2.9 Ana Kablo Sıcaklık Sensörü (MCT)

Temperature Sensors

Harici Hava Sıcaklık Sensörü (AT)

Ambient Temperature Sensors

Tabliye içi sıcaklığını ölçmek için SN21, MM ve SS21 blokları içerisine toplam 3 adet hava sıcaklık sensörü tesis edilmiştir.



Harici Higrometre (Nem Ölçer) (EHG) Higrometer

Dış ortam bağıl nemini ölçmek için tabliye ve kulelerde toplam 16 adet harici higrometre tesis edilmiştir.

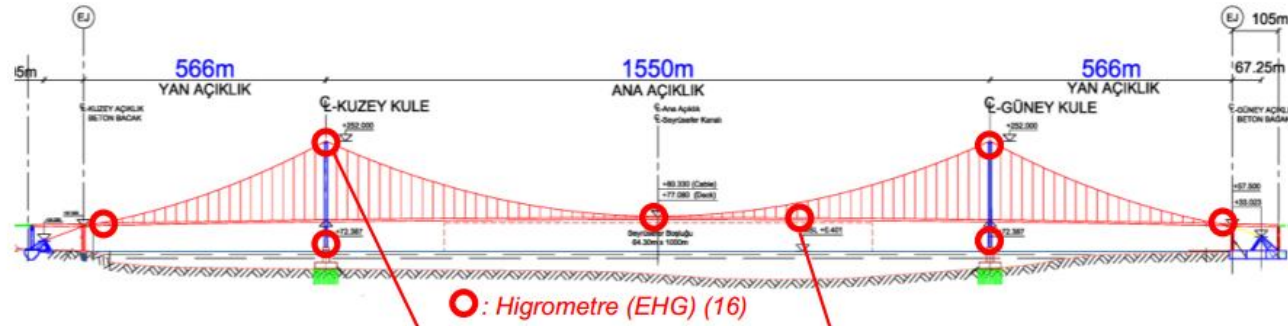


Fig.-2.11 Higrometre (EHG)

Fiber Optik Gerilim Ölçer (FOS) Fiber Optic Strain Gauges

Çelik tabliyenin yorulmasını izlemek için MM ve MS22 bloklarının herbirinde tabliye üst u kanallarında (trough) 36 adet, kuzey ve güney geçiş açıklıkları TN3 ve TS2 talbiye bloklarında ise 12 şer adet olmak üzere toplam 96 adet fiber optik gerilim ölçer sensör tesis edilmiştir.

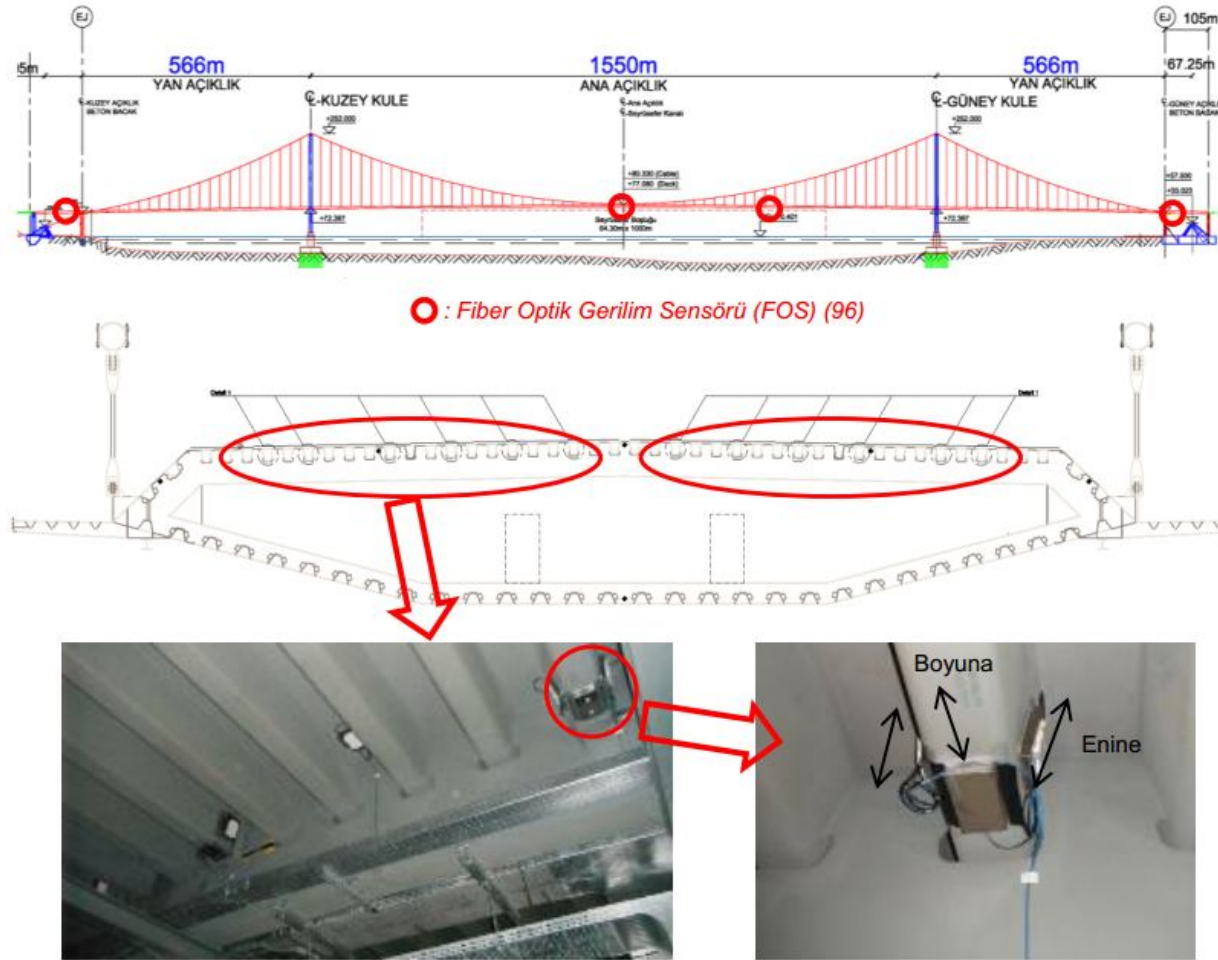
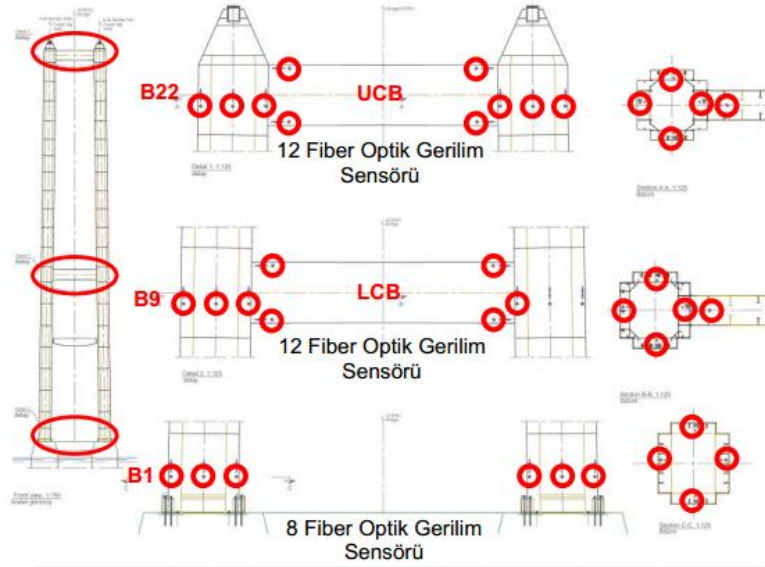
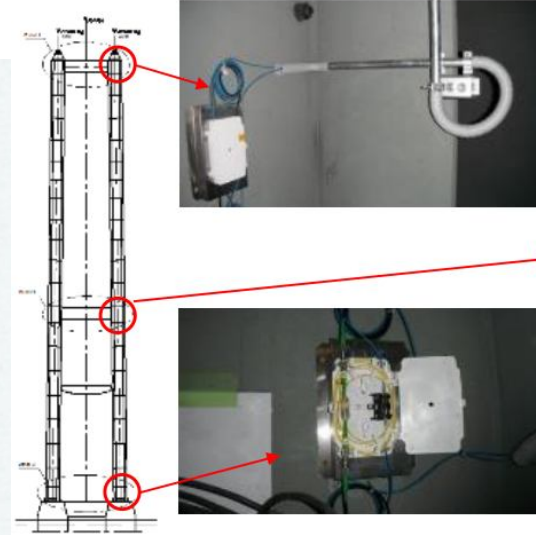


Fig.- 2.12 Tabliye İçi Fiber Optik Gerilim Ölçer Sensör (FOS)

Her bir kule ayağının Blok-1, Blok-9 ve Blok-22 de 4 er adet sensör (toplam 24) ile üst ve alt portal kirişlerin her birinde 4 er adet sensör (toplam 8) olmak üzere bir kulede toplam 32 adet fiber optik gerilim sensörü tesis edilmiştir.



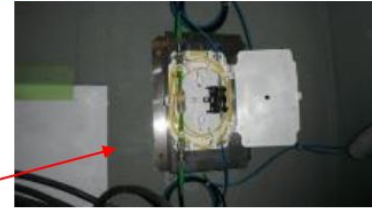
SENSKIN



Kule Üstü Blok-22



Kule Blok-9



Kule Blok-1

Fig.- 2.13 Kule İçi Yorulma Ölçümü İçin Fiber Optik Gerilim Sensörü

Force Transducers

Doğrusal Değişken Diferansiyel Dönüştürücü (LVDT)

Doğrusal değişken diferansiyel dönüştürücü (LVDT) Kuvvet Transdüzeri'nin (FT) işlevi, bir askı gerildiğinde nikelli çelik barın boyuna deplasmanın ölçülmesi sureti ile askı kuvvetinin izlenmesi içindir.

12 adet LVDT'nin tümü H36, H37, H38, H47, H48 ve H49 askı kabloları üzerine kurulmuştur.

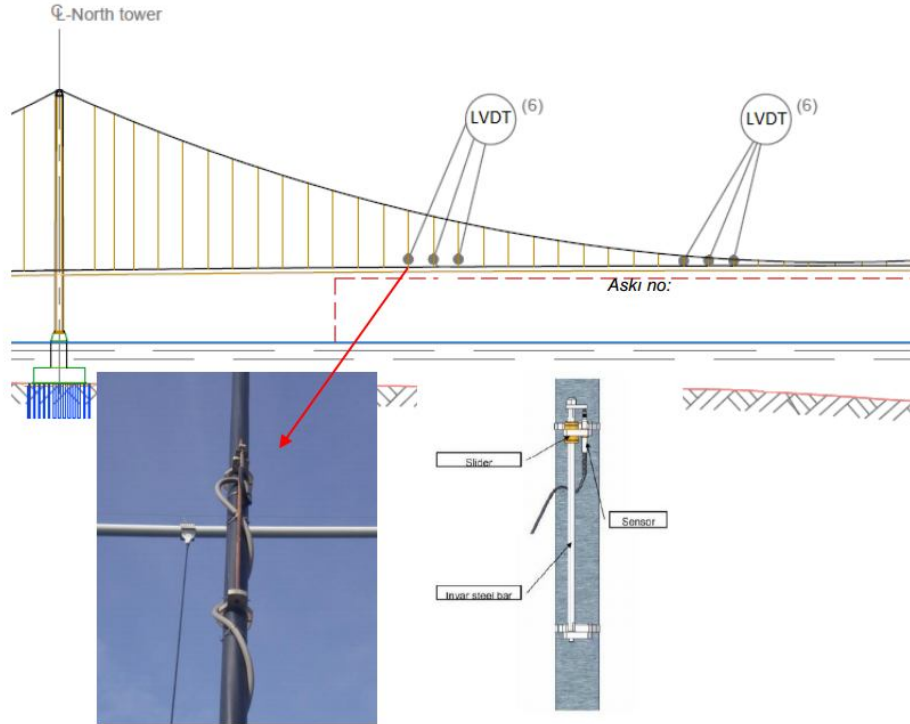


Fig.- 2.15 Askı Kablosu LVDT Lokasyonları

Force Transducers

Yük Ölçüm Pini (LMP)

Askı kablosuna gelen kuvvetler yük ölçüm pinleri (LMP) ile izlenmektedir. Toplamda iki sensör batı tarafta 37 ve 48 nolu askı kablolarına tesis edilmiştir.

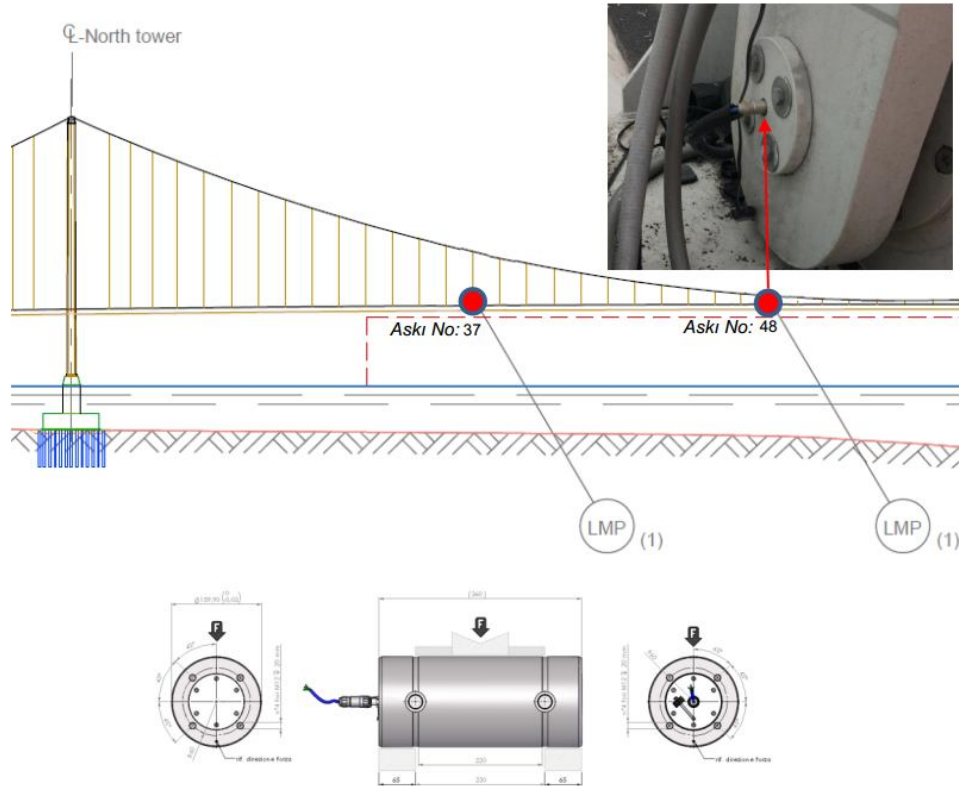


Fig.- 2.16 Askı Kablosu Yük Ölçüm Pini

Force Transducers

Ana Kablo Ekstra Demet Gerilim Ölçer (MLC)

Sismik olay sırasında maksimum halat yükü, olası uzun dönem halat hasarını hesap etmekte yardımcı olacaktır. Bu yüzden, ana halat gerilimleri izlemek için kuzey ve güney ankraj dağılıma odalarındaki doğu ve batı ana kabloların ekstra demetlerine gerilim ölçer sensör tesis edilmiştir.

Toplam 8 adet gerilim ölçer sensör tesis edilmiştir.

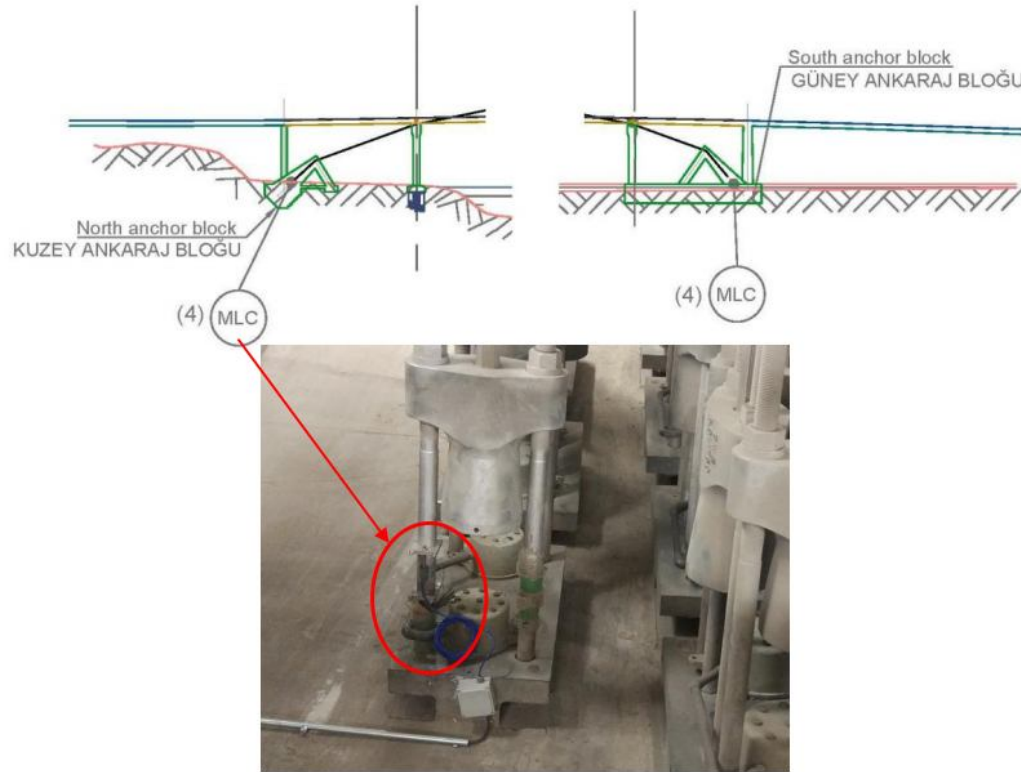


Fig.- 2.17 Ana Kablo Ekstra Demet Gerilim Ölçer Sensörü

Accelerometers

İki Eksenli İvme Ölçer (2D ACC)

Rüzgar etkileşimli titreşimleri ölçmek/izlemek için iki kulenin her iki tarafındaki 4 adet en uzun askı kablolarına toplam 32 adet 2D ACC yerleştirilmiştir.

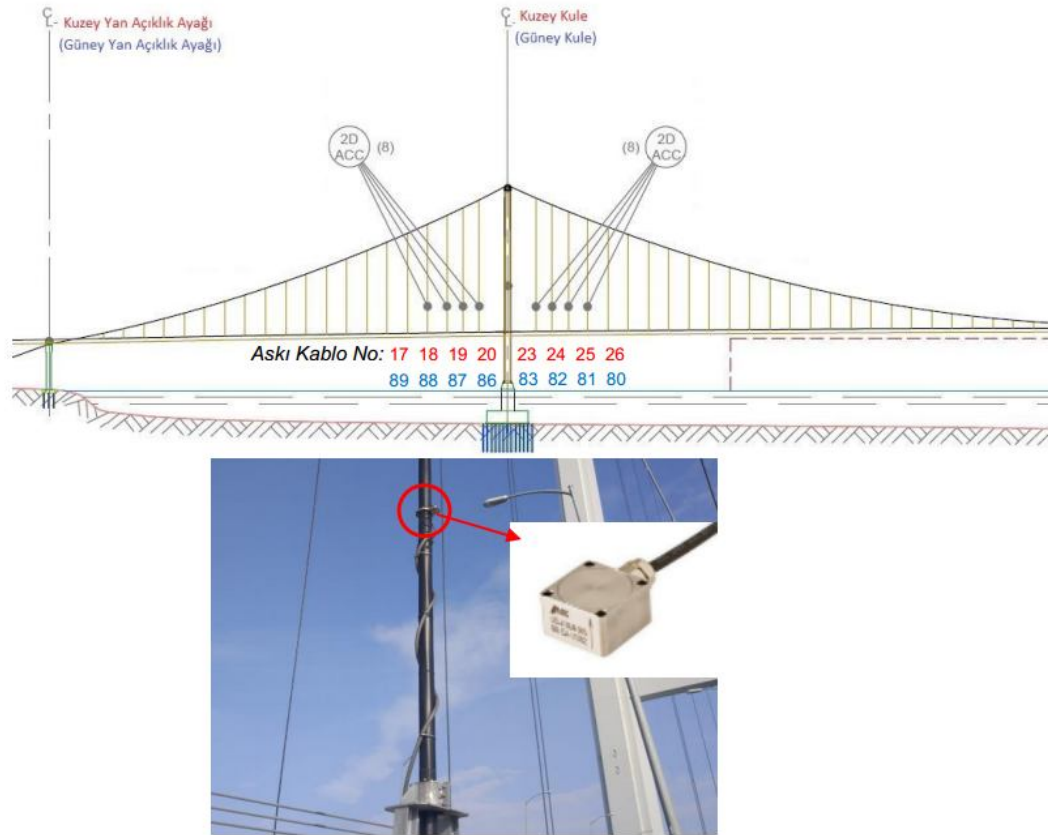


Fig.-2.18 İki Eksenli İvme Ölçer (2D ACC)

Accelerometers

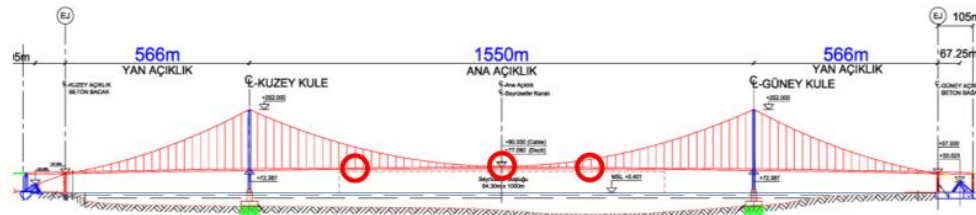
Üç Eksenli İvme Ölçer (3D ACC)

Kulelerde; üç eksenli ivme ölçerler, gemi çarpması / kule titreşimini izlemek için kule üstü ve kule uzunluğunun 3/4 üne (Blok15) tesis edilmiştir. Ayrıca sismik ölçüm için kule temellerine de üç eksenli ivme ölçer tesis edilmiştir. Kulelere toplam 8 adet 3D ACC yerleştirilmiştir.

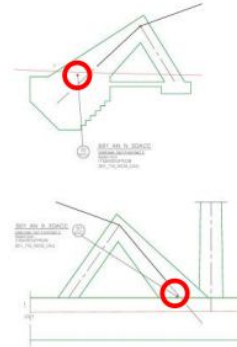
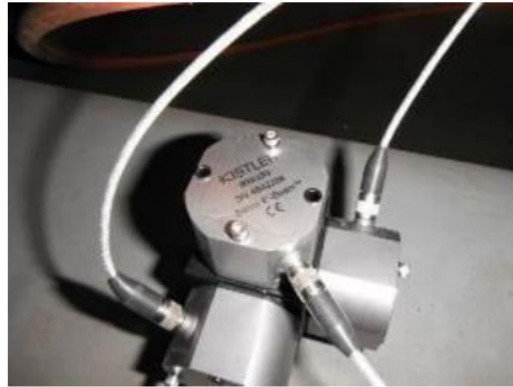
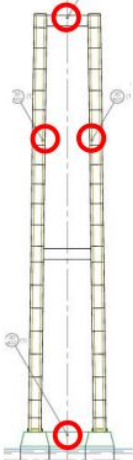
Tabliyede; uzunluğun 3/5 ine (MS22), 1/2 sine (MM) ve 1/3 üne (MN14) toplam 6 adet 3D ACC tesis edilmiştir.

Ankrajlarda; sismik ölçüm için kuzey ve güney ankrajlara toplam 4 adet 3D ACC tesis edilmiştir.

Ayrıca, 1 adet referans 3D ACC Scada Binasına tesis edilmiştir.



○ : Üç Eksenli İvme Ölçer (3D ACC) (17)



SENSKIN

Accelerometers

Sonik Yer Değiştirme Sensörü (SDS)

Köprüdeki dört ve güney yaklaşım viyadüğündeki iki genişleme derzindeki boyuna relatif yer değiştirmeyi izlemek için toplam 12 adet sonik yer değiştirme sensörü tesis edilmiştir. Her genişleme derzi bölgesindeki beton ayak üzerine iki adet sensör yerleştirilmiştir.

Sonic Displacement Sensor

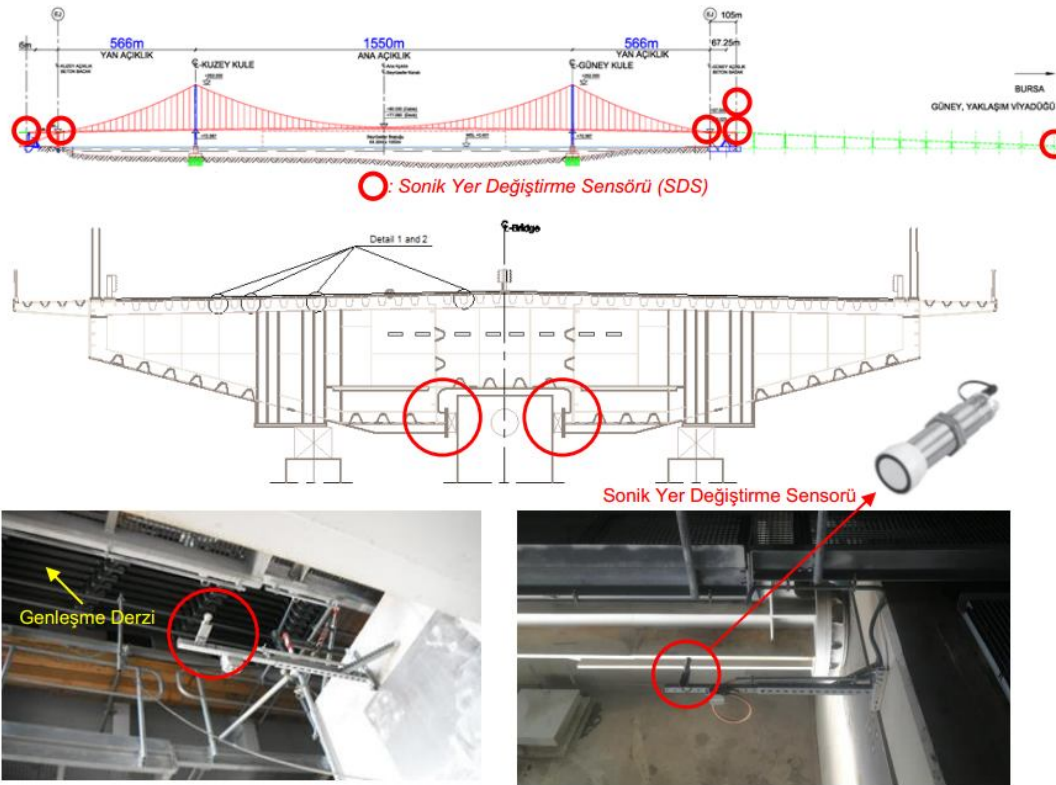
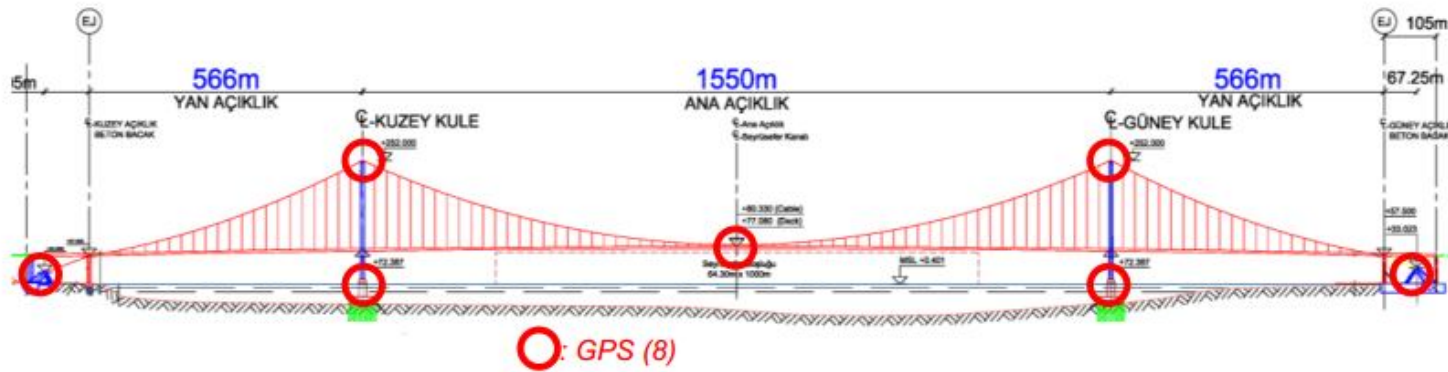


Fig.- 2.20 Genleşme Derzleri Sonik Yer Değiştirme Sensörü

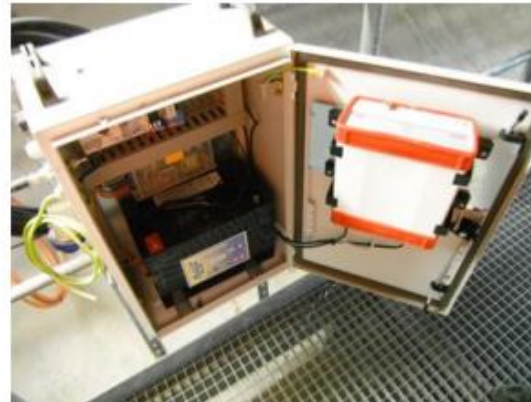
SENSKIN

Global Konumlama Sistemi (GPS)

Kulelerin hareketleri ve ana açıklıktaki hareketleri izlemek için kule tepelerine, tabliye ana açıklığına GPS sensörü tesis edilmiştir. Ayrıca, her iki kule tabanı, her iki ankraj blokları ve scada binasında (referans) GPS bulunmaktadır. Toplam 8 adet GPS sensörleri tesis edilmiştir.



GPS Anteni



GPS Alıcısı (GNSS GM10)

Eğim Ölçerler (SIN, DIN)

Inclinometer

Kulelerin hareketlerini izlemek için kule tepelerine dinamik eğim ölçer (DIN) ve statik eğim ölçer (SIN) sensörü tesis edilmiştir. Tabliyenin eğimini ölçmek için ana açıklığa statik eğim ölçer tesis edilmiştir. Toplam 2 adet DIN ve 3 adet SIN sensörleri tesis edilmiştir.

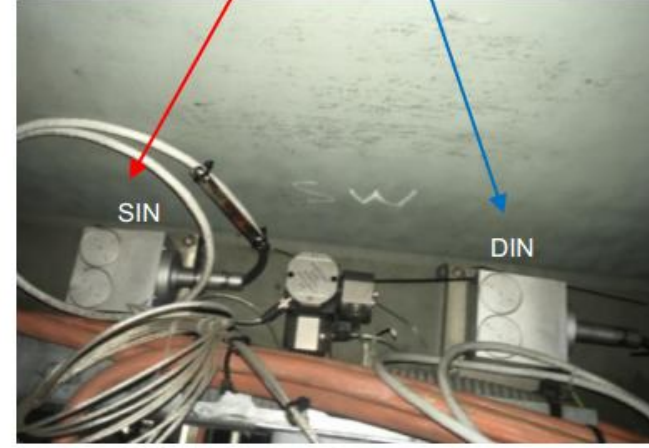
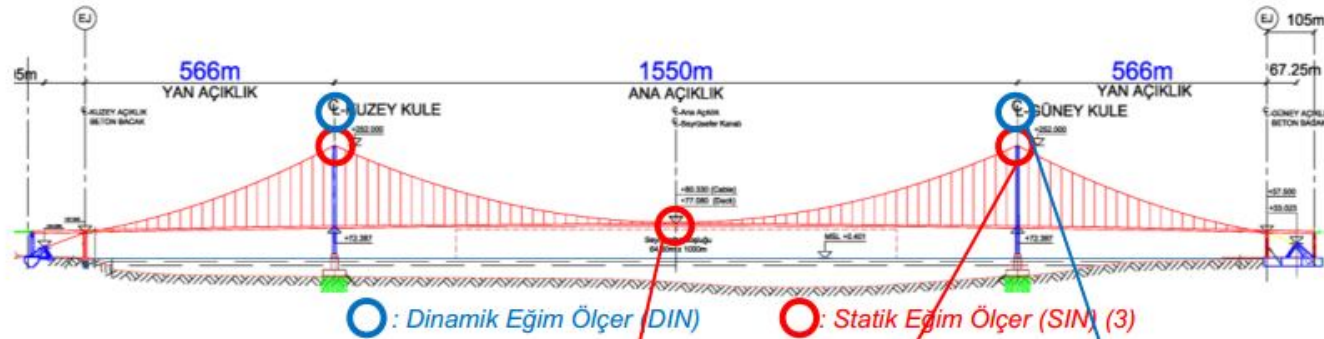


Fig.- 2.22 Dinamik ve Statik Eğim Ölçer Lokasyonları

Hareketli Ağırlık Ölçüm Cihazı (WIM)

Hareketli Ağırlık Ölçüm Cihazı (Weigh In Motion) (WIM) trafik hacmi, aks yükü, toplam ağırlık, araç hızı ve sınıfını ölçen bir sensördür. Bu araçların ölçülmesi ve izlenmesi yol üstyapısını güvenilir bir şekilde korumaya, yol güvenliğini artırmaya ve gerekmesi halinde aşırı yüklü araçların sınırlandırılmasına yardımcı olur.

Köprüye yaklaşan veya geçen araçların ağırlığının izlenmesinin amacı;

- Aşırı ağır araçların köprüye girişini önlemek
- Köprü trafik yükü geçmişini kaydetmek

Hareketli Ağırlık Ölçüm Cihazı köprü'nün her iki ucunda üstyapıya gömülü olacak şekilde geçiş ayaklarından 200 m uzağa konumlanacak şekilde tasarlanmıştı ancak her iki yöndeki cihaz Güney Yaklaşım Viyadüğü'nden sonra Km 8+635 e kaydırılmıştır.

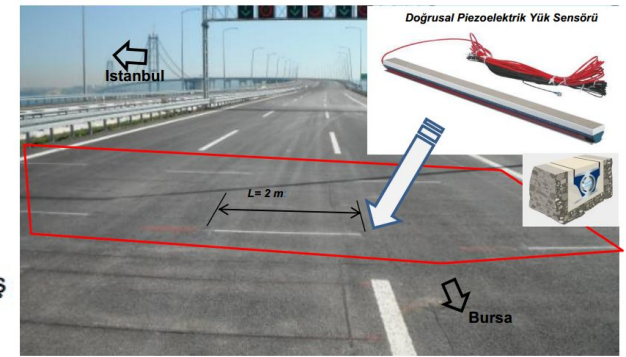
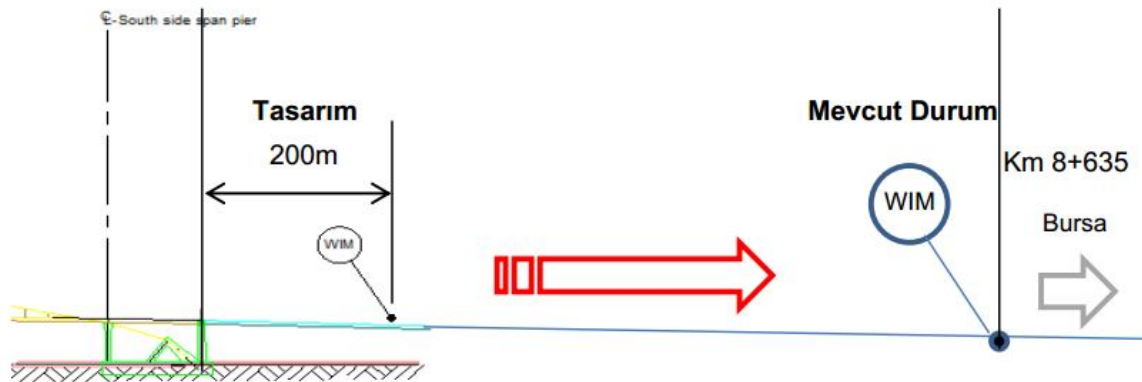


Fig.- 2.23 WIM Lokasyon ve Sensörü

Mobile Sensors

Yol Aşınma Ölçer (RW)

Road Wear System

Yol aşınma ölçümünün amacı, yol kalitesini izlemek ve bununla birlikte köprünün tamamen ya da kısmen sınırlandırılmasını gerektirecek bakımin yapılmasını planlayabilmektir.



Kilometre Sayaç Sensörü



Mini Romdas Kontrolör

Arayüz Modülü

Bump Entegratörü



Fig.- 2.24 Yol Aşınma Ölçer

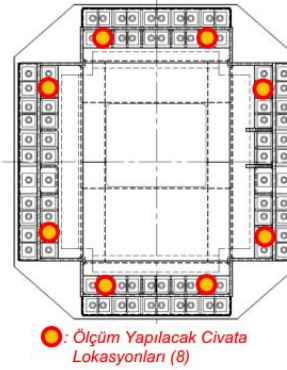
Mobile Sensors

Ultrasonik Cıvata Ölçer (TBM)

Kule taban civataları yüksek kuvvetlere maruz kalır. Bundan dolayı sürdürülebilir ve güvenli bir hizmet ömrü için kule taban civataları periyodik olarak izlenmektedir.

Ultrasonik cıvata ölçüm cihazı, uzamayı, stresi ve bağlantı elemanlarındaki yükü ultrasonik olarak ölçebilir. Yöntem çabuk ve kesindir; cıvata sıkılmadan önce ve ardından sıkıldıktan sonra bir ölçüm alınır. Okumalar arasındaki fark civatanın uzama miktarıdır. Sistem, yük, stres ve gerilme ölçmek için ayarlanabilir.

Civataların sıkılmadan önce ölçülmesi gerektiğinden yapım aşamasında ve yapım sonrasındaki ilk 6 ay minimum 1 aylık aralıklarla ve ardından minimum 3 aylık aralıklarla sürekli ölçülmelidirler.



Manyetik Transdüser

Ultrasonik Cıvata Ölçer

Mobile Sensors

İki Eksenli Mobil İvme Ölçer (2D ACC)

2D Mobile accelerometer

İki eksenli mobil ivme ölçer köprü üzerindeki ölçümler için kullanılmaktadır ve her iki kule bölgesinde belirlenen askı kabloları üzerine soketler tesis edilmiştir.

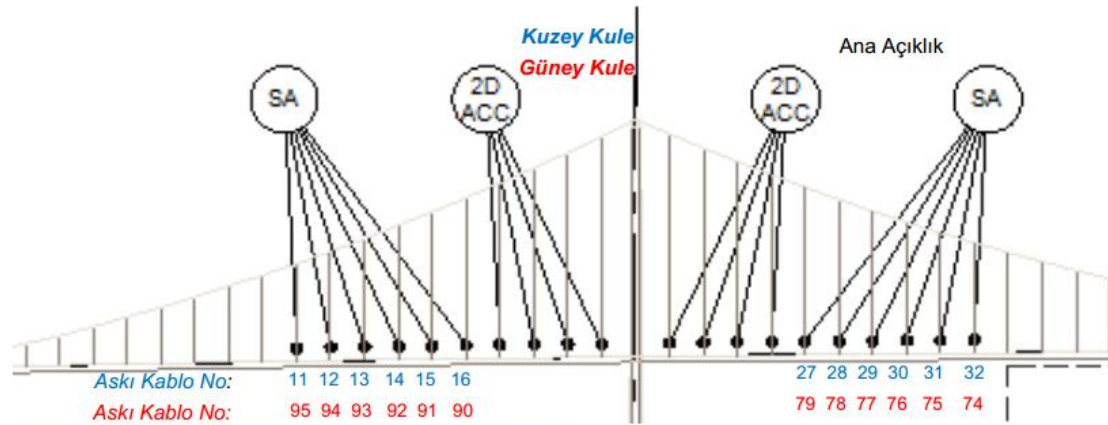
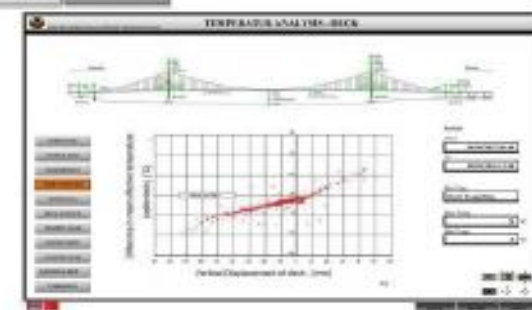
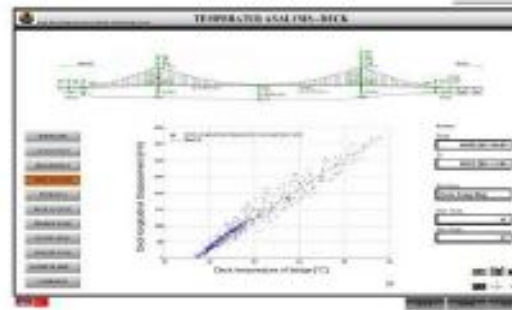
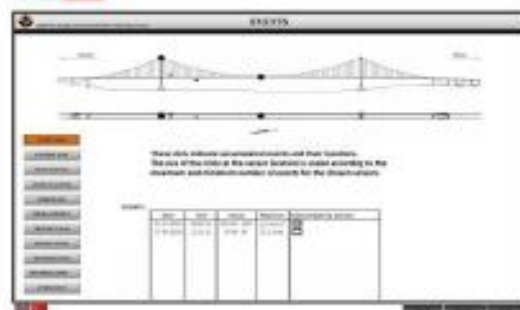
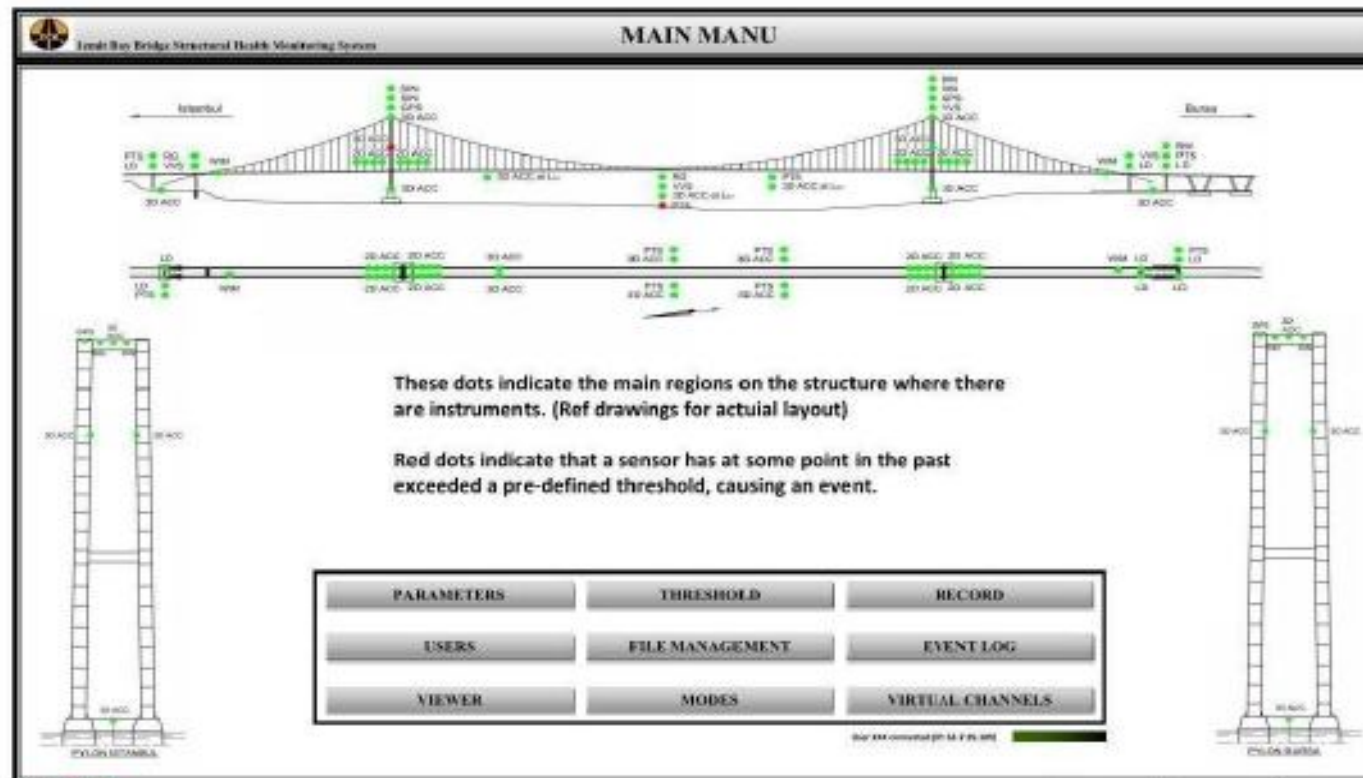


Fig.- 2.26 Mobil İvme Ölçerler İçin Soket Lokasyonları ve Mobil İvme Ölçer

SOFTWARE

SENSKIN



by the EU under H2020



SOFTWARE

SENSKIN

SHMS - Recommended actions for Warning/Alert in SHMS

					Recommended action									
Equipment	Output unit	Threshold values		Reasons behind defined values	Warning					Alert				
		Warning	Alert		Monthly report	VMS/VTS	Working condition	Check other sensor values	Note	Monthly report	VMS/VTS	Working condition	Check other sensor values	Note
Steel temperature sensor	Degree C	35, 0	+55, -5	Human safety			X		1. Warn the severe condition to people working on the bridge	X		X		1. Instruct all people working on the bridge not to touch steels without proper groves
Main cable temperature sensor	Degree C	-	+55, -5	Extreme condition					-	X		X		1. Check temperature in Weather station. 2. Check flow-air temperature blowed in Dehumidification system. 3. Measured temperature at the time of Alert is reported in the monthly report together with temperatures checked in above two actions.
Weather station - Temperature	Degree C	0	-5	Traffic safety				X	1. Carefully monitor the weather, road surface condition and traffic condition. The surface is prone to icing.				X	
Weather station - Anemometer	m/s	15	20	Traffic safety	X	X	X		1. Limit to 65km/h speed on all traffic. (VTS) 2. Display "Warning (High wind, Slow down)" on VMS 3. Stop/limit O&M works on the bridge	X	X	X		1. Close to double-decker buses. 2. Limit to 65km/h speed on all traffic. (VTS) 3. Display "Warning (High wind, Slow down)" on VMS 4. Stop O&M works on the bridge
Rain gauge	mm/hr	20	40	Traffic safety		X			1. Display "Warning (Heavy rain, Slow down)" on VMS	X	X			1. Consider the temporary road closure
Weigh in motion	kN	400	500	Traffic condition	X				1. Total number per month is reported.	X				1. Total number per month is reported.
2D accelerometer (Hanger)	m/s ²	100	200	Structural condition	X				1. Total number(duration) per month is reported.	X				1. Total number(duration) per month is reported.
3D accelerometer (Foundation)	m/s ²	0,2	0,5	Structural condition	X				1. Total number(duration) per month is reported.	X				1. Total number(duration) per month is reported.
Ultrasonic displacement sensor (Expansion joint)	m	±1.0	±1.3	Less probability	X		X		1. Total number per month is reported. 2. Check the traffic condition on the bridge. (if possible, capture the road condition from Camera).	X		X		1. Total number per month is reported. 2. Check the traffic condition on the bridge. (if possible, capture the road condition from Camera). 3. Visually check the buffer condition on site.
GPS sensors (Deck)	m	-4	-7	Navigation safety	X		X		1. Total number(duration) per month is reported. 2. GPS sensor at Tower top at the same time is checked (around 0.7 - 1.0m displacement is expected). 3. Traffic condition (loading condition) on the bridge is checked.	X		X		1. Total number(duration) per month is reported. 2. GPS sensor at Tower top at the same time is checked (around 1.0 - 1.5m displacement is expected). 3. Traffic condition (loading condition) on the bridge is checked. 4. If it is planned to pass high aircraft vessel under the bridge, make sure that the maintenance gantry is outside the navigation.
GPS sensors (Tower top)	m	±1.0	±1.5	Navigation safety	X				1. Total number(duration) per month is reported.	X				1. Total number(duration) per month is reported.
2D static inclinometer (Deck)	Degree	±2.0	±3.0	Traffic condition	X				1. Total number(duration) per month is reported.	X				1. Total number(duration) per month is reported.
Pavement temperature sensor	Degree C	-, +2	+55, 0	Traffic safety	X				1. Total number(duration) per month is reported.	X	X			1. Consider the display of "Warning" on VMS for lower temperature. 2. Total number(duration) of alert per month is reported in the montly report.
Load measuring pin system	kN	3000	3500	Extreme loading	X				1. Total number per month is reported.	X				1. Total number per month is reported. 2. If frequently happened, the followings shall be checked; a. Possible damage in Sensor b. Comparison with Weigh-in-motion sensor data around the designated times.
Force transducer (Hanger)	kN	3600	-	Extreme loading				X	1. Check the recent data in Load measuring pin system if a similar high value was measured or not.					-
Air temperature inside girder	Degree C	+35, 0	+55, -5	Human safety				X	1. Warn the severe condition to people working on the bridge			X		1. Prohibit the enter into inside the structure unless essential/urgent issues. 2. Warn the severe condition to people working on the bridge.
Humidity inside girder	%	60	-	-					1. If it continues more than 10 days, check the airtightness condition					-
Fibre optic strain gauges (Deck)	MPa	150	250	-	X				1. Total number(duration) per month is reported.	X				1. Total number(duration) per month is reported.
Fibre optic strain gauges (Tower)	MPa	250	360	-	X				1. Total number(duration) per month is reported.	X				1. Total number(duration) per month is reported.



1915 ÇANAKKALE BRIDGE



Main Bridge(Suspension Bridge)

$L = 770 + 2,023 + 770 = 3,563\text{m}$ (6 Lanes, W3.65m)

- Tower Foundation

Caisson Type w/ rigid pile inclusion

- Tower

H-Shape Steel Tower

- Anchorage

Gravity Type Anchorage

- Stiffening Girder

Twin box girder

- Cable

PPWS

- Total deck width

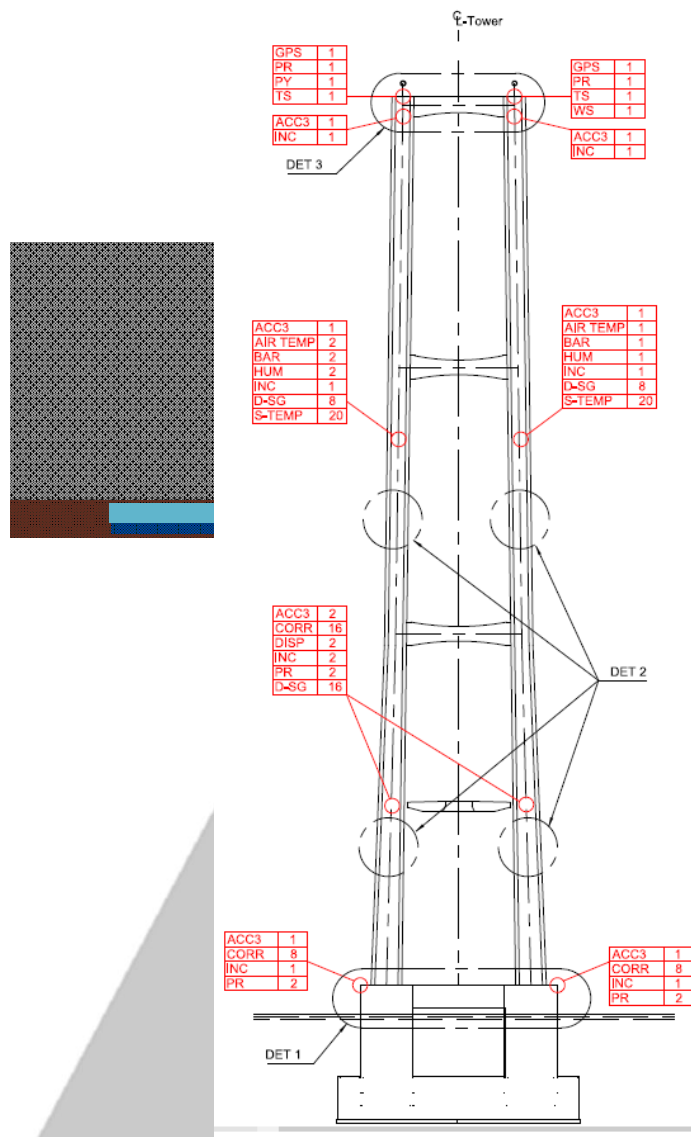
45,06m (9m incl. space)

Approach Bridge (PSB BOX, ILM)

European : 365m, Asian : 680m

SHMS Tower Sensor Symbol List

SENSKIN



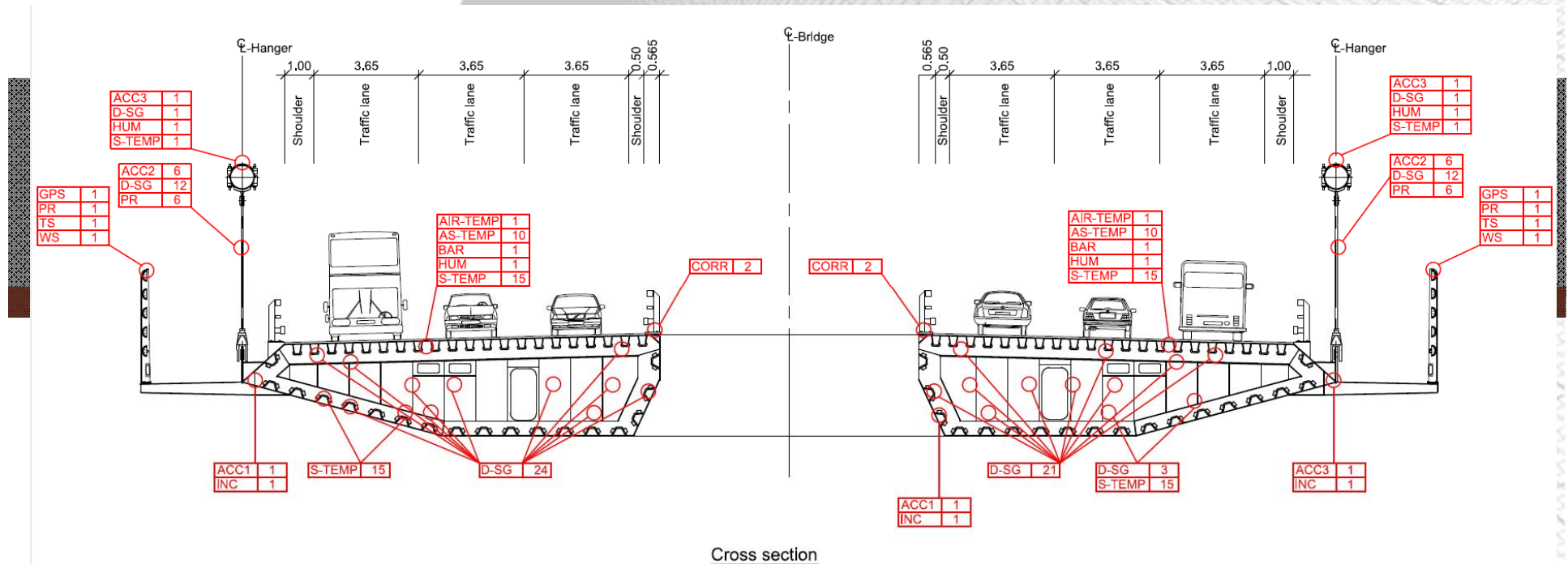
SENSOR TAG NAME	NAME	NUMBER OF SENSORS
ACC1	UNIAXIAL ACCELEROMETER	13
ACC2	BIAXIAL ACCELEROMETER	24
ACC3	TRIAXIAL ACCELEROMETER	41
AIR-TEMP	AIR TEMPERATURE	10
AS-TEMP	ASPHALT TEMPERATURE	40
BAR	BAROMETRIC PRESSURE	10
BUFFER	SENSORS IN THE BUFFER	2
CL	CLEARANCE - SONIC DISTANCE SENSOR	2
CORR	CORROSION SENSOR	68
DAU	DATA ACQUISITION UNIT	38
DISP	DISPLACEMENT SENSOR	12
D-SG	DYNAMIC STRAIN GAUGE	663
GPS	GPS RECEIVER	26
HUM	HUMIDITY	12
INC	BIAXSIAL INCLINOMETER	45
PR	PRISM FOR TOTAL STATION	68
PY	PYROMETER	2
S-SG	STATIC STRAIN GAUGE	38
S-TEMP	STEEL TEMPERATURE	142
TS	TOTAL STATION	6
WIMS	WEIGHT IN MOTION SYSTEM	6
WS	WEATHER STATION	6

Project co-funded
by the EU under H2020



SENSKIN

SHMS Deck Cross Section

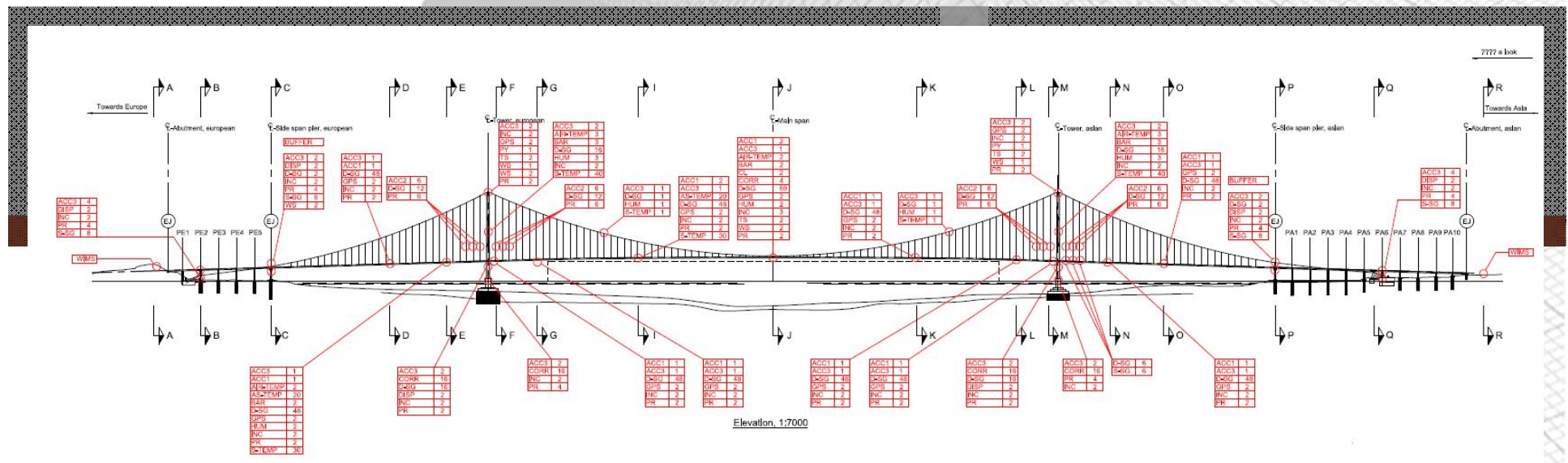


Project co-funded
by the EU under H2020



SENSKIN

SHMS Elevation



Project co-funded
by the EU under H2020



SENSKIN

THANK YOU

Sabri TEKİN

Head of Motorway Operations Department

MINISTRY OF TRANSPORT, MARITIME AFFAIRS AND COMMUNICATION
GENERAL DIRECTORATE OF HIGHWAYS (KGM)



Project co-funded
by the EU under H2020

