

DOI: [10.38027/ICCAUA2022TR0011](https://doi.org/10.38027/ICCAUA2022TR0011)

Increasing Flood Disasters with Climate Change and Urban Adaptation Strategies; Suggestions for Bursa City

Ayşe Sena ÇILDIR ¹, Dr. Didem Güneş YILMAZ ²

Bursa Technical University, Faculty of Architecture and Design, Bursa, Turkey ^{1,2}

E-mail ¹: aysesenacildir@gmail.com , E-mail ²: didem.yilmaz@btu.edu.tr

Abstract

Cities have begun to experience the effects of climate change, which is a global problem, more and more. Many cities around the world are developing mitigation and adaptation strategies for urban resilience and have 2030-2050 targets. Cities in Turkey also suffer from flood disasters. In recent years, flood disasters have occurred in Istanbul, Izmir, Ankara, Samsun and Giresun, due to extreme precipitation. This study, in the first stage, investigates adaptation plans for a resilient city that includes increasing green areas and permeable surfaces, using green roofs, rehabilitation of stream beds, and using cisterns against the risk of flooding. This study focuses on Bursa, which is one of the cities that have many stream beds and prone to extreme precipitation. Accordingly, suggestions for the flood risk adaptation will be given based on the literature particularly for the Yildirim district, which is vulnerable due to the built environment and low-profile socioeconomic status it has.

Keywords: Climate Change; Flood Risk; Floods in Turkey; Urban Resilience; Urban Adaptation.

İklim Değişikliği Etkisiyle Artan Sel Felaketleri ve Kentsel Uyum Stratejileri; Bursa Kenti İçin Öneriler

Özet

Kentler küresel bir sorun olan iklim değişikliğinin etkilerini son yıllarda daha fazla yaşamaya başlamıştır. Dünyada birçok şehir dirençli kent olmak için azaltma ve uyum stratejileri geliştirmektedir ve kentlerin bu stratejilere yönelik 2030-2050 hedefleri bulunmaktadır. İklim değişikliğinin etkisi ile dünyada olduğu gibi Türkiye'deki şehirlerde de sel felaketleri yaşanmaktadır. Son yıllarda aşırı yağışlar nedeniyle İstanbul, İzmir, Ankara, Samsun ve Giresun'da sel felaketleri meydana gelmiştir. Bu çalışma, ilk aşamada yeşil alanların ve geçirgen yüzeylerin artırılması, yeşil çatıların kullanılması, dere yataklarının rehabilitasyonu ve su baskını riskine karşı sarnıçların kullanılması gibi dirençli bir kent için literatürde yer alan uyum planlamalarını araştırmaktadır. Çalışma, çok sayıda dere yatağına sahip olan ve aşırı yağışların yaşandığı illerden biri olan Bursa kentine odaklanmaktadır. Bu çerçevede, özellikle planlanmamış yapılı çevre ve düşük sosyoekonomik düzey nedeniyle sel riskine karşı kırılgan olan Yıldırım ilçesi için, literatüre dayalı olarak, sel riski adaptasyonuna yönelik önerilerde bulunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği; Sel Riski; Türkiye'de Seller; Kentsel Dirençlilik; Kentsel Uyum.

1. Giriş

İklim değişikliğinin bir sonucu olarak, kentsel alanlar hem can hem de mal kaybı açısından yıkıcı etkilere neden olabilecek sel baskınlarına karşı giderek daha savunmasız hale gelmektedir. Bu nedenle, kentsel sel süreçlerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve tehdit altındaki alanlarda afet öncesi iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesi esastır. Şu anda, iklim değişikliği ve artan kentleşme ile ilgili olarak, sel, şehirlerin karşılaştığı en zorlu sorunlardan biridir (Yin vd. 2015). Sellerin doğal nedenleri son zamanlarda iklim değişikliğinin sonucudur (Jamshed et al. 2020), diğer nedenler ise kentleşme ile artmaktadır (Waghwalwa ve Agnihotri 2019).

Kentler, özellikle geç kentleşme süreci yaşayan ülkelerde, yoğun nüfusludur ve geçirimsiz alan çoktur. Ayrıca kentler genellikle yetersiz altyapı ile hızlı bir büyüme yaşamaktadır ve bu da daha fazla kentsel sel ve çevresel bozulmaya yol açmaktadır. Bu eğilimin önümüzdeki yıllarda da devam etmesi beklenmektedir (Lo vd. 2015). Bu nedenle, kentsel sel tehlikesini önleme ve azaltma stratejileri, kentsel planlama ve yönetimin kritik konuları olarak giderek daha fazla tanınmaya başlanmıştır.

Kentsel sel vakalarının artması, can ve mal kayıplarını en aza indirebilecek güvenilir taşkın azaltma stratejilerine olan ihtiyacı göstermektedir. Buna yönelik farklı ülkelerde farklı isimlerle sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi önerileri ve uygulamaları mevcuttur. Uygulamalar genel olarak aynı temele oturmaktadır. Hepsı hidrolojik döngü ile bunların kentsel havza üzerindeki etkileri arasındaki dengeyi kurmanın önemini vurgulamaktadır. Çevre düzenlemesi ve ekonomik kazanımların yanında asıl amaç olarak yüzey akışı kontrolünü sağlamak önem taşımaktadır.

İklim değişikliği, dünyamız için en büyük zorluklardan birini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, dünyanın tüm bölgelerinin daha fazla kentleşmesi öngörülmektedir. Sonuç olarak, sürdürülebilir kalkınma sorunları şehirlerde giderek yoğunlaşacaktır. Bunun sonucunda karşılaşılabilecek sorunlardan bir tanesi de dünyanın birçok bölgesinde kentsel sel riskinin artmasıdır. İklim değişikliğine uyum, taşkın azaltmanın yanı sıra birden fazla fayda sağlayan yeşil-mavi altyapıların

uygulanmasıyla birlikte kentsel koşulların iyileştirilmesi şeklinde sağlanabilmektedir. Ancak kentsel drenaj sistemleri karmaşık yapılar olduğu için bu kolay bir iş değildir.

Bu çalışmada iklim değişikliğinin kentlerde artırdığı sel riski üzerinde durulmuş, dünyada ve Türkiye’de yaşanan sel felaketlerine değinilmiştir. Sonrasında dünyada uygulanan uyum çalışmalarından bahsedilmiştir. Son olarak ise Bursa’da planlanmamış ve yoğun yapılaşmaya sahip Yıldırım ilçesinde sel riski azalım ve uyum önerileri verilmiştir.

2. İklim Değişikliği ve Kentler

Kentlerde iklim değişikliği etkisi giderek daha çok hissedilmektedir. Özellikle Sanayi devriminden sonra şehirlerde karbon salımının artmasıyla iklim değişikliği etkileri görülmeye başlanmıştır. (Aksay vd., 2005) İklim değişikliğinin kentlerdeki etkileri sıcaklık değişimi, kuraklık, kentsel ısı adası, fırtınalar, su seviyesinde yükselmeler ve aşırı yağışlar sonucu oluşan seller şeklinde sıralanabilir.

2050 yılına kadar kentleşmenin 6 milyar kent sakini ile sonuçlanacağı tahmin edilmektedir. (Met Office, UK) İnsanların %54’ünün şehirlerde yaşadığı ve 2050 yılına kadar bu oranın %66’ya çıkacağını tahmin edilmektedir. (UN 2015a). Şehirler, sera gazı kaynaklı olarak iklim değişikliğine ve kentsel ısı adası gibi kentsel etkilere maruz kalmaktadır. (Met Office, UK) Hızlı kentleşme, iklim değişikliği, su altyapılarının yetersizliği ve kötü katı atık yönetimi, şehirlerin direncini azaltmaktadır. Sel, su kıtlığı, su kirliliği, olumsuz sağlık etkileri ve rehabilitasyon sorunlarına neden olmaktadır. Tüm bu etkiler şehirlerde zorluklar doğurmaktadır.

Kentler iklim değişikliğinden fiziksel, sosyal, coğrafik ve ekonomik olarak etkilenmektedir. Kentlerin gelişmişlik durumlarına göre ise kırılganlık düzeyleri değişmektedir. Kentlerin dirençli hale getirilebilmesi için iklim değişikliği etkileri azaltılmalı ve uyum çalışmaları yapılmalıdır. İklim değişikliğine uyum , UNFCC tarafından 'yaşanan veya beklenen iklimsel uyarılara veya etkilerine yanıt olarak, zararı azaltan veya faydalı fırsatlardan yararlanan doğal veya beşeri sistemlerde ayarlama' olarak tanımlanmaktadır.

Afet riskinin azaltılması , UNISDR tarafından 'Tehlikelere maruz kalmanın azaltılması, insanların ve mülkün kırılganlığının azaltılması, arazinin ve çevrenin akılcıca yönetimi dahil olmak üzere, afetlerin nedensel faktörlerini analiz etmeye ve yönetmeye yönelik sistematik çabalar yoluyla afet risklerini azaltma kavramı ve uygulaması' şeklinde tanımlanmaktadır. Aynı zamanda çevre ve olumsuz olaylara karşı geliştirilmiş hazırlıktır.

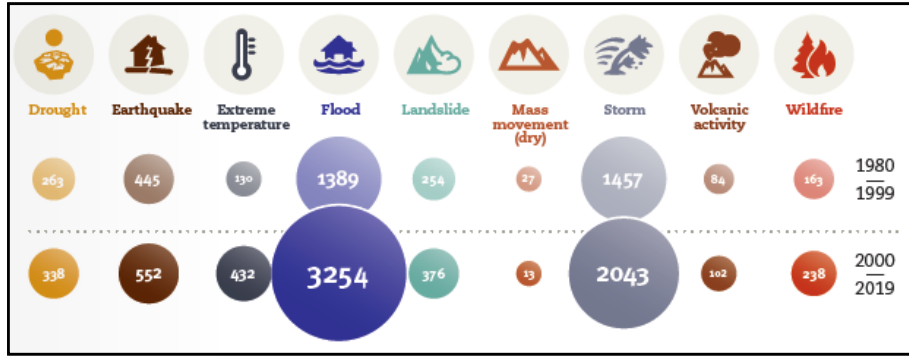
İklim değişikliğini azaltma ve uyum politikaları kapsamında ekosisteme dayanan uyum stratejileri sıklıkla kullanılmaktadır. Ekosistem yönetimi, iklimle ilgili afetlere karşı fiziksel savunma sağlamaktadır. Sağlıklı ekosistemler, toplumları afetlerden korumaktadır ve etkilerle mücadele etme yeteneklerini geliştirmektedir. Sel riskine karşı uygulanan ekosistem temelli stratejilerin bazı örnekleri arasında, kıyı savunması için ağaçlandırılmanın kullanılması ve taşkın koruması için taşkın ovası yönetimi sayılabilir (Colls A vd., 2009). Örneğin Filipinler’de kıyı şeritlerini fırtına dalgalanmalarından ve deniz seviyesinin yükselmesinden korumak için kıyıların yeniden ağaçlandırılması , deniz seviyesinin yükselmesi arazi edinim programları gibi halihazırda iyi uygulamalar mevcuttur. Doğaya dayalı çözümler insanları ani taşkın, sel ve kar erimesi sonucu oluşabilecek heyelan gibi birçok felaketten korumaktadır.

İklim değişikliğine uyum ve afet riskinin azaltılması kentlerin direncini artırmaktadır. İklim değişikliği ve afetlerin kentler üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için uyum ve afet yönetimi önlemlerine ihtiyaç vardır. İyi tasarlanmış uyum önlemleri, kentlerin direncini artırabilir ve ayrıca iklimle ilgili afet riskini azaltabilir. Adaptasyon, iklim değişikliği etkilerinin belirlenmesinden ve projelendirilmesinden başlayarak, bu etkilere tam olarak yanıt vermeye kadar uzanan bir süreçtir. Gelecekteki iklimle ilgili afetlere hazırlıklı olma ve bunlardan korunma açısından afet riskinin azaltılmasına yardımcı olur. Öte yandan, afet riskinin azaltılması genel uyum sürecine katkıda bulunur ve iyi yapılırsa, uzun vadeli iklim değişikliği etkilerinin ele alınması için temel oluşturarak uyum sürecini iyileştirebilir (O’Brien K, 2008).

3. Dünyada ve Türkiye’de Sel Felaketleri

Hızlanmış ve çarpık kentleşme kentlerde geçirimsiz yüzeylerin artışına neden olmuş ve hidrolojik anlamda dengeleri bozmuştur. (Kourtis ve Tsihrintzis, 2021) İklim değişikliği ve artan kentsel ısı adası etkisi nedeniyle sık görülen aşırı yağış olayları, son yıllarda hassas ve karmaşık kentsel hidrolojik sistemler için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. (Wang vd., 2020; Zhou, 2020). Yağış dengelerinin bozulması kentsel sel gibi etkilere yol açmaktadır ve tüm bu etkiler giderek daha endişe verici hale gelmeye başlamıştır. (Arnbjerg-Nielsen, 2012)

Çin’deki şehirlerin yaklaşık üçte biri, her yıl selden etkilenmekte ve ciddi ekonomik ve maddi kayıplara neden olmaktadır (Li ve diğerleri, 2015; Liu ve diğerleri, 2021). Bu sorunu çözmek için son birkaç yılda sünger şehir kavramı önerilmiştir. Sünger şehir inşaatı, şehrin hidrolojik döngüsünü iyileştirmeyi ve yağmur suyu depolama ve arıtma kapasitesini iyileştirmeyi amaçlayan düşük etkili geliştirme (LID) önlemlerini temel almaktadır (Macro ve diğerleri, 2019; Tang ve diğerleri, 2020; Baek ve diğerleri, 2015). Çin’de olduğu gibi dünyada birçok kentte sel felaketleri yaşanmaktadır. Kentli hayati ve maddi açıdan birçok risk altında yaşamaktadır. Kentlerin coğrafi konumları, topografik özellikleri, kentsel yerleşimleri farklı olduğundan kentsel anlamda bu risklere karşı sunacakları stratejiler ve tasarımlar farklılık göstermektedir.



Şekil 1. Afet türleri ve sayıları: 1980-1999 vs. 2000-2019, (UNDRR, 2020)

Şekilde görüldüğü gibi afetler 1980-1999 arasında ölçülene kıyasla 2000-2019 yılları arasında büyük bir artış göstermiştir. Dünyada en çok artan afetler ise fırtına ve sellerdir.



Şekil 2. Dünyada sel felaketleri (ABD,Bangladeş) (<https://www.bbc.com/news/science-environment-58396975>-
<https://slate.com/technology/2016/10/blaming-natural-disasters-on-climate-change-will-backfire.html>)

Aşırı sel, 2020 yılı içinde Tennessee ve California'daki kırsal alanlardan Michigan banliyölerine ve Brooklyn, New York sokaklarına kadar ülkenin neredeyse her bölgede etkili olmuştur. Seller ABD'de her zaman en yaygın ve en maliyetli hava felaketi olmuştur ve iklim değişikliği hızlandıkça daha da kötüleşmiştir. Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) verilerine göre, 2021 yılında sel ve kasırgalardan kaynaklanan toplam hasar 100 milyar doları aşmıştır. (<https://grist.org/extreme-weather/flood-risk-growth-development/>)

Yaşanan sel felaketlerinde iklim değişikliğinin ekisi büyüktür. Fakat yalnızca iklim değişikliği yüzünden kentlerin olumsuz etkilendiğini söylemek doğru olmaz. Kentlerdeki artan nüfus, yerleşimlerin nasıl yapılacağına dair bir planlamanın yapılmaması, plansız kentleşmenin ortaya çıkması gibi etkenler selden etkilenme oranını artıran nedenlerdir.

Tablo 1. Dünyada sel felaketleri

 Almanya, Erfstadt (https://www.dw.com/tr/foto%C4%9Frafılarla-almanyadaki-sel-felaketi/a-58314889)	 Çin, Hubei (https://www.trthaber.com/haber/dunya/cinde-sel-felaketi-milyonlarca-kisiyi-etkiledi-502856.html)
---	---



Çin'de şiddetli yağışların yol açtığı seller hayatı olumsuz etkilemiştir ve 2020 Temmuz ayında yaşanan seller nedeniyle 31 can kaybı yaşanmıştır. 2 milyondan fazla kişi tahliye edilmiştir ve yaklaşık 151 bin ev zarar görmüştür. (2020) İtalya'da ise ülkenin kuzeyinde yer alan Lombardiya bölgesinde 2021 yılında sel felaketi yaşanmıştır. Aşırı yağışlar nedeniyle Como Gölü ve çevresindeki kasabalarda toprak kaymaları ve su baskınları yaşanmıştır. Gölün batı kıyısında yer alan ve selden en çok etkilenen kasaba olan Brienno'da, heyelan felaketi de olumsuz sonuçlar doğurmuştur. 50 sakin evlerinde mahsur kalmış ve bazı bölgelerde sel tehlikesiyle karşı karşıya olan bir apartman tahliye edilmiştir.



Şekil 3. Kastamonu'nun Bozkurt ilçesinde sel ve toprak kaymalarında onlarca kişinin hayatını kaybetmesinin ardından yıkılan binalar ,13 Ağustos 2021, Cuma. (Fotoğraf: İsmail Coşkun/ İHA)

Türkiye'de, Batı Karadeniz'de (Bartın, Kastamonu ve Sinop) Ağustos 2021'de yaşanan sel felaketinde 74 can kaybı yaşanmıştır ve 45 kayıp bulunmaktadır. Aşırı yağışlar sonucu yaşanan sel felaketinde alınan hasarın büyük olmasının sebebi dere kenarında yerleşimin bulunması ve yaşanabilecek felaketlere karşı önlem alınmamasıdır.



Şekil 4. (<https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/izmirde-saganak-sel-ve-su-baskinlarina-neden-oldu-/2130674>, Fotoğraf: Mehmet Emin Mengüarslan/AA)

2022 Şubat ayında İzmir'de aşırı yağışlar sonucu yaşanan sel felaketinde evleri ve işyerlerini su basmış ve trafikte ciddi anlamda aksamlar yaşanmıştır. Dere kenarındaki yol kapanmıştır.

Tablo 2. Türkiye’de Sel Felaketleri

 Bursa Temmuz 2020 (https://www.bursa.com/bursada-selin-zarari-aciklandi-n435259/)	 Bursa Haziran 2020 (https://artigercek.com/haberler/bursa-daki-selde-olu-sayisi-yukseldi-sele-kapilip-kaybolanlar-araniyor)
 Ankara 2021 (https://www.hurriyet.com.tr/gundem/son-dakika-ankarada-yogun-saganak-sonrasi-sel-araclar-suruklendi-caddeler-su-altinda-kaldi-41828586)	 Giresun 2020 (https://www.dw.com/tr/giresunda-sel-felaketi/a-54664018)

Türkiye gibi tropikal iklimin dışında kalan ülkelerde de şiddetli gök gürültülü sağanak yağışlar nedeniyle şehirlerdeki sel sayısı ve şiddeti de artmaktadır. Hızla artan çarpık yerleşim alanlarında deprem, sel vb. tehlikeler daha büyük felaketlere dönüşebilmektedir.

4. Sel Felaketleri ve Kentsel Uyum

İklim değişikliği nedeniyle yaşanan aşırı yağışlar sel riskini artırmaktadır. Fakat tek etken iklim değişikliği değildir. Şehirlerimizde risk faktörünün düşünülmeden kentleşmenin hızlanması yaşanan sel felaketlerinden etkilenme miktarını ve kırılganlığı artırmaktadır. Dünya nüfusunun önümüzdeki 15 yıl içinde bir milyardan fazla artarak 2030'da 8,5 milyara ulaşacağı ve 2050'de 9,7 milyara ve 2100'de 11,2 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (UN 2015). Bu durum kentlerimizi daha kırılgan bir konuma doğru sürüklemektedir. Kentlerde riski azaltmak, kırılganlığı, can ve mal kaybını önleyebilmek için azaltım ve uyum çalışmaları yapılmalıdır. Kentler risk oranını artırabildiği gibi düşürme potansiyelini de barındırmaktadır. İklim değişikliğinden kaynaklı sel riskini önleyecek olan uyum çalışmaları dünyada birçok kentte uygulanmaktadır. Bu bölümde dünyada uygulanan uyum çalışmalarından bahsedilmektedir.

4.1 Sünger Şehir

Çin’de sıkça kentsel seller, aşırı yağışlar ve tayfunlar yaşamaktadır. Buna karşı Çin uyum stratejisi olarak sünger şehir programını ciddi riskler taşıyan 30 pilot şehirde uygulamaya koymuştur. Bunu yaparken mavi-yeşi-gri altyapı sistemlerinin bütünleşik olarak uygulamakta ve doğaya dayalı çözümler sunmaktadır. Şiddetli yağışla oluşan yüzey suyu akışını ve taşkınları azaltmak hedeflenmektedir. Bunu yaparken de sürdürülebilir direnaj sistemi ile birlikte borulu direnaj sistemleri, barajlar ve taşkın duvarları kullanılmaktadır (Yunfei Qui, 2020).

Sünger şehir, yağmur suyu akışını emerek ve depolayarak sellere karşı esnek bir uyum sağlayan şehirler olarak tanımlanmaktadır (Shao vd, 2016). Depolanan su gerektiğinde kullanılabilir.

4.1.1 Shenzhen

Shenzhen bir kıyı şehri olmasından kaynaklı olarak yüksek sel riski altındadır ve ciddi boyutlarda seller yaşamaktadır. Sel, ani yağışlardan kaynaklanmakta ve kentsel altyapının tahrip olmasına ve kentsel ekolojik güvenliği tehdit etmesine neden olmaktadır. Kentsel su basması, kısa sürede yağış yoğunluğunun büyük olması, sızma kapasitesinin kentsel yüzey alanının geçirimsiz olması ve nem tutma kapasitesinin zayıf olması nedeniyle kentsel alandakileri etkilemektedir. Ayrıca kentleşme ile birlikte geçirimsiz yüzeylerdeki akış artmakta ve sellerin olumsuz etkileri de artmaktadır. (Yin, 2014).

Şehirler genellikle gri altyapı sistemlerini kullanmaktadır. Yağmur suyu akışı sırasında suyun emilmemesi ve başka yere aktarılması su baskınlarına neden olmaktadır. Bu durumlarla başa çıkmak için yeşil çatılar, geçirgen kaldırımlar ve yüzeyler kullanılabilir. Böylelikle depolama ve emmenin atması sağlanabilir. Ayrıca yapay göletler, hendekler artırılarak yeşil önlemler uygulanabilir. Sünger şehir kavramı ile su yönetimi ve mekansal planlama birleştirilebilir.



Şekil 5. Kentsel köy Ganxia, (<https://www.ekoyapidergisi.org/yasanabilir-sehirler-icin-green-cloud>)

Ganxia'da yapılaşma yoğunluğu bulunmaktadır. Bu nedenle yeşil alan ve doğanın eksikliği hissedilmektedir. Sellere karşı uyum çalışması olarak Ganxia köyünde geçirimsiz araziler azaltılarak çatılar bitkilerle doldurulmuştur. Ayrıca yağmur suyu depolaması da sağlanmaktadır.

4.2 Yeşil Çatı

Kentler, kıyı kentleri ve körfez ülkeleri sellerle karşı karşıyadır. (Husnain Haider vd, 2019). Buna uyum sağlamak için drenaj altyapısı geliştirilmeli, yeşil, sürdürülebilir çözümler üretilmelidir. Örneğin yeşil çatı, su tutma havzaları, iyileştirilmiş drenaj sistemleri bu çözümlerden bazılarıdır. Sel riskinin azaltılması amacıyla farklı arazi kullanım alanlarından geçen yağmur suyu, drenaj altyapısı yardımıyla küçük ölçekli kontrol barajlarında veya tutma havuzlarında toplanabilir. Yağmur suyu hasadı ile de su tutulabilir ve sel riski önlenir. Geniş yeşil çatılar yardımıyla yağmur suyu hasadı yapılabilir. Bitkilerin suyu emmesi ve ardından yavaşça drenaj sistemine bırakması aşırı yağışlardaki riski azaltmaktadır.

4.2.1 Chicago Belediye Binası

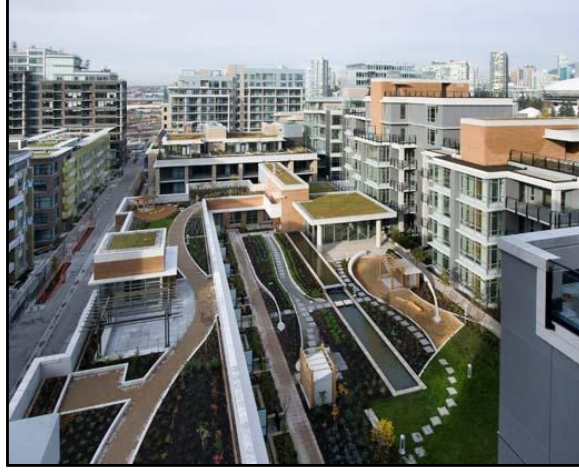


Şekil 6. Chicago Belediye Binası'ndaki yeşil çatı (Julie Cidell, 2017)

2001 yılında, Belediye Başkanı Daley'nin Kentsel Isı Adası Girişimi'nin bir parçası olarak Chicago Belediye Binası'nın üzerine 20.300 metrekarelik yeşil bir çatı kurulmuştur. Çatıda 20.000 bitki, çalı, çimen, asma ve ağaç bulunmaktadır. Bitişikteki

normal bir çatıyla karşılaştırıldığında, Belediye Binası'nın yeşil çatısı yaklaşık 56°C daha düşüktür - artı faydaları arasında iyileştirilmiş hava kalitesi, 1 inçlik bir fırtına için %75 oranında azaltılmış yağmur suyu akışı ve enerji tasarrufu bulunmaktadır.

4.2.2 Vancouver, Kanada



Şekil 7. Vancouver Olimpiyat köyü (<http://mimdap.org/2010/02/olimpiyatlar-ve-kent/32275/>)

Olimpiyat köyü ilk olarak 2010 yılında Olimpiyat sporcuları için inşa edilmiş bir yerleşim tesisi olarak ortaya çıkmıştır. Olimpiyat oyunlarından sonra, topluluk için karma olarak kullanılan bir konut olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, bu mahallenin tasarımı, çevresel ve sosyo-ekonomik sorunları ele alan ve Vancouver'ın ilk hedefleriyle uyumlu olan güneş panelleri, yeşil çatılar ve yenilikçi enerji verimli araçlar gibi kapsamlı yeşil özelliklere dayanmaktadır.

Dairelerin güneş sistemleri içeren yeşil çatıları bulunmaktadır. Yağışları toplamak için kullanılan ve çoğunlukla tuvalet sifonu veya bahçe sulama olarak kullanılan yağmur suyu toplama sistemi kullanılmıştır. Aynı şekilde, binaların yeşil çatısı, sakinlerin bir araya gelip sosyalleşebilecekleri bir ortak bahçe ve gıda üretim yerine dönüştürülmüştür. Buna ek olarak, Sel riskini yönetmenin bir yolu olarak, Kompleks çevresindeki sulak alanlar suyu emmenin ve erozyonu yavaşlatmanın doğal bir yolu olarak kullanılmaktadır.

4.3 Mavi çatı uygulamaları



Şekil 8. Mavi Çatı Uygulaması (<https://sustainabletechnologies.ca/home/urban-runoff-green-infrastructure/low-impact-development/blue-roofs/>)

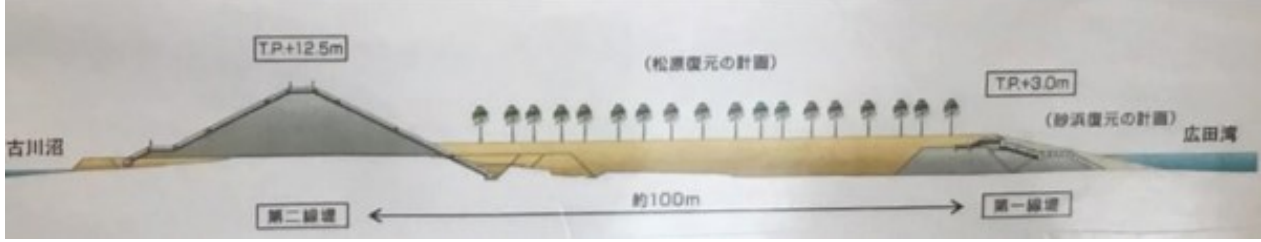
Mavi çatı uygulamaları, artan bu ihtiyaçlara yönelik yeşil altyapı çözümlerinden biridir. Yeşil çatıya benzemektedir. Fakat mavi çatı yeşil çatıdan farklı olarak yağmur suyu akışını yavaşlatmaktadır, bitkiler yerine su akışını düzenleyen ve kontrol eden bir sistemle bunu sağlamaktadır. Mavi çatı teknolojilerine örnek olarak iniş vanaları, oluk depolama sistemleri ve

sarnıçlar verilebilir. Mavi Çatı uygulamalarındaki amaç, yerel yağmur suyu altyapısı üzerindeki aşırı yüklenmeleri azaltmak ve yerel taşkınları, olası taşkın hasarlarını önlemektir.

Mavi çatı terimi, nispeten yakın zamanda, yağmur suyu azaltma tekniklerini yeşil çatılarla ilişkili olanlardan ayırmanın bir yoludur. Aslında, mavi çatı, yağmur suyunu yakalayan ve belirli bir süre tutan ya da dış mekan sulama veya iç mekan içme suyu kullanımını dengelemek gibi başka amaçlar için yeniden kullanan bir sistemdir (Hammond, 2017).

4.4 Yeşil Alanların Kullanımı

Doğaya dayalı çözümler iklime karşı dirençlilik sağlamaktadır. IUCN (Uluslararası Doğa Koruma Birliği) Doğaya dayalı çözümler tanımı şu şekildedir; hem insan refahı hem de biyolojik çeşitlilik yararları sağlamak için verimli ve uyarlanabilir bir şekilde toplumsal zorlukları ele alacak şekilde korumayı sürdürülebilir bir şekilde yönetmek ve restore etmek için uygulanan eylemlerdir. Bu çözümlerden biri de yeşil alanların kullanımıdır.



Şekil 9. Japonya Tsunmami için kıyı ormanları ve kıyı önlemleri (Güler vd, 2018)

Japonya Kıyı ormanlarının bina hasarlarını ve su baskını yüksekliğini azaltarak tsunaminin azaltılmasında etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle kıyı bölgelerine bitki örtüsü ve ağaç dikilmiştir. Buna ek olarak, gelecekteki tsunami ve felaketlerin (tayfunlar, depremler, yoğun kar yağışı) erken tespitini sağlamak için, felaket meydana gelmeden önce vatandaşlarla erken haberleşmeyi sağlayan yeni simülasyon teknolojileri oluşturulmuştur.



Şekil 10. Japonya Tsunmami için kıyı bölgesi önlemi (Güler vd, 2018)

4.5 Drenaj sistemi

Hidrolojik döngünün temel birimi drenaj sistemidir ve kentsel yağmur suyu yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır (Fathullahi ve Coupe, 2021). İklim değişikliği, kentsel hidrolojik döngü ve Gri Drenaj Tesisleri kentsel sel kontrolü kapasitesini etkileyen ana faktörlerdir (Zhang vd, 2020) Bu nedenle, drenaj sistemi kapasitesini ve işlevini en üst düzeye çıkarırken, yatırım maliyetlerini ve taşkın riski olasılığını en aza indirmek için kentlerde optimizasyon çalışmaları yapılmalıdır (Muleta ve Boulos, 2007 ;Shao ve diğerleri, 2017).

Kentsel yağmur suyu yönetiminde, organik bir kombinasyon olarak yeşil altyapı ve gri drenaj Tesisleri ayrı ayrı incelenmemelidir. Bu ki sistem karşılıklı uyarlanmalı tasarımları, arazi kullanımının sınırlamaları, iklim değişikliğinin öngörülemezliği ve gelecekte hidrolojik değişkenlik nedeniyle özellikle kritiktir. Ancak, GI ve GDF'nin entegre optimizasyon tasarımındaki sınırlamalar devam etmektedir.

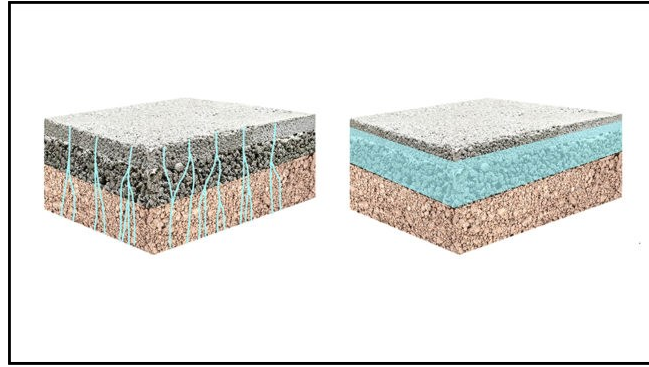
Çok fazla drenaj tesisi yüksek inşaat maliyetlerine ve kaynakların boşa gitmesine neden olurken, çok az drenaj tesisi sel riski ve maddi hasar olasılığını artıracaktır (Maharjan ve diğerleri, 2008).



Şekil 11. Portland Yeşil Cadde (<https://www.portlandoregon.gov/bes/45386>)

Yeşil sokaklar veya sokaklar, yağmur varilleri ve ağaç dikmenin, geleneksel yöntemlere göre daha etkili olduğu bilinmektedir. Portland, zorlu altyapı maliyetlerinde 250 milyon dolar tasarruf sağlamak için yeşil altyapıya 8 milyon dolar yatırım yapmıştır. Tek bir yeşil altyapı kanalizasyon rehabilitasyon projesi, daha temiz hava ve yeraltı suyu şarj faydaları ve yeşil uygulamalarla ilişkili diğer faydaları sağlamaktadır. Portland'ın Green Street projeleri yılda yaklaşık 43 milyon galon su tutmaktadır ve Portland'ın yıllık akışının %40'ını yönetme potansiyeline sahiptir.

4.6 Geçirimli Zemin



Şekil 12. Geçirimli zemin şematik gösterimi (<https://www.tredjenatur.dk/en/2020/03/permeable-concrete/>)

Geçirgen kaplamaların kullanılmasıyla yağmursuyunun yüzey akışının azaldığı, filtrelendiği ve temizlendiği ve yeraltı sularının beslendiği bilinmektedir (Hein, 2014). Gözenekli kaldırımlar Kuzey Amerika'da yağmursuyunun yönetiminde etkili olması ve en iyi uygulama yöntemlerinden olduğundan dolayı popüler hale gelmiştir. Ayrıca otopark alanlarında tercih edilerek yüzey alanı geniş yerlerde yağmur suyu geçirgenliği sağlanabilir.

4.7 Sarnıç Uygulaması

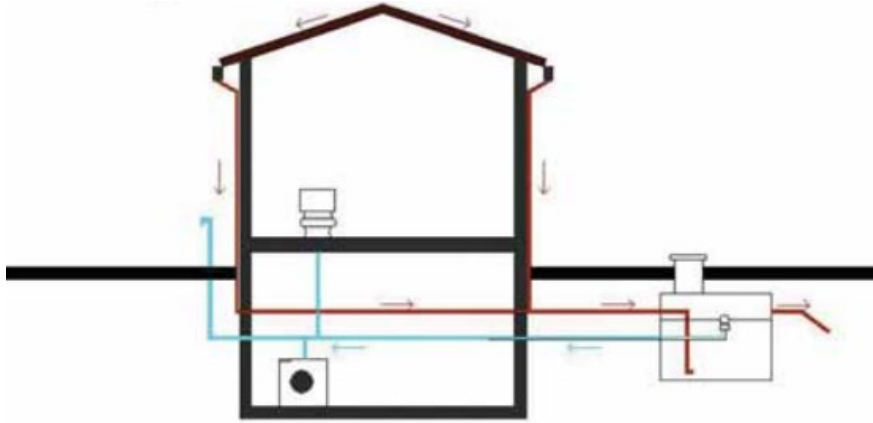
4.7.1 Kentsel Ölçekte Sarnıç



Şekil 13. Tokyo kentsel sarnıç (https://web-japan.org/trends/11_tech-life/tec130312.html)

Tokyo sel ile mücadele için büyük bir sarnıç sistemi kurmuştur. Tokyo birçok nehrin bulunduğu ova bölgesinde bulunmaktadır. Bu yüzden sellerle mücadele etmek durumunda kalmaktadır. Bununla birlikte hızlı sanayileşme ve kentleşme ile birlikte kırılganlığı artmıştır. Mücadele için yerin 22 m altında 6,3 km uzunluğunda bir sarnıç sistemi oluşturmuşlardır.

4.7.2 Bina Ölçeğinde Sarnıç Uygulaması



Şekil 14. Binada sarnıç sistemi (Şahin, N.İ., 2010).

Bina ölçeğinde sarnıç uygulaması kentsel sarnıçlara göre daha küçük ölçekli depolama ve kullanım sağlamaktadır. Konut içerisinde basit bir yağmur suyu toplama sisteminde, çatıdan toplanan yağmur suyu, büyük parçaları tutan filtreden geçirildikten sonra yağmur suyu deposuna gelmektedir. Yağmur suyu deposundan ise çamaşır makinası ya da tuvalet rezervuarı gibi konut içerisinde ihtiyaç duyulan alanlara pompalanmaktadır. Bu sarnıç uygulaması mahalle ölçeğinde kullanılarak depolama sağlanabilir. Böylelikle yüzey akışları önenebilir ve sel riski azaltılabilir.

5. Bursa ve Kentsel Sel Riski

Marmara bölgesinin güneyinde bulunan Bursa'da yerleşim Bursa ovasında ve Uludağ yamaçlarında yoğunlaşmıştır. Yerleşim sel riski açısından değerlendirilecek olursa; Uludağ'ın yamaçlarında dere yataklarının olması, eğimin fazla olması, altyapının yetersiz olması gibi sebeplerle ekstrem yağışlarda seller yaşanmaktadır. Bursa ili, göç sonucunda endüstriyel gelişme ve nüfus artışına paralel olarak arazi kullanımı açısından dramatik bir değişim yaşamıştır. İlin toplam yüzölçümü 10882 km² olup, yüzde 45'i ormanlarla kaplıdır. Ancak bölgenin arazi örtüsündeki ve karasal özelliğindeki değişim kentin sele karşı hassasiyetini artırmaktadır. Öte yandan, değişen iklim, büyük yağış olaylarını daha sık ve yıkıcı hale getirebilir. Özellikle şehrin doğusunda, yamaçlarda planlanmamış yapılaşma mevcuttur. Gecekondü tipi konutlara sıklıkla rastlanmaktadır. Bu alanlar sel riskine karşı daha kırılgandır. İklim değişikliği etkileriyle risk giderek artmaktadır.

Bursa Marmara bölgesinin güneyinde yer alır ve Türkiye'nin nüfus olarak 4. büyük şehridir. Bursa'nın doğu-batı ekseninde uzanan sıradağları şehre önemli bir coğrafi özellik getirmektedir. Bu dağ sırası arasında en önemlisi ise Uludağ'dır. 2.543 m'lik yüksekliğiyle Marmara Bölgesi'nin en yüksek dağı Uludağ'dır. Uludağ'ın güney eteklerinden doğan birçok dere bulunmakta ve bu dereler yerleşim yerlerinden geçerek Bursa Ovasına doğru akmaktadır.



Şekil 15. Bursa Yıldırım ilçesi Güllük, Ortabağlar ve Selçukbey mahalleleri- Yoğun Yapılaşma (Google Earth)

Bursa’da yerleşim ise Uludağ eteklerinde ve Bursa ovasında yoğunlaşmıştır. Kentin batısında, planlı gelişen, doğusunda ise plansız ve kaçak yapılaşmalarla gelişen alanların yer aldığı görülmektedir. Kentin doğusunda yerleşim yerlerinden geçen derelerin bulunması ve plansız yerleşimin mevcut olması sel riskini artıran başlıca faktörlerdir. Kentin doğu kesiminde özellikle Kestel ve Yıldırım ilçelerinde dere yataklarından uzaklaşmadan gerek ova kesiminde gerekse yüksek eğimli bölgelerde yoğun ve plansız yerleşimler bulunmaktadır.

Alanda iklim değişikliği etkisiyle ani ve şiddetli yağışlar sonucunda kentsel seller meydana gelmektedir. Küresel ısınma ve iklim değişikliğine bağlı olarak 2015 yılı haziran ayında aniden bastıran sağanak yağışla Uludağ eteklerden boşalan suyun sele dönüşmesiyle Fidyekızık Mahallesi büyük zarar görmüştür. Bu anlamda Bursa’nın iklim değişikliğine dair 2017 yılında hazırlanmış Bursa Büyükşehir Belediyesi Sürdürülebilir Enerji ve İklim Değişikliği Uyum Planı bulunmaktadır. Bu planda Bursa’da kent merkezinden ve yerleşim yerlerinden geçen derelerin aşırı yağışlar ile taşkınlara neden olmasından ve plansız mahallelerin tehdit altında olduğundan bahsedilmektedir. Ayrıca “Sel ve taşkın riskinin ortadan kaldırılması için altyapı durumu iyileştirilerek geliştirilmeli, doğaya uyumlu kentsel dönüşüm projeleri hızlandırılmalı, nehir ve dere ıslah projeleri iklim uyum stratejilerine göre yapılmalıdır” ifadeleri kullanılmaktadır. Bursa su alanlarıyla ilgili olarak “iklim olayları neticesinde oluşabilecek sel ve taşkın risklerine karşı riskli bölgelerde tedbir alma”, “yağmur suyunu çeşitli ihtiyaçlar için kullanarak su tasarrufu sağlamak”, “Bursa halkının sel / taşkın gibi olaylar, kuraklık ve tasarruf konularında bilinçlendirilmesi” gibi eylemlere kitapçıkta yer verilmektedir.

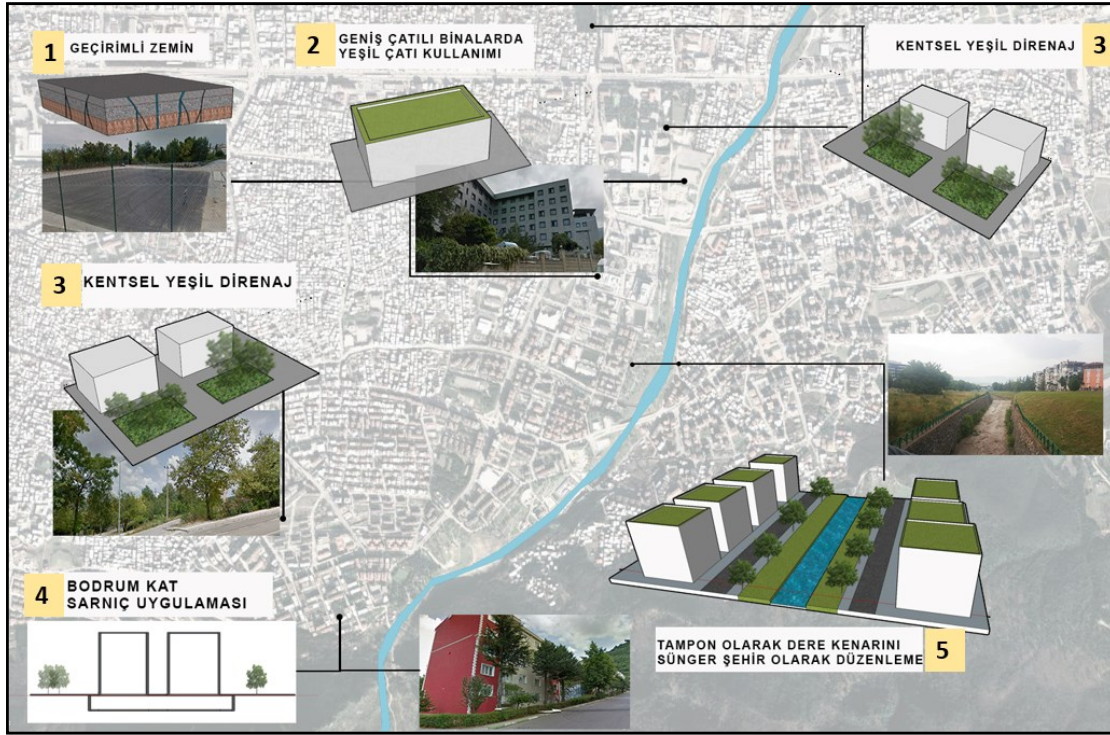
6. Bursa İçin Kentsel Uyum Önerileri

Bursa kentinin yerleşimi doğu batı ekseninde uzanmaktadır. Kentin batısında planlı bir yapılaşma mevcutken doğusunda yapılaşma plansız olarak gelişmiştir. Ayrıca kentin gerek Uludağ’a doğru olan kısımlarında gerekse ova kısmında dere yatakları mevcuttur. Doğu kısmında plansız yapılaşmanın da etkisiyle zaman zaman yaşanan seller ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Doğuda coğrafi özelliklerin eğimli olmasıyla birlikte plansız yapılaşmanın olması bu bölgelerde sel riskine karşı kırılganlığı artırmaktadır. Bu bölümde Bursa kentinin sel riskine yönelik sorunlarına değinilmiş ve sel riski yüksek bir bölge için uyum önerileri verilmiştir.

Tablo 3. Bursa Kenti Sel Riski Çerçevesinde Sorunlar ve Çözüm Önerileri

Bursa Kentindeki Sorunlar	Çözüm Önerileri
Planlı çalışmalar bulunmamaktadır. (Kent, mahalle, sokak ve bina ölçeklerinde)	Kent, mahalle, sokak, bina ölçeklerinde sel riskini azaltacak yönetim planları oluşturulmalı ve uygulanmalıdır.
Yönetim ve planlama eksikliği	Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından 2017 yılında hazırlanmış Sürdürülebilir Enerji ve İklim Değişikliği Uyum Planı bulunmaktadır fakat bu plan detaylı çözüm önerileri sunmamaktadır. Yönetim planları ve tasarım ilkeleri oluşturulmalı ve uygulanmalıdır.
Tasarımsal eksiklikler	Dünyada ve Türkiye’de uygulanan örnekler incelenerek Bursa kenti için çeşitli kentsel alanlar için uygun öneriler düşünülmeli, tasarlanmalı ve uygulanmalıdır.

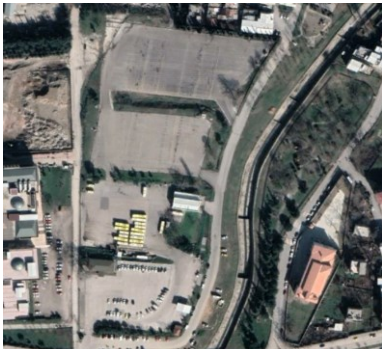
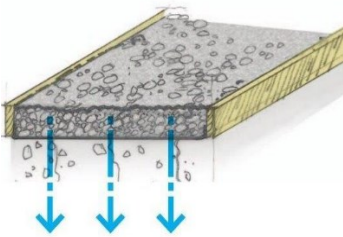
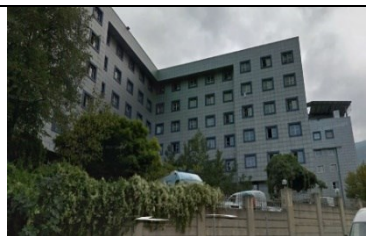
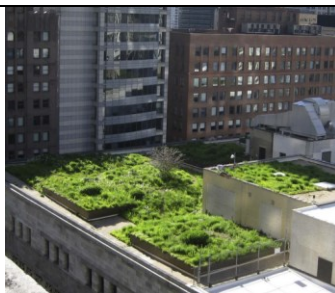
Türkiye’de olduğu gibi Bursa kenti için de iklim değişikliğinin etkisiyle artan sel riskine yönelik planlamalar yeterli değildir ve tasarımsal eksiklikler mevcuttur. Ayrıca bu eksikliklerin giderilmesi için kent, mahalle, sokak ve bina ölçeklerinde planlamalar ve tasarımsal çalışmalar yapılmalıdır. (Tablo 3)

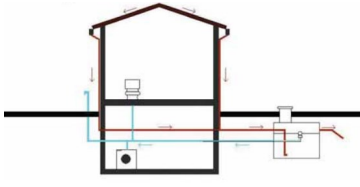
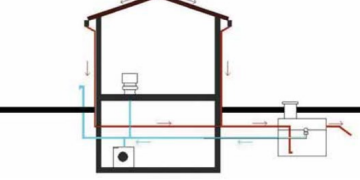


Şekil 16. Kentsel uyum önerileri

Bursa'da şehrin doğusunda bulunan eğimli bir bölge olan Yıldırım ilçesinde farklı yerleşim yapılarına ve fiziksel özelliklere sahip mahallelerde, sel riskini azaltacak ve uyum sağlayacak öneriler verilmiştir. Öneriler Şekil 16'teki numaralandırmalara göre Tablo 4'te açıklanmaktadır.

Tablo 4. Riskli Kentsel Alanlar ve Öneriler

Riskli bölge	Öneri	Açıklama
 Mimar Sinan Mahallesi	 Geçirimli Zemin	Kamu kurumları ve geniş yollar ve otoparklar olmak üzere sert geçirimsiz yüzeylerin çok olduğu Mimar Sinan Mahallesi'nde geçirimli zemin tercih edilerek sel riski azaltılabilir. 33.900 m ² 'lik bir alana sahip olan Belediye araç otoparkında geçirimli zemin uygulanarak sel riski azaltılabilir. (Şekil 16, 1 numaralı öneri)
 Mimar Sinan Mahallesi, Bursa Yüksek İhtisas Eğitim ve Araştırma Hastanesi	 Yeşil çatı uygulaması	Geniş çatı alanına sahip Kamu kurumlarının ve Hastane binalarının olduğu Mimar Sinan Mahallesi için için ani yağışlarda yüzey akışının azaltılabilmesi için çatı alanları kullanılabilir. (Şekil 16, 2 numaralı öneri)

 Ertuğrulgazi mahallesi	 Yeşil drenaj	Bahçeli konut yapılarına sahip Ertuğrulgazi mahallesinde konutların bahçesindeki yeşil alanlar yeşil drenaj olarak değerlendirilebilir. Bu sayede yüzey akışı azaltılarak sel felaketleri önlenir. (Şekil 16, 3 numaralı öneri)
 Kaplıkaya Mahallesi	 Sarnıç uygulaması	Eğimli ve site tipi yapılarının olduğu bir bölge olan Kaplıkaya mahallesi için ani yağışlarda yüzey akışının azaltılabilmesi için bina ölçeğinde çözümler üretilerek, bina bodrum katlarında, sarnıç uygulamasıyla yağmur suyunun depolanması sağlanabilir. (Şekil 16, 4 numaralı öneri)
 Kaplıkaya-Hacivat Deresi	 Sünger Şehir	Ani Yağışlarda risk barındıran dere yatağı paralelindeki yeşil alanlarda sünger şehir uygulamasındaki geçirimsizlik sağlanarak yağmursuyunun yüzey akışı yavaşlatılıp azaltılabilir. Böylece sel riski azaltılabilir. (Şekil 16, 5 numaralı öneri)
 Arabayatağı Mahallesi	 Yeşil drenaj	Ovada yer alan Arabayatağı bölgesinde komşu mahallelerdeki eğimden ve mahallenin eğimin bittiği noktada olmasından dolayı yağmur suyunun birikme riski bulunmaktadır. Yeşil drenaj kullanılarak su birikme riski önlenir.
 Selçukbey Mahallesi (yoğun yapılaşma)	 Sarnıç uygulaması	Eğimli ve yoğun konut yapılarının olduğu bir bölge olan Selçukbey mahallesi için ani yağışlarda yüzey akışının azaltılabilmesi için bina ölçeğinde çözümler üretilerek sarnıç uygulamasıyla yağmur suyunun depolanması sağlanabilir.

7. Sonuç

Sel dünyadaki etkisi ve sonuçları ağır olan en önemli afetlerden biridir. Sellerin nedenleri yoğun yağış, taşkın ve gelgit gibi doğal faktörler ve kanalların tıkanması veya drenaj kanallarının ağırlaşması, yanlış arazi kullanımı, ormansızlaşma vb. gibi insan faktörlerinden kaynaklanmaktadır.

Sanayi devrimi sonrasında yaşanan doğa hızlıca tahrip edilmeye başlanmış, kentlerde hızlı bir kentleşme sürecine girilmiş ve geçirimsiz yüzeyler artmıştır. Nüfus artışı, daha fazla kentleşme, daha geçirimsiz alan ve daha az sızma ve daha fazla taşkın ve su akışı ile sonuçlanmaktadır. Şehirlerde yeşil dokunun ve doğanın tahrip ederek geçirimsiz yüzeylerin artması ve bina yoğunluğunun plansız bir şekilde artması sel riskini artırmaktadır. Geçirimsiz yüzeylerdeki kontrolsüz artış, yağmur suyunun yüzey akış hızını artırmakta ve doğal drenaj formunu olumsuz yönde etkilemektedir. Toprak tarafından emilemeyen su, yüzey akışına geçerek riski arttırmaktadır.

Sonuç olarak şehirlerde acilen gerekli önlemler alınmalıdır. İklim değişikliği nedeniyle hiçbir bölge için sel riski olmadığı söylenemez. Özellikle şehirlerin kırılgan bölgelerinde afetlerden etkilenme oranı artmaktadır. Şehirler risklerle karşı karşıyadır, ancak riskleri azaltmak için birçok kapasiteye de sahiptir. Bu kapasite her bölge, kent, mahalle için değerlendirilmeli ve çok geç olmadan gerekli tedbirler alınmalıdır.

Kentlerde gittikçe artan sel riskine karşı azaltım ve uyum stratejilerinin önemi de artmaktadır. Bu çalışmada dünyadaki uyum ve azaltım çalışmalarından bazılarına değinilmiştir. Bursa kenti Yıldırım ilçesinde için farklı fiziksel özelliklere sahip mahallelerde, dünyada uygulanmış örneklerden yola çıkılarak, öneriler verilmiştir.

Bu çalışma Bursa Teknik Üniversitesi BAP Komisyonunca desteklenmiştir. Proje Numarası: 210Y011

Kaynakça

- Aksay Cemal Seçkin, Ketenoglu Osman, Kurt Latif, 2005, Küresel Isınma ve İklim Değişikliği
- Amen, M. A. (2021). The Assessment of Cities Physical Complexity through Urban Energy Consumption. *Civil Engineering and Architecture*, 9(7), 2517–2527. doi:10.13189/cea.2021.090735
- Cidell Julie, (2017), Sustainable imaginaries and the green roof on Chicago's City Hall
- Colls A, Ash N, Ikkala N, (2009). Ecosystem-based Adaptation: a natural response to climate change.
- Güler H. vd., (2018), Tsunami Afeti Sonrası Yapısal ve Yapısal Olmayan Önlemler ve Farkındalık Çalışmaları: Japonya Örneği, *Teknik Dergi*, 8605-8629, Yazı 514
- Husnain Haider vd., (2019), Sustainability Evaluation of Rainwater Harvesting-Based Flood Risk Management Strategies: A Multilevel Decision-Making Framework for Arid Environments,
- Kahraman S., Şenol P., (2018) İklim Değişikliği: Küresel, Bölgesel ve Kentsel Etkileri, *Akademia Sosyal Bilimler Dergisi - Özel Sayı - 1*
- Loannis M Kourtis, Vassilios A Tsihrantzis Adaptation of urban drainage networks to climate change: A review, 2021 Jun 1;771:145431. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145431. Epub 2021 Jan 28.
- Met Office Hadley Centre, Fitzroy Road, Exeter, UK
- O'Brien K, Sygna L, Leichenko R, Adger WN, Barnett J, Mitchell T: Disaster Risk Reduction, Climate Change Adaptation and Human Security. A Commissioned Report for the Norwegian Ministry of Foreign Affairs. 2008.
- P.Willems, K.Arnberg-Nielsen, J.Olsson, V.T.V.Nguyen, Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings, *Atmospheric Research Volume 103*, January 2012, Pages 106-118, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.04.003>
- Richard W. Hammond, 2017, Evaluating Green and Blue Roof Opportunities in Canadian Cities
- Şahin, N.İ., "Binalarda Su Korumumu" İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Haziran, 2010.
- UN, 2015a, Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland.
- UNDP United Nations Development Programme Bureau for Crisis Prevention and Recovery: Reducing Disaster Risk: a challenge for development. A global report. 2004.
- UNFCCC, Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session, held in Bali from 3 to 15 December 2007. FCCC/CP/2007/6/Add.1. 2008.
- Uy N., Shaw R., The role of ecosystems in climate change adaptation and disaster risk reduction, N. Uy, R. Shaw (Eds.), *Community, Environment and Disaster Risk Management*, Emerald Group Publishing Limited (2012), pp. 41-59 [https://doi.org/10.1108/S2040-7262\(2012\)0000012009](https://doi.org/10.1108/S2040-7262(2012)0000012009)
- Yunfei, Q., et al. Addressing Challenges of Urban Water Management in Chinese Sponge Cities via Nature-Based Solutions. *Water* 2020, 12, 2788