

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**MARUL BAKTERİYEL YAPRAK LEKESİ HASTALIK ETMENİ *X. hortorum* pv.  
*vitians*'a KARŞI BAZI MARUL ÇEŞİTLERİNİN DAYANIKLILIKLARININ VE  
HASTALIK ETMENİNİN BAKIRA DUYARLILIĞININ ARAŞTIRILMASI**

**Richard Lee KOLLEH**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİTKİ KORUMA**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZİRAN 2024**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MARUL BAKTERİYEL YAPRAK LEKESİ HASTALIK ETMENİ *X. hortorum* pv.  
*vitians*'a KARŞI BAZI MARUL ÇEŞİTLERİNİN DAYANIKLILIKLARININ VE  
HASTALIK ETMENİNİN BAKIRA DUYARLILIĞININ ARAŞTIRILMASI**

**Richard Lee KOLLEH**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİTKİ KORUMA**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZİRAN 2024**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MARUL BAKTERİYEL YAPRAK LEKESİ HASTALIK ETMENİ *X. hortorum* pv.  
*vitians*'a KARŞI BAZI MARUL ÇEŞİTLERİNİN DAYANIKLILIKLARININ VE  
HASTALIK ETMENİNİN BAKIRA DUYARLILIĞININ ARAŞTIRILMASI**

**Richard Lee KOLLEH**

**BİTKİ KORUMA ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez 04/06/2024 tarihinde jüri tarafından Oybirliği/ Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hüseyin BASIM (Danışman)

Prof. Dr. Oktay ERDOĞAN

Doç. Dr. Cengiz İKTEN

## ÖZET

### MARUL BAKTERİYEL YAPRAK LEKESİ HASTALIK ETMENİ *X. hortorum* pv. *vitians*'a KARŞI BAZI MARUL ÇEŞİTLERİNİN DAYANIKLILIKLARININ VE HASTALIK ETMENİNİN BAKIRA DUYARLILIĞININ ARAŞTIRILMASI

Richard Lee KOLLEH

Yüksek Lisans Tezi, Bitki Koruma Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin BASIM

Haziran, 2024; 38 Sayfa

Bakteriyel Yaprak Lekesi (BYL), *X. hortorum* pv. *vitians*'ın neden olan ve marul yetiştiriciliğinde önemli ürün kayıplarına yol açan önemli marul hastalıklarından biridir. Bu çalışmanın ilk bölümünde Carmesi RZ Lolo, Batraz, Melina, Cospirina, Presidential, Nun 06118, Boratal ve Green Moon olmak üzere sekiz marul çeşidinin *X. hortorum* pv. *vitians*'ın en virulent strainı (*HBXcv1* straini) karşı reaksiyonları, el püskürtücü ve şırınga ile inokulasyon olmak üzere iki farklı inokulasyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Püskürtme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bakteriyel inokulasyonlardan on gün sonra marul bitkilerinde ortaya çıkan belirtiler değerlendirilmiştir. Carmesi RZ Lolo %5 önem düzeyinde 0.25'lik Duncan Multiple Range Test (DMRT) ortalamasıyla en tolerant çeşit olurken, Cospirina %5 önem düzeyinde 216.55'lik en yüksek duyarlılık ortalamasını kaydetmiştir. Şırınga kullanılarak yapılan bakteriyel inokulasyonlar sonucu marullarda püskürtme inokulasyonları sonucu elde edilen sonuçlara benzer reaksiyonlar kaydedilmiştir. Carmesi RZ Lolo, *HBXcv1* straininin etkisine karşı en tolerant marul çeşidi olup inokulasyondan 10 gün sonra marul yapraklarında hiçbir semptomatik belirti tespit edilmemiştir. Öte yandan, Cospirina, Nun 06118 ve Presidential marul çeşitleri *HBXcv1* straini karşı hassas çeşitler olarak belirlenmiştir. Tezinin ikinci bölümünde, *HBXcv1* straininin farklı bakır sülfat konsantrasyonlarına karşı duyarlılık düzeyi Nutrient Agar ve Casitone Yeast Extract Agar kullanılarak araştırılmıştır. Bu çalışmada *HBXcv1* strain, 50ppm CuSO<sub>4</sub>' a karşı dayanıklı, 100ppm ve 200ppm'e karşı ise hassas bulunmuştur. Bu bulgular, marul çeşitlerinin BYL'ye tepkilerinin anlaşılmasına ve *X. hortorum* pv. *vitians* enfeksiyonlarının kimyasal mücadelesinde bakır içeren karışımların etkili olabileceği ortaya çıkarmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Bakır, Dayanıklılık, Duyarlılık, Marul, Sulfate, *Xanthomonas hortorum* pv. *vitians*

**JÜRİ:** Prof. Dr. Hüseyin BASIM

Prof. Dr. Oktay ERDOĞAN

Doç. Dr. Cengiz İKTEN

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF THE RESISTANCE OF SOME LETTUCE CULTIVARS AGAINST LETTUCE BACTERIAL LEAF SPOT DISEASE *X. hortorum* pv. *vitians* AND THE SUSCEPTIBILITY OF THE DISEASE AGENT TO COPPER**

**Richard Lee KOLLEH**

**MSc Thesis in Plant Protection**

**Supervisor: Prof. Dr. Hüseyin BASIM**

**June, 2024; 38 Pages**

Bacterial Leaf Spot (BLS), caused by *X. hortorum* pv. *vitians* (*Xhv*), is a significant disease affecting lettuce cultivation and causing crop losses. In this study, eight lettuce varieties were tested against the most virulent strain (*HBXcv1*) of *X. hortorum* pv. *vitians* using two inoculation methods: hand sprayer and syringe. The symptoms appearing on lettuce plants ten days after bacterial inoculation using the spraying method were evaluated. The varieties' tolerance levels were determined using the Duncan Multiple Range Test (DMRT), with Carmesi RZ Lolo being the most tolerant variety (DMRT mean of 0.25 at 5% significance level) and Cospirina being the most sensitive (DMRT mean of 216.55 at 5% significance level). After bacterial inoculations using a syringe, similar reactions were observed in lettuce as those obtained from spray inoculations. Among different lettuce varieties, Carmesi RZ Lolo showed the most tolerance to the effect of *HBXcv1*. No symptomatic symptoms were found in lettuce leaves even after 10 days of inoculation. On the other hand, Cospirina, Nun 06118, and Presidential lettuce varieties were determined to be sensitive to *HBXcv1*. In the second part of the study, the sensitivity level of *Xhv HBXcv1* to different copper sulfate concentrations was investigated using Nutrient Agar and Casitone yeast extract agar. In this study, *HBXcv1* strain was found to be resistant to 50ppm CuSO<sub>4</sub> and sensitive to 100ppm and 200ppm. These findings contribute to understanding the response of lettuce cultivars to BLS. It has been found that copper-containing mixtures may be effective in the chemical control of *Xhv* infections.

**KEYWORDS:** Copper, Lettuce, Resistance, Sensitivity, Sulphate, *X. hortorum* pv. *vitians*

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Hüseyin BASIM

Prof. Dr. Oktay ERDOĞAN

Doç. Dr. Cengiz İKTEN

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, "Marul Bakteriyel Yaprak Lekesi Hastalık Etmeni *X. hortorum* pv. *vitians*'a Karşı Bazı Marul Çeşitlerinin Dayanıklılıklarının ve Hastalık Etmeninin Bakıra Duyarlılığının Araştırılması" adlı çalışmada, Türkiye'de yaygın olarak yetiştirilen sekiz marul çeşidinin *X. hortorum* pv. *vitians*'ın neden olduğu Bakteriyel Yaprak Lekesi hastalığına karşı dayanıklılık reaksiyonları araştırılmıştır. Bu marul çeşitlerinin hastalık patojenine karşı dayanıklılık reaksiyonlarını araştırarak, marul yetiştiricilerini daha etkili hastalık yönetimi stratejileri ve uygun bakır takviyelerinin kullanımı konusunda bilgilendirebilecek ve sonuçta tarımsal verimlilik üzerindeki zararlı etkilerini azaltabilecek bilgiler sağladım.

Marulun küresel tarımda ve insan beslenmesinde oynadığı kritik rol göz önüne alındığında, bu araştırma konusunun önemi abartılamaz. Marul Bakteriyel Yaprak Lekesi hastalığı, dünya çapında marul mahsulleri için önemli bir tehdit oluşturmakta, önemli ekonomik kayıplara yol açmakta ve gıda güvenliğini etkilemektedir.

Prof. Dr. Hüseyin BASIM'a desteği için, değerli bilgi ve deneyimlerini hiç çekinmeden benimle paylaştığı, değerli zamanını bana ayırdığı, sabrı ve özverisi için en içten şükranlarımı sunarım. Prof. Dr. Esin BASIM'a da laboratuvarda bana yardımcı olduğu için teşekkür ederim.

Manevi desteklerini ve sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili babam John F. KOLLEH ve sevgili annem Esther P. KOLLEH'e teşekkür ederim. Hayatımın her aşamasında olduğu gibi çalışmalarım da bana hep güvendiler. Kız kardeşim Florence G. KOLLEH ve erkek kardeşlerim J. Nutai KOLLEH, Garlayma KOLLEH ve Dekerghai KOLLEH'e de sonsuz destekleri için teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                                   |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET.....                                                                                                         | i    |
| ABSTRACT.....                                                                                                     | ii   |
| ÖNSÖZ.....                                                                                                        | iii  |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                                                  | iv   |
| AKADEMİK BEYAN.....                                                                                               | vi   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                                                                      | vii  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                                              | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                                                                            | ix   |
| 1. GİRİŞ.....                                                                                                     | 1    |
| 1.1. Araştırma Amaçları.....                                                                                      | 3    |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI.....                                                                                        | 4    |
| 2.1. Marul Hakkında Genel Bilgiler.....                                                                           | 4    |
| 2.2. Marulun Tarihçe.....                                                                                         | 4    |
| 2.3. Marulun Sınıflandırılması ve Morfolojik Özellikleri.....                                                     | 5    |
| 2.4 Türkiye'de Marul Üretimi.....                                                                                 | 6    |
| 2.5. Türkiye'de BYL Salgını.....                                                                                  | 8    |
| 2.6. Marul Çeşit Grupları.....                                                                                    | 9    |
| 2.7. Marul Üretimi.....                                                                                           | 11   |
| 2.8. Marulun Başlıca Hastalıkları.....                                                                            | 11   |
| 2.9. <i>X. hortorum</i> pv. <i>vitians</i> 'ın Sınıflandırılması ve Özellikleri.....                              | 12   |
| 2.10. BYL'ye Göre Ekonomik Kayıplar.....                                                                          | 13   |
| 2.11. Marul Bitkilerinde BYL Hastalık Belirtileri.....                                                            | 13   |
| 2.12. Marulda <i>X. hortorum</i> pv. <i>vitians</i> 'a Karşı Genetik Dayanıklılık Sistemleri.....                 | 14   |
| 2.13. <i>Xanthomonas</i> 'ta Bakır Dayanıklılık Sistemleri.....                                                   | 15   |
| 2.14. Bakteri Strainlerinde Bakıra Duyarlılığın Değerlendirmesi.....                                              | 16   |
| 2.15. Patojen ve Hastalık Gelişim Süreci.....                                                                     | 16   |
| 2.16. <i>X. hortorum</i> pv. <i>vitians</i> 'ın Epidemiyolojisi.....                                              | 16   |
| 3. MATERYAL ve METOT.....                                                                                         | 18   |
| 3.1. Bakteriyel Strainin Hazırlanması.....                                                                        | 18   |
| 3.2. Bitki Büyüme Süreci.....                                                                                     | 18   |
| 3.3. Marul İnokulasyon Metodu.....                                                                                | 19   |
| 3.4. <i>X. hortorum</i> pv. <i>vitians</i> 'a Karşı Marul Çeşitlerinin Dayanıklılıklarının Değerlendirilmesi..... | 19   |
| 3.5. <i>X. hortorum</i> pv. <i>vitains</i> 'ın Bakıra Duyarlılığının Belirlenmesi.....                            | 20   |
| 3.6. Veri Analizi.....                                                                                            | 20   |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 4. BULGULAR ve TARTIŞMA..... | 22 |
| 5. SONUÇ.....                | 30 |
| 6. KAYNAKÇA.....             | 32 |
| 7. EKLER.....                | 37 |
| ÖZGEÇMİŞ                     |    |



## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Marul Bakteriyel Yaprak Lekesi Hastalık Etmeni *X. hortorum* pv. *vitians*'a Karşı Bazı Marul Çeşitlerinin Dayanıklılıklarının ve Hastalık Etmeninin Bakıra Duyarlılığının Araştırılması.” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

04/06/2024

Richard Lee KOLLEH



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### **Simgeler**

|                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| cal:                | Kalon             |
| cm:                 | Santimetre        |
| CuSO <sub>4</sub> : | Bakır Sülfat      |
| g:                  | Gram              |
| h:                  | Saat              |
| l:                  | Litre             |
| µm:                 | Micrometre        |
| mg:                 | Miligram          |
| ml:                 | Mililitre         |
| °C:                 | Santigrat Derece  |
| PPM:                | Parts Per Million |

### **Kısaltmalar**

|                |                                                                  |
|----------------|------------------------------------------------------------------|
| BYL:           | Bakteriyel Yaprak Lekesi                                         |
| Kob:           | Koloni Oluşturan Birim                                           |
| CGN:           | Centre for Genetic Resources, the Netherlands                    |
| CRD :          | Complete Randomize Design                                        |
| DNA:           | Deoxyribonucleic Acid                                            |
| <i>Ea2:</i>    | <i>Erwinia amylovora</i> 2                                       |
| <i>HBXcv1:</i> | <i>Hüseyin Basım Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vitians</i> 1 |
| HGT:           | Horizontal Gene Transfer                                         |
| HR:            | Hypersensitive Response                                          |
| ICNCP:         | International Code of Nomenclature for Cultivated Plants         |
| IB:            | Uluslararası Birimler                                            |
| QTL:           | Quantitative Trait Locus (QTL)                                   |
| RGCs:          | Resistance Gene Candidates                                       |
| SMRT:          | Single Molecule Real-Time                                        |
| Vd:            | Ve diğerleri                                                     |
| LG:            | Linkage Grubu                                                    |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2. 1. Marulun kökeni ve dünya genelindeki dağılımı.....                                                                                                                                                                                                 | 5  |
| Şekil 2. 2. Türkiye'de en çok yetiştirilen üç marul çeşidi.....                                                                                                                                                                                               | 7  |
| Şekil 2. 3. Yedi marul çeşidi.....                                                                                                                                                                                                                            | 9  |
| Şekil 2. 4. Yaşlı marul bitkisi yapraklarında bakteriyel yaprak lekesi belirtileri.....                                                                                                                                                                       | 14 |
| Şekil 3. 1. <i>X. hortorum</i> pv. <i>vitians</i> 'ın nutrient agar (Sol) üzerinde büyümesi ve marul Bitkilerine uygulanmadan önce büyüyen bakteri kolonisinin seyreltilmesi (Sağ).....                                                                       | 18 |
| Şekil 3. 2. Ticari marul çeşitleri fideleri.....                                                                                                                                                                                                              | 19 |
| Şekil 4. 1. Sekiz marul çeşidinin BYL'ye karşı tepkisi için ortalama ayrımı.....                                                                                                                                                                              | 23 |
| Şekil 4. 2. İnokulasyonda sırasıyla Carmesi RZ Lolo, Melina, Batraz, Green Moon (Sol üstten sağ alta), Nun 06118, Boratal, Presidential ve Cospirina marul çeşitlerine, el püskürtücüsü kullanılarak yapılan inoculazyondan 10 gün sonra BYL belirtileri..... | 25 |
| Şekil 4. 3. <i>HBXcv1</i> süspansiyonu ile aşılama 10 gün sonra Presidential (Birinci), Nun 06118 (İkinci), Cospirina (Orta sağ) ve Boratal (En sağ) üzerinde BYL'nin görünür belirtileri.....                                                                | 26 |
| Şekil 4. 4. <i>HBXcv1</i> ve <i>Ea2</i> strainlerinin farklı bakır takviyeleri ile değiştirilmiş NA'ya reaksiyonu.....                                                                                                                                        | 28 |
| Şekil 4. 5. <i>HBXcv1</i> ve <i>Ea2</i> strainlerin farklı bakır takviyeleri ile zenginleştirilmiş CYE agara reaksiyonu.....                                                                                                                                  | 29 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 1. 1.</b> Marul ve Bakteriyel Yaprak Lekesi Bilimsel Sınıflandırma.....                                                                             | 2  |
| <b>Çizelge 2. 1.</b> Türkiye'de sera marul üretimi (ton) (2018-2022; TÜİK, 2023).....                                                                          | 7  |
| <b>Çizelge 2. 2.</b> Türkiye'de Marul Yetiştiriciliği (ton) (2019-2023; TÜİK 2023).....                                                                        | 7  |
| <b>Çizelge 2. 3.</b> İllere dehi Marul Yetiştiriciliği ve Üretim Miktarları (ton) Göre İller (TÜİK 2023).....                                                  | 8  |
| <b>Çizelge 2. 4.</b> Marul Üretimini Sınıflandıran Bazı Hastalıklar.....                                                                                       | 12 |
| <b>Çizelge 3. 1.</b> <i>X. hortorum</i> pv. <i>vitians</i> 'a karşı tepkilerini değerlendirmek için kullanılan farklı marul çeşitleri ve türleri.....          | 19 |
| <b>Çizelge 4. 1.</b> Sekiz Marul Çeşidinin BYL'ye Karşı Tepkisi için Varyans Analiz Tablosu.....                                                               | 22 |
| <b>Çizelge 4. 2.</b> El Püskürtücüsü Kullanılarak Aşılana Marul Çeşitleri için Duncan's Multiple Range Test (DMRT) Kullanılarak Ortalama Ayrımı.....           | 22 |
| <b>Çizelge 4. 3.</b> Hastalık Şiddeti Skalası.....                                                                                                             | 24 |
| <b>Çizelge 4. 4.</b> Şırınga kullanılarak <i>X. hortorum</i> pv. <i>vitians</i> ile inokülasyondan 10 gün sonra BYL popülasyonunun nekroz skala değerleri..... | 26 |
| <b>Çizelge 4. 5.</b> <i>Ea2</i> ve <i>HBXcv1</i> strainlerinin Bakıra karşı reaksiyonları.....                                                                 | 27 |

## 1. GİRİŞ

Marul (*Lactuca sativa* L.), hızlı büyümesi ve ticari değeri nedeniyle dünya çapında en önemli yapraklı sebzelerden biridir ve insan diyetlerine temel vitamin ve mineralleri sağlar. Türkiye'de ve dünyanın birçok yerinde marul, salatalarda ve sandviçlerde yaygın olarak çiğ tüketilirken, diğer bazı ülkelerde kökü, gövdesi veya yaprakları pişirilmektedir. Vitamin ve mineraller açısından zengin olan marul, özellikle taze olarak tüketildiğinde sağlık açısından faydalıdır. Pierce (1987) ve Ryder'a (1979) göre 100 gram marul %96 su, 13 cal enerji, 0,9 g protein, 0,1 g yağ, 2,9 g karbonhidrat, 6 mg C vitamini, 0,3 mg niasin, 0,06 mg tiamin (B1), 0,06 mg riboflavin (B2), 20 mg kalsiyum, 22 mg fosfor, 9 mg sodyum, 0,5 mg demir ve 175 mg potasyum içermektedir.

Tıbbi önemi, sağlığa faydaları, zengin bir vitamin ve mineral kaynağı olmasının yanı sıra farklı kullanım alanlarına sahip olması marul'un ticari önemini artırmaktadır. Bununla birlikte, marulun büyümesi ve verimliliği, eski adı *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* olan *Xanthomonas* pv. *vitians* patojeninin neden olduğu Bakteriyel Yaprak Lekesi (BYL) de dahil olmak üzere çeşitli hastalıklar tarafından sıklıkla engellenmektedir (Koike vd. 2018; Morinière vd. 2020). 1916 yılında ilk olarak Güney Carolina'da bir bakteri keşfedilmiş ve *Bacterium vitians* olarak tanımlanmıştır (Brown 1918). Ancak, cinsi belirlendiğinde, daha sonra *Xanthomonas vitians* olarak yeniden adlandırılmıştır (Dowson 1943). Hastalık, daha yüksek sıcaklıklarda ve yüksek bağıl nemde gelişir. Bu koşullar, hastalık salgınlarının öngörülemez bir şekilde ortaya çıkabileceği bir ortam yaratır ve potansiyel bir toplam ürün kaybına yol açar. Pernezny vd. (1995); Wang vd. (2015); Koike vd. (2018) göre, tek bir BYL salgını %100'e kadar ürün kaybına neden olabilmektedir.

Marul tarlalarında BYL için kimyasal mücadelesi, hastalığın öngörülemeyen doğası nedeniyle pratik veya uygun maliyetli değildir (Hayes vd. 2014). Patojen, bitki dokularını istila eder ve bazen farklı marul çeşitlerinde farklı belirtiler gösterebilir. Yetiştiriciler, bakır biyositler de dahil olmak üzere kimyasal kombinasyonları kullanabilir de, bunlar önemli bir tedavi sağlamaktadır. Hastalık geçmişinde olan tarlalardan kaçınmak, yılın belirli bir zamanında ürün yetiştirmek, bitki artıklarını mahsul kalıntılarını ve yabancı otları temizlemek gibi kültürel yönetim uygulamaları, BYL hasarını azaltmaya yardımcı olmak için kullanılan yaygın uygulamalar olmuştur, ancak hastalığı tamamen ortadan kaldıramaz (Fayette vd. 2018).

BYL'nin yayılmasını önlemek ve marul ürünlerini korumak için, farklı marul çeşitlerinin *X. hortorum* pv. *vitians*'a karşı savunma tepkilerini anlamak önemlidir. Konukçu direnci, BYL'yi yönetmek için en etkili ve önerilen yaklaşım olarak kabul edilir ve entegre zararlı yönetimi için diğer yöntemlerle birlikte kullanılabilir (Şahin ve Miller 1998; Wang 2015; ve Nicolas vd. 2018). Bitkilerin patojenik bakterilere karşı savunma tepkileri, bir dizi moleküler, fizyolojik ve biyokimyasal değişikliği içeren karmaşık bir süreçtir. Virulent bir patojene karşı bitkilerin savunma tepkisini değerlendirmek için araştırmacılar genellikle patojen gelişmesi, lezyon sayısı ve boyutunun ölçümü gibi yöntemler kullanmaktadır (Bull vd. 2011; Bull ve Koike 2005; Mandal vd. 2006). Bu yöntemler, hastalık gelişiminin kapsamı ve bitkinin genel performansı hakkında değerli bilgiler sağlar. Son yıllarda marulun *X. hortorum* pv. *vitians*'a karşı savunma mekanizmalarını araştıran birçok çalışma (Robinson 2003; Al-Saleh ve Ibrahim 2009; Zhang vd. 2018) yapılmış ve bu araştırmalar kayda değer sonuçlar ortaya koymuştur. Son yıllarda, moleküler biyoloji ve genomik alanındaki gelişmeler, araştırmacıların bitkilerin patojen bakterilere karşı dayanıklılık reaksiyonu altında yatan moleküler mekanizmaları daha iyi anlamalarını sağlamıştır. Örneğin, çalışmalar salisilik asit ve jasmonik asit gibi bitki hormonlarının marulun *X. hortorum* pv. *vitians*'a karşı savunma tepkisinde rol oynadığını göstermiştir (Bari ve Jones, 2009).

Marul çeşitlerinin *X. hortorum* pv. *vitians*'a karşı savunma tepkilerini değerlendiren ve dayanıklı veya en toleranslı çeşitleri belirleyen daha kapsamlı çalışmalara hala ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, çeşitli marul çeşitlerinin *X. hortorum* pv. *vitians* enfeksiyonuna karşı dayanıklılık reaksiyonlarının değerlendirilerek bu boşluğu doldurmayı amaçlamıştır. Çalışmada, marul bitkilerinin fiziksel görünümünün bakteriyel patojen *X. hortorum* pv. *vitians*'a yanıt olarak nasıl değiştiği değerlendirilmiştir. Pazar değeri yüksek birçok ticari marul çeşidi, ne yazık ki bakteriyel yaprak lekesine karşı önemli ölçüde hassastır ve bu da marul yetiştiricilerinin üründen daha yüksek gelir elde etmesini zorlaştırmaktadır. Bu durum, yetiştiriciler için büyük bir zorluk teşkil etmekte ve hasat sonrasında onları zor bir değiş tokuşa zorlamaktadır. Ürünlerini korumak ve verimi güvence altına almak için, genellikle çeşitli kimyasal mücadele önlemlerini kullanmaktan başka seçenekleri kalmamaktadır. Bu önlemler, hastalık salgınlarını potansiyel olarak azaltırken, çevresel etki, tüketici güvenliği ve bakteriyel direncin potansiyel gelişimi ile ilgili endişelere yol açabilir. Bu nedenle, bu araştırmanın bulguları marul yetiştiricileri, bitki ıslahçıları ve araştırmacılar için değerli bilgiler sağlamaktadır. Araştırma sonuçları, BYL'yi kontrol etmek için daha etkili stratejiler geliştirmeye yardımcı olabilir ve BYL hastalığının etkili mücadelesinde bakır karışımlarının uygun kullanımını sağlayabilir.

Bu tezinin önemi, özellikle Türkiye'de BYL hastalığına dirençli marul çeşitlerinin belirlenmesi yoluyla marul yetiştiriciliğinde verimliliği artırma ve ekonomik kayıpları azaltma potansiyelinde yatmaktadır. Hastalık, Florida, Ohio ve Güney Türkiye gibi sıcak ve nemli bölgelerde en yaygın bakteriyel hastalıklardan biridir (Şahin 2000; Sandoya vd. 2019). Bu hastalığa karşı kimyasal kontrol önlemlerinin yüksek maliyetleri ve sınırlı etkisi, dirençli marul çeşitlerinin belirlenmesi ve kullanılmasının en etkili ve sürdürülebilir yönetim yaklaşımı olduğunu vurgulamaktadır. *X. hortorum* pv. *vitians* enfeksiyonuna karşı farklı marul çeşitlerinin savunma tepkilerini değerlendiren bu çalışma, BYL'nin yayılmasını önlemeye ve marul hastalıklarıyla mücadeleye yönelik stratejilere katkı sağlayabilir. Elde edilen bulgular, marul yetiştiricileri, bitki ıslahçıları ve araştırmacılar için değerli bilgiler sunarak, BYL kontrol stratejilerinin geliştirilmesine ve bakır karışımlarının hastalık yönetiminde uygun dozlarda kullanımına yardımcı olabilir. Bu araştırma, bakteriyel direnç gelişimi potansiyelini ele alarak, BYL hastalığının etkili yönetimi için kritik bilgiler sağlamaktadır.

#### Çizelge 1. 1. Marul ve Bakteriyel Yaprak Lekesi Hastalık Etmeninin Sınıflandırması

|                 | Marul                    | Bakteriyel Patojen                    |
|-----------------|--------------------------|---------------------------------------|
| <b>Alem</b>     | Plantae                  | Bakteriler                            |
| <b>Şube</b>     | Magnoliophyta            | <i>Pseudomonadota</i>                 |
| <b>Sınıf</b>    | Magnoliosida             | <i>Gammaproteobacteria</i>            |
| <b>Takım</b>    | Asteraceae               | <i>Xanthomonadales</i>                |
| <b>Familiya</b> | Asteraceae               | <i>Xanthomonasaceae</i>               |
| <b>Cins</b>     | <i>Lactuca</i> L.        | <i>Xanthomonas</i>                    |
| <b>Tür</b>      | <i>Lactuca sativa</i> L. | <i>X. hortorum</i> pv. <i>vitians</i> |

### 1.1. Araştırma Amaçları

Bu çalışmanın tezin şunlardır:

- *X. hortorum* pv. *vitians*'ın neden olduğu bakteriyel yaprak lekesine karşı en yaygın 8 farklı ticari marul çeşidinin dayanıklılığını araştırmak,
- *X. hortorum* pv. *vitians*'ın bakır sülfata karşı duyarlılığını araştırmaktır.



## 2. LİTERATÜR TARAMASI

### 2.1. Marul Hakkında Genel Bilgiler

Cos ve romaine içeren Asteraceae (Compositae) familyasının bir üyesi olan marul, bitkiler alemindeki en büyük dikotiledon familyasının bir parçasıdır (Funk vd. 2005). *Lactuca* cinsi içinde sınıflandırılır. Marul, sebze salataları şeklinde çiğ olarak yenebildiği gibi pişirilebilir veya gıdalarda süs olarak da kullanılabilir. *Lactuca* spp. kategorisi içinde lezzet, şekil ve renk açısından geniş bir çeşitlilik yelpazesi vardır. Çeşitli marul çeşitleri farklı özellikler sergiler; bazıları *Lactuca virosa* L. gibi acı bir tada sahipken, diğerleri tatlı bir lezzet sunar. Ek olarak, bu cins içindeki marul bitkileri yaşam döngüleri açısından farklılık gösterebilir; bazıları tek yıllıkken, birkaçı iki yıllıkken kategorisine girer.

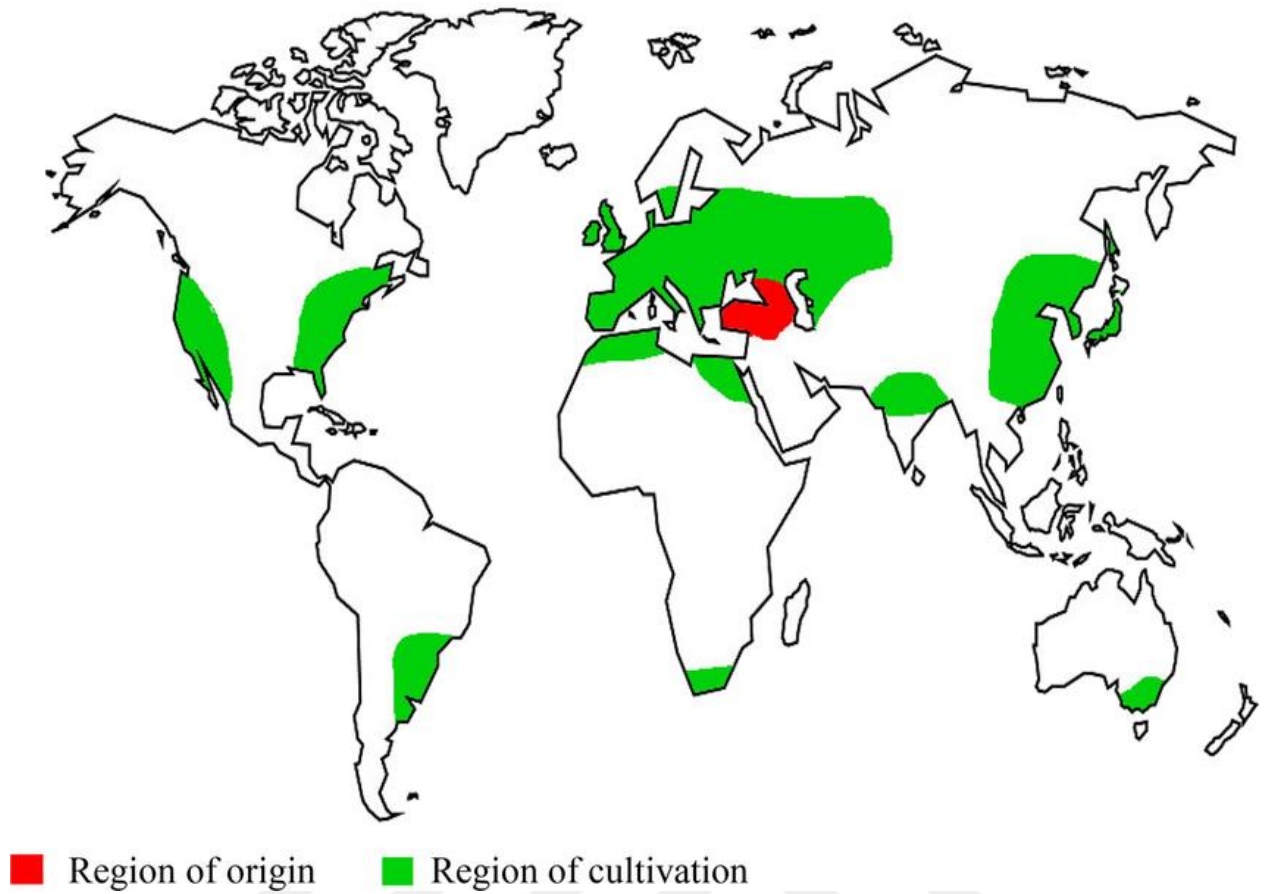
Çoğu yapraklı sebze ürünü gibi marul da temel besin maddeleri açısından değerli bir kaynaktır. Marul kalori, yağ ve sodyum bakımından düşük olsa da mineraller, lifler, provitamin A veya βkaroten, C, K vitaminleri ve folat (B9 vitamini) ve fenolik bileşikler bakımından zengin bir kaynaktır (Kim vd. 2016). Özellikle, A vitamini, kalsiyum ve askorbik asidin önemli bir katkıcısıdır. Marul çeşitleri arasında Cos marul, üstün besin değeriyle öne çıkmaktadır. Her 100 g yenilebilir dokuda, Cos marul 18 mg kalsiyum, 4 mg askorbik asit ve 1900 I.U. A vitamini içerir ve diğer çeşitlerde bulunan içeriği aşar (Robinson 2003).

### 2.2. Marulun Tarihçe

Marulun, muhtemelen Akdeniz havzasında veya yakınlarında ortaya çıkan *Lactuca serriola* L. adlı yabani atasından evrimleştiğine inanılmaktadır. Kayıtlar marulun 4.500 yıl kadar önce Mısır İmparatorluğu'nun Orta Krallığı döneminde yetiştirildiğini göstermektedir (Lindqvist 1960). *Lactuca* L. (Compositae) cinsinde yaklaşık 100 farklı tür bulunmaktadır ve bunların 17'sinin Avrupa'dan, yaklaşık 10'unun Kuzey Amerika'dan, 33'ünün Doğu Afrika'daki tropikal bölgelerden ve yaklaşık 40'ünün Asya'dan geldiği söylenmektedir (Lindqvist 1960). Bu türler ayrıca diğer alt taksonomik bölümlere ayrılır ve yazardan yazara farklılık gösterir. Marul türleri içinde de muazzam bir çeşitlilik vardır. Yıllar boyunca çok sayıda yazar marulu farklı kültür çeşitleri olarak sınıflandırmıştır (Rulkens 1987; Boukema vd. 1990; de Vries 1997; Křístková vd. 2008).

Marulun ekili bir sebze olarak belgelenmiş en eski kanıtı eski Mısır'a kadar uzanmaktadır. Tackholm'a (1951) göre, M.Ö. 4500'lerden kalma mezar resimlerinde uzun sivri yapraklı bir marul çeşidinin yetiştirilmesi tasvir edilmiştir. Boukema vd. (1990), eski Mısır'da yetiştirilen marul formlarını, günümüzdeki marul grubuna karşılık gelen *L. sativa* var. *longifolia*'nın bir parçası olarak kategorize etmiştir. Mısır'da yetiştirilmesinden yıllar sonra marul ekimi Yunanistan ve Roma'ya yayılmıştır. Muhtemelen cos tipi uzun yapraklı formlar ve muhtemelen yaprak marul tipleri de kullanılırken, lahana marulu (bugün "aysberg marulu" olarak bilinir) çok daha sonraki bir döneme kadar ortaya çıkmamıştır (Helm 1954).

Bugün, dünya çapında yaygın ve oldukça popüler bir sebze olmaya devam etmektedir. Kuzey Amerika, Batı Avrupa, Akdeniz, Avustralya ve Asya'nın bazı bölgelerinin yanı sıra Afrika da dahil olmak üzere dünyanın çeşitli bölgelerinde ticari olarak yetiştirilmektedir (Şekil 2. 1).



Şekil 2. 1. Marulun kökeni ve dünya genelindeki dağılımı

### 2.3. Marulun Sınıflandırılması ve Morfolojik Özellikleri

Bitkiler aleminde (Plantae) Magnoliophyta bölümüne ait olan marul (*Lactuca sativa* L.), kapalı tohumlular (angiospermiler) kategorisine girmektedir. Kapalı tohumlu bitkiler, 416 familyaya yayılmış yaklaşık 300.000 taksondan oluşan geniş bir çeşitlilikle, bitkiler alemindeki en çeşitli yapraklı sebze gruplarından birini temsil etmektedir (Christenhusz ve James 2016). *Lactuca* L. (Compositae: *Lactuceae*) cinsi ağırlıklı olarak kuzey yarımkürenin ılıman ve Akdeniz bölgelerinde bulunur ve Ferakova (1977) tarafından dört alt grupta sınıflandırılan yaklaşık 100 türü kapsar: *Phaenixopus*, *Mulgedium*, *Lactucopsis* ve *Lactuca*. Özellikle, Avrupa alt grubu *Lactuca*, kültür marulu *L. sativa* ile birlikte *L. saligna* L., *L. virosa* L., *L. serriola* L. ve *L. altaica* dahil olmak üzere beş türden oluşmaktadır. Bu türler dünya çapında farklı dağılımlar sergilemekte, bazıları kültüre alınırken diğerleri doğal yaşam alanlarında ve tarımsal peyzajlarda yabani ot olarak yayılmaktadır (Ferakova 1977).

Tek yıllık bir ürün olan marul, toprağın derinliklerine uzanan köklü bir ana kök geliştiren, su ve besin alımını artırmak için yüzeye yakın yoğunlaşan yatay yan köklerin eşlik ettiği, kendine tozlaşan bir bitkidir. Yüksekliği 30 ila 100 cm arasında değişen dik bir gövde ile büyür ve üst kısımda dallanma gösterir. Kandemir vd. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, marul çeşitlerinin diğer marul çeşitlerine kıyasla lifli kök geliştirme eğiliminin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Marulun kökü, besin açısından zengin ve iyi havalandırılmış üst toprakta 20-30 cm derinliğe kadar uzanabilir.

Gövde çoğunlukla beyaz veya yeşil, kalın ve rozet şeklindedir, büyümesini toprak yüzeyinin hemen üzerinde başlatır ve birbirinin üzerine binen rozet benzeri bir düzenleme oluşturan yapraklar üretir. Yapraklar, belirli çeşide bağlı olarak renk, şekil, boyut ve kıvrımlılık gibi çeşitli özellikler sergiler. Yaprak renkleri yeşilden koyu kırmızıya kadar değişir, yeşil baskın renktir ve koyu yeşil, açık yeşil, sarı-yeşil ve gri-yeşil gibi varyasyonları kapsar. Yaprak şekilleri yuvarlak, oval yuvarlak, basık yuvarlak, basık, uzun ve orta uzun olarak kategorize edilirken, boyutlar büyük, orta ve küçük olarak tanımlanır (Vural vd. 2000). Çeşitli marul türleri arasında yapraklar bütün, loblu, kesik, girintili veya dalgalı kenarlar gibi özellikler sergileyebilir ve bu da genel tarımsal çeşitliliğine katkıda bulunur (Mou 2008). Yetiştiricilikte hasat, sapın çok fazla gelişmesine izin verilmeden yapılır. Yapraklar, bitkinin ana sebze olarak kabul edilen ve tüketim için tercih edilen kısmıdır. Yapraklar da renk, tat, gevreklik, etlilik, genişlik ve şekil bakımından çok çeşitlidir. Bazı marullarda yapraklar biraz daha uzun ve eliptiktir, bazılarında ise baş yuvarlaktır, birbiri üzerine sarılır ve lahanayı andırır.

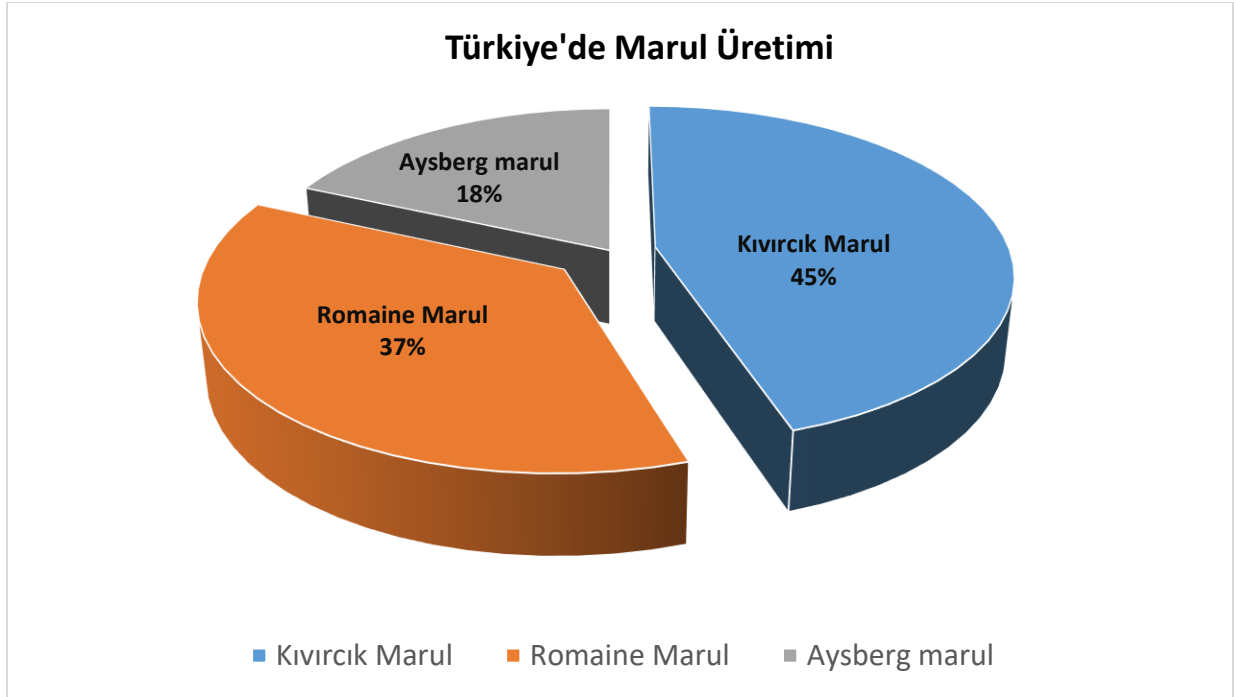
Bazı çeşitlerde baş oluşumu, sürgün ucuna doğru boğum arası uzunluğunda bir azalma ile karakterize edilir, bu da yaprakların birbirlerine sıkıca sarılmasıyla sonuçlanır ve sayıları yaklaşık 25-35 arasındadır. Bazı çeşitler baş oluşumu yerine salkım veya rozet oluşumu gösterir (Günay 2005).

Çiçekte tozlaşma ve döllemenmeden sonra yumurtalıktan tek tohumlu meyveler çıkar. Tohumların tam olgunlaşması, iklim koşulları ve çeşit farklılıklarından etkilenerek tam çiçeklenmeden yaklaşık 3-5 hafta sonra gerçekleşir. Tohum kabuğu renkleri arasında siyah, gri, kahverengi ve krem bulunur.

Bitki saplanmasının hızlanması, vejetatif fazdan daha hızlı bir geçişe yol açar. Bu olgu, vejetatif büyüme aşamasının durmasıyla sonuçlanır ve lateks birikimine atfedilen acı bir tadın gelişmesi nedeniyle ürünü tüketim için uygunsuz hale getirir (Mou 2008).

## **2.4 Türkiye'de Marul Üretimi**

Marul, neredeyse her kıtada başarılı bir şekilde yetiştirilebilen ve dünya genelinde yaygın ticari üretimle sonuçlanan bir üründür. Halihazırda Çin, küresel marul arzının %58'ine katkıda bulunarak marul üretiminde dünya lideri konumundayken, onu sırasıyla Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Hindistan takip etmekte, Türkiye ise sekizinci sırada yer almaktadır (FAOSTAT 2022). Türkiye'de en yaygın marul çeşitleri Aysberg, Kıvırcık ve Romaine marullarıdır. Türkiye'de, 2023 yılı itibarıyla toplam 577.773 ton marul üretimi gerçekleştirmiş olup, bu üretimin %44.97'sini kıvırcık marul, %36.63'ünü Romaine marulu ve %18.38'ini Aysberg marul oluşturmaktadır (Şekil 2. 2). Türkiye'deki illere göre marul üretimine bakıldığında, Ankara, Adana ve Antalya marul yetiştiriciliğinin en yoğun olduğu ilk üç bölge olarak ortaya çıkmaktadır (Çizelge 2. 3) (TÜİK 2023). Son raporlar, marulun ülkedeki tarım sektörü içinde en yüksek gelir getiren sebzeler arasında yer aldığını vurgulamaktadır (Kandemir ve Balkaya 2022).



**Şekil 2. 2.** Türkiye'de en çok yetiştirilen üç marul çeşidi

**Çizelge 2. 1.** Türkiye'de sera marul üretimi (ton) (2018-2022; TÜİK, 2023)

|               | 2018           | 2019           | 2020           | 2021           | 2022           |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Romaine       | 24 510         | 25 654         | 35 749         | 38 834         | 41 490         |
| Kıvrıcık      | 66 025         | 69 676         | 67 702         | 89 265         | 95 172         |
| Aysberg       | 21 591         | 22 258         | 22 435         | 19 173         | 18596          |
| <b>Toplam</b> | <b>112 126</b> | <b>117 588</b> | <b>125 886</b> | <b>147 272</b> | <b>155 258</b> |

**Çizelge 2. 2.** Türkiye'de Marul Yetiştiriciliği (ton) (2019-2023; TÜİK 2023)

|               | 2019           | 2020           | 2021           | 2022           | 2023           |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Romaine       | 215 728        | 225 639        | 212 091        | 204 422        | 211 660        |
| Kıvrıcık      | 198 491        | 207 234        | 234 048        | 252 583        | 259 866        |
| Aysberg       | 85 547         | 87 278         | 94 430         | 104 985        | 106 245        |
| <b>Toplam</b> | <b>501 785</b> | <b>522 171</b> | <b>540 569</b> | <b>561 990</b> | <b>577 773</b> |

**Çizelge 2. 3.** İllere dehi Marul Yetiştiriciliği ve Üretim Miktarları (ton) Göre İller (TÜİK 2023)

| İller     | Göbekli | Kıvırcık | Aysberg | Toplam        |
|-----------|---------|----------|---------|---------------|
| Ankara    | 14.679  | 10.192   | 52.26   | <b>77.597</b> |
| Adana     | 58.232  | 4.050    | 8.600   | <b>70.882</b> |
| Antalya   | 22.829  | 29.216   | 3.769   | <b>55.814</b> |
| Mersin    | 20.453  | 10.519   | 16.320  | <b>47.292</b> |
| Tokat     | 5.155   | 28.016   | 120     | <b>33.291</b> |
| Sakarya   | 749     | 31.819   | 120     | <b>32.688</b> |
| Eskişehir | 3.413   | 23.172   | 2.772   | <b>29.357</b> |
| İzmir     | 12.687  | 10.119   | 3.127   | <b>25.933</b> |
| Bilecik   | -       | 14.574   | -       | <b>14.574</b> |
| Amasya    | 282     | 11.016   | -       | <b>11.298</b> |
| Karaman   | 5.348   | 3.407    | 1.870   | <b>10.625</b> |
| Bursa     | 1.549   | 8.747    | 174     | <b>10.470</b> |
| Muğla     | 6.085   | 1.326    | 893     | <b>8.304</b>  |
| Samsun    | 310     | 7.786    | 160     | <b>8.256</b>  |

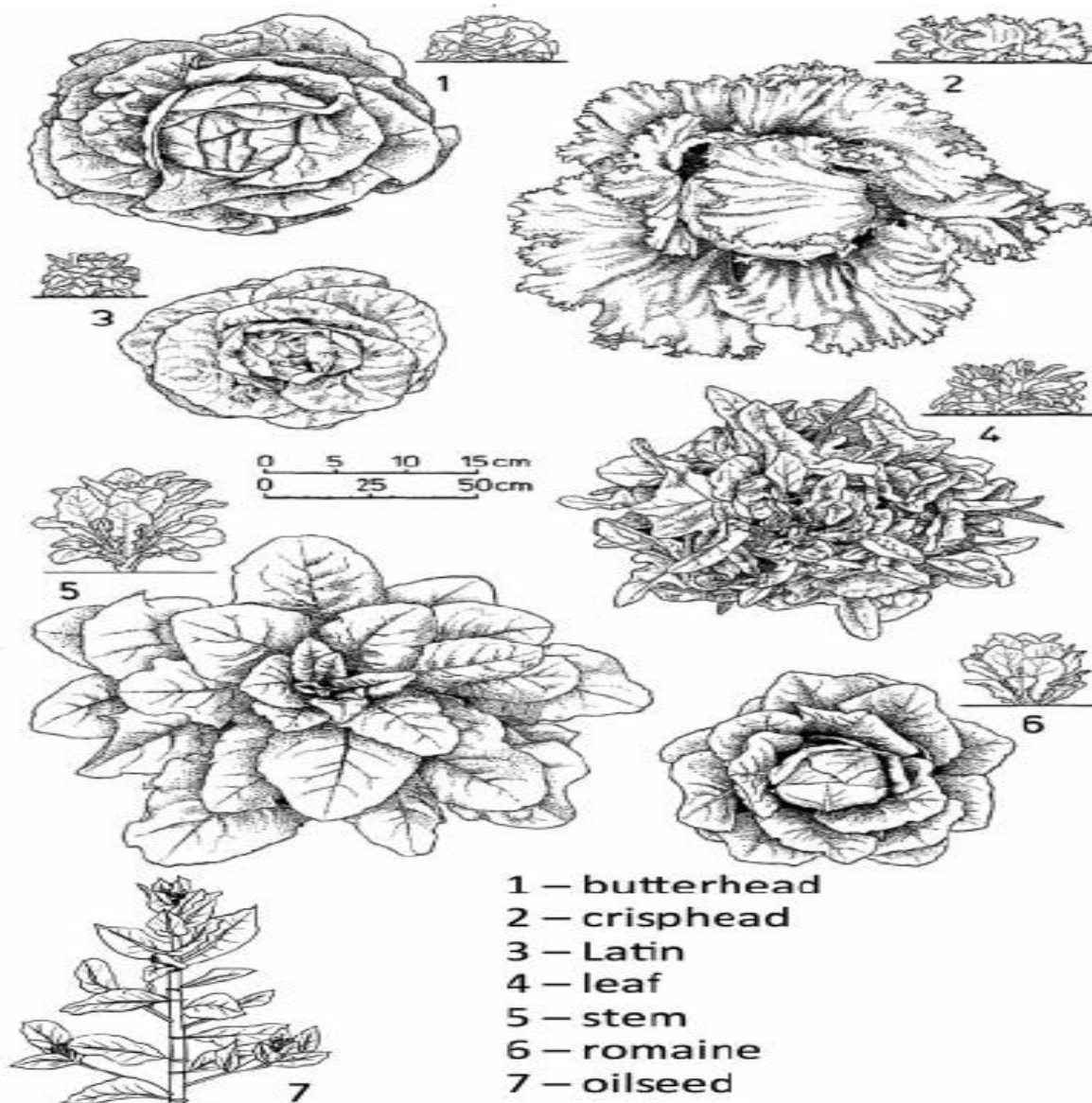
## 2.5. Türkiye'de BYL Salgını

2000 yılında Şahin tarafından yürütülen bir çalışmada, BYL hastalığının Türkiye'de, özellikle de Erzurum ilinde ilk kez tespit edilmesini sağlamıştır. Bu keşif, hastalığın ülke içindeki yaygınlığı ve etkisine ilişkin sonraki araştırmalar için zemin hazırlamıştır. Mirik vd. (2004) tarafından yürütülen ayrı bir çalışma, 2002 kışında Adana'da hastalığın örneklerinin görüldüğünü ve Türkiye'de coğrafi olarak yayıldığını ortaya koymuştur. Bu çalışma, yerel marul çeşitleri arasında hastalığa karşı duyarlılık oranının %100'e yaklaştığını ve hasat edilen ürünün pazar değerini daha da düşürdüğünü göstermiştir. Mirik vd. (2004) bulguları, bitkilerde BYL hastalığının gelişiminin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına ve etkili azaltma stratejilerinin uygulanmasına yönelik acil ihtiyacın altını çizmiştir. Basım vd. (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada, Antalya'da tarlada yetiştirilen marul fidelerinin bazı yapraklarında hastalık gözlenmiş ve patojeni tanımlamak için PCR testleri yapılmıştır.

Bu çalışmalar, hastalığın nasıl ortaya çıktığı ve marul bitkileri üzerindeki sonuçları hakkında değerli bilgiler sağlamaktadır. Bunlar, hastalığın Türkiye'deki ürünler üzerindeki zararlı etkisini azaltmayı amaçlayan gelecekteki araştırma ve stratejiler için önemli bilgi kaynaklarıdır.

## 2.6. Marul Çeşit Grupları

*Lactuca* cinsi içindeki farklı çeşit gruplarının nasıl sınıflandırıldığı konusunda yaygın bir mutabakat vardır. Tarım alanında, çağdaş marul (*Lactuca sativa* L.) çeşitleri, temel olarak morfolojik özelliklerle ayırt edilen yedi ana tipte kategorize edilir (Křístková vd. 2008; Wei vd. 2021). Bu kategoriler Yağlı Tohum, Tereyağlı marul, Cos, Crisphead, Latin, Stalk marul ve Cutting marulu içerir (Şekil 2. 3). Bu gruplar, International Code of Nomenclature for Cultivated Plants (ICNCP) (Trehane vd. 1995) yönergelerine uygun olarak adlandırılmıştır. Yerleşik adlandırma uygulamalarına bu bağlılık, tarımda çeşitli marul çeşitlerini tartışırken ve bunlarla çalışırken tutarlılık ve netlik sağlar.



Şekil 2. 3. Yedi çeşit marul çeşidi. (Ivan Simkos tarafından yüklendi).

**Yağlı Tohumlu Marul:** iki ana tür altında sınıflandırılır: *Lactuca serriola* ve *Lactuca sativa* (Boukema vd. 1990). Bu çeşidi diğerlerinden ayıran, ortalama %35 civarında olan oldukça yüksek tohum yağı içeriğidir (Boukema vd. 1990). Bu yağ içeriği, zengin E vitamini içeriği ve yağı tüketim için kabul edilebilir kılan acı yaprakları ile bilinir, ancak çoğu durumda yapraklar sebze olarak tüketim için uygun değildir (Harlan 1986). Mısır'da, yağ üreten marul çeşitlerinin yetiştirilmesi önemli bir uygulama olmaya devam etmektedir (Helm 1954). İlginç bir şekilde, Yunanlılar bu marul türünü tarihsel olarak uyku getirici bir madde olarak kullanırken (Harlan 1986), Mısırlılar cinsel arzuyu uyarmak için afrodizyak olarak kullanmışlardır (Rulkens 1987).

**Butterhead marul:** gevşek dizilmiş yaprakları ile karakterize edilen bir yeşil marul türüdür. Bu yapraklar düz, pürüzsüz, kalın ve etlidir, bazı çeşitler kalp şeklindeki diğerleri daha yuvarlak şekle sahiptir. Yaprak tepesine ulaşmadan hemen önce, orta damar daha küçük damarlara ayrılır (Lindqvist 1960). Taze marul yaprakları genellikle yağ ve sirke ile yapılan mutfak preparatlarında kullanılır. Marul yetiştiriciliği öncelikle İngiltere, Fransa, Hollanda ve diğer çeşitli Batı Avrupa ülkeleri gibi bölgelerde yoğunlaşmıştır (Ryder 1986).

**Cos Marul veya Romaine:** uzun kafalar üretmesiyle bilinen marul çeşitleridir. "Cos" adı, belgelendiği üzere bu sebzelerin uzun bir süre boyunca yetiştirildiği Yunan adası Kos'a bir saygı duruşudur (Helm 1954). Romaine marulları, neredeyse yuvarlak uca kadar uzanan bir orta damara sahip, dikdörtgen, dik ve sert yaprakları ile karakterize edilir. Bu yapraklar biraz kaba bir doku sergiler (Lindqvist 1960). Tipik olarak, Cos marulunun başları uzun ve gevşek bir şekilde düzenlenir ve sonunda katlanır (Rodenburg ve Basse 1960). Ryder'ın 1986'da belirttiği gibi, Akdeniz bölgesinde Cos marul en yaygın marul türüdür. Başlıca yetiştirme merkezleri İtalya, Fransa ve Avusturya gibi ülkelerde bulunmakla birlikte, (Boukema vd. 1990) tarafından bildirildiği üzere Mısır, İran, Türkiye ve Suriye kökenlidir.

**Crisphead Marul:** Batavia, Aysberg ve Eissalat gibi iyi bilinen çeşitleri kapsar. Bu marul çeşidi iyi bilinir ve çoğunlukla Avrupa, ABD ve Brezilya'da yetiştirilir (Schvambach vd. 2020). Küresel şekliyle bilinen gevrek başlı marul, lahana şeklinde geniş, üst üste binen ve buruşuk yapraklara sahiptir (Smith vd. 2009). Kıtır marul, tüm yıl boyunca kolay yetiştirilebilmesi, vitamin ve mineraller açısından zengin olması gibi özellikleri nedeniyle en yaygın yetiştirilen marul çeşitlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Tipik olarak toprak bazlı tarım sistemlerinde yetiştirilir ve öncelikle bütün baş salata çeşidi olarak pazarlanır.

**Latin Marulu:** Kompakt olmayan baş yapısı ve kösele gibi koyu yeşil yaprakları ile karakterize edilir. Bu yapraklar besin değeri çok yüksek olduğu için genellikle çiğ halde tüketilir. Latin marulları çoğunlukla Kuzey Afrika'yı kapsayan Akdeniz ülkelerinde (Türkiye gibi) ve Güney Amerika bölgelerinde yetiştirilmektedir (Rodenburg 1960).

**Sap Marul veya Gövde Marul:** Kalın etli gövdesiyle karakterize edilen bir marul çeşidi olan sap marul, hem çiğ hem de pişmiş olarak tüketilebilir. Bazı durumlarda hayvan yemi olarak da kullanılmaktadır (Boukema vd. 1990). Lindqvist'in 1960 yılında yaptığı sınıflandırma, bu marul türü içinde iki ana tip tanımlamıştır. Birinci tip, Çin çeşitlerinin Cos marulunda olduğu gibi açık gri yaprakları vardır. İkinci tip ise sivri uçlu, uzun ve mızrak başlı yapraklara sahiptir (Lindqvist 1960). Sap marul çoğunlukla Çin, Rusya, Hindistan ABD ve Avrupa'da yetiştirilmektedir (Lindqvist 1960; Rodenburg ve Basse 1960; Rulkens 1987).

**Kesme Marul veya Yaprak Marul:** Çeşitler kompakt baş geliştirmez; bunun yerine, tipik olarak bitkinin merkezine doğru yoğun bir yaprak kümesi üreten gül şekilli marullardır (Rodenburg ve Basse 1960). Lindqvist'e (1960) göre, bu marul grubu, yaprak dokusu ve orta damar şekli bakımından Crisphead grubuyla benzerlikler göstermektedir. Kesme marul yetiştiriciliği ABD, İtalya, Fransa, Çek Cumhuriyeti ve Slovakya dahil olmak üzere birçok ülkede

öne çıkmaktadır. CGN (Centre for Genetic Resources, the Netherlands) tarafından yönetilen gen bankasında Türkiye ve Yunanistan kökenli landraceler bulunmaktadır (de Vries 1997).

## 2.7. Marul Üretimi

Tipik olarak, bazı bölgelerde marul, mekanik olarak çalıştırılan hassas ekim makinelerinin yardımıyla doğrudan tarlalara ekilir. Ancak, çoğu bölgede, başlangıçta nakil olarak yetiştirilir ve daha sonra düz veya yükseltilmiş yataklara nakledilir. Marul ekildiğinde, genellikle 30 cm aralıklı iki sıralı yükseltilmiş yataklarda yetiştirilir ve yoğun ekilmiş sıraların manuel olarak inceltilmesiyle gerçekleştirilen 1 m'lik aralıklarla yerleştirilir. Çimlenme ve büyüme için optimum sıcaklık 20-25°C arasında değişir ve 30°C'yi aşmak süreci engelleyebilir. Başarılı bir çimlenme için yeterli oksijen ve su kaynağı gereklidir ve tipik olarak ekimden sonra gerçekleşmesi yaklaşık 3-7 gün sürer. Fazla fidelerin seyreltilmesi tipik olarak ekimden 3-4 hafta sonra gerçekleştirilir. Marul çeşidine ve mevsime bağlı olarak, hasat genellikle gevrek marul için ekimden sonra 60-120 gün arasında gerçekleşir (Raid 2004).

Ticari olarak çeşitli bölgelerde yetiştirilmekte olup, evlerin bahçelerinde de sıkça yetiştirilmektedir. Ülkemizde marul üretimi hem örtüaltında hem de açık alanda ticari fide üretim firmaları tarafından üretilen marul fideleri kullanılarak yapılmaktadır.

## 2.8. Marulun Başlıca Hastalıkları

Farklı kökenlere ve nedenlere sahip 75'ten fazla farklı marul hastalığı belgelenmiştir. Marul üretimi fungal patojenleri, oomisetler, bakteriler ve virüslerin neden olduğu çeşitli hastalıklardan önemli ölçüde etkilenebilir (Çizelge 2. 4.). Bazı hastalıklar sınırlı öneme ve coğrafi erişime sahip olsa da, bunların önemli bir kısmı *L. sativa* L.'nin yetiştirildiği veya doğal olarak yetiştirildiği her yerde bulunabilir. Bu koşullar, çevresel koşullar elverişli olduğunda hem verime hem de kaliteye ciddi zarar verme potansiyeline sahiptir (Raid 2004). Çoğu durumda, sıcak ve nemli bir iklim, hastalıkların gelişmesi için mükemmel bir ortam sağlar. Marul üretiminin tehdit eden başlıca hastalıkları anlamak, başarılı bir üretim sağlamak için etkili yönetim stratejileri uygulamak açısından çok önemlidir.

En yaygın ve ekonomik olarak zarar veren hastalıklar arasında oomycete patojeni *Bremia lactucae*'nin neden olduğu marul mildiyösü, *Botrytis cinerea*'nın neden olduğu kurşuni Küf ve *Sclerotinia sclerotiorum*'un neden olduğu beyaz çürüklük bulunmaktadır (eOrganic 2010). Marul mildiyösü yapraklarda sarı veya kahverengi lezyonlar olarak ortaya çıkarken, gri küf marul dokusunda bulanık gri bir küfün gelişmesine yol açar. Beyaz çürüklük ise marul başının çürümesine ve yumuşamasına neden olur (eOrganic 2010). Bu hastalıklar belirli çevresel koşullar altında gelişir ve şiddetleri sıcaklık, nem ve tarımsal uygulamalar gibi faktörlerden etkilenir (Raid 2004). Günümüzde marulun büyümesini ve verimini doğrudan etkileyen başlıca hastalıklar vardır.

**Çizelge 2. 4. Marul Üretimini Sınıflandıran Bazı Hastalıklar**

| Hastalık                    | Kısaltma | Aile                     |
|-----------------------------|----------|--------------------------|
| Marul Mozaik Virüsü         | LMV      | <i>Potyviriidae</i>      |
| Marul Geriye Ölüm           | MGÖ      | <i>Pectobacteriaceae</i> |
| Bakteriyel Yaprak Lekesi    | BYL      | <i>Xanthomonadaceae</i>  |
| Marul Büyük Damar Hastalığı | MBDH     | <i>Virgaviridae</i>      |
| Beyaz çürüklük              | BÇ       | <i>Sclerotiniaceae</i>   |
| Marul mildiyüsü             | MM       | <i>Peronosporaceae</i>   |
| Fusarium Solgunluğu         | FS       | <i>Nectriaceae</i>       |

**2.9. *X. hortorum* pv. *vitians*'ın Sınıflandırılması ve Özellikleri**

*X. hortorum* pv. *vitians*, son yıllarda marul üreticileri için önemli bir tehdit haline gelen marul bakteriyel yaprak lekesi (BYL) hastalığına neden olan gerçek bir nükleer zardan yoksun tek hücreli bakteriyel bir patojendir (Morinière vd. 2020). Sadece bitki patojenlerinden oluşan *Xanthomonas* cinsi, genellikle sarı renkli ve suda çözünmeyen pigmentler üretir. *Xanthomonas*'ın ilk sınıflandırılması temel olarak fizyolojik, biyokimyasal ve morfolojik özelliklerine dayanmaktaydı (Swings ve Civerolo 1993). 1918 yılında Brown, ABD'nin Güney Carolina eyaletindeki Beaufort County'deki çiftliklerden toplanan strainleri kullanarak marulda bakteriyel yaprak lekesinden sorumlu etkeni tanımlamıştır. Tür için *Bacterium vitians* ismini önermiştir. 1974 yılında Dye ve Lelliot 100'den fazla *Xanthomonas* türünün tanımlandığını bildirmiştir. Bu türleri, çoğu *campestris* türü altında olmak üzere beş taksonda gruplandırmayı önerdiler. Ancak, sonunda organizmaları konukçu patojenitelerine göre ayırt etmek için bir patovar belirlemeyi içeren yeni bir isimlendirme geliştirilmiştir (Dye ve Lelliot 1974).

Swings ve Civerolo'ya (1993) göre, tüm patovarlar başlangıçta *Xanthomonas hortorum* türü altında sınıflandırılmıştır. Ancak Vauterin vd. (1995), *Xanthomonas* strainlerini yeniden sınıflandırmak için karbon kullanımı gibi diğer testlerle birlikte DNA-DNA hibridizasyonunu kullanmıştır. *X. hortorum* pv. *vitians* strainleri arasında heterojenlik keşfettiler ve tip A ve tip B olmak üzere iki grup belirlediler. 34 *Xanthomonas hortorum* patovarı ve *Xanthomonas axonopodis* içeren Grup 9 strainlerine benzerliği nedeniyle *X. hortorum* pv. *vitians* tip A straininin *Xanthomonas axonopodis* pv. *vitians* olarak yeniden adlandırılmasını önerdiler. B tipi strainlerin *Xanthomonas hortorum* pv. *pelargonii* ve *Xanthomonas hortorum* pv. *hederiae* ile yüksek düzeyde homoloji göstermesi, bunların *X. hortorum* pv. *vitians* olarak yeniden adlandırılması önerisine yol açmıştır.

Bilim camiası, patojenin yakın zamanda yeniden sınıflandırılmasını henüz tam olarak benimsememiştir ve konuyla ilgili görüş ayrılıkları devam etmektedir. Yeni sınıflandırmanın varlığına rağmen, son literatür patojeni *X. hortorum* pv. *vitians* olarak adlandırmaya devam etmektedir. Herhangi bir olası karışıklığı veya yanlış yorumlamayı önlemek için, patojenin yeniden sınıflandırıldığını doğrulayan kesin kanıtlar ortaya çıkana kadar bu araştırma makalesi boyunca *X. hortorum* pv. *vitians* adı kullanılmıştır.

*X. hortorum* pv. *vitians*, Pernezny vd. (1995) ve Toussaint (1999) dahil olmak üzere çeşitli kaynaklar tarafından tanımlandığı üzere, boyutları 0,2-0,8µm x 0,6-2,0µm arasında değişen,

kesinlikle aerobik ve Gram-negatif olan çubuk şeklinde bir bakteridir. Tek bir polar kamçıya sahiptir ve spor oluşturmaz. Bu kemo-organotrof fermentatif değildir ve oksidaz-negatif ancak katalaz pozitifdir. Nitratları indirgeme yeteneğine sahip değildir, ancak sisteinden hidrojen sülfür üretir. *X. hortorum* pv. *vitians* asetoin veya indol üretmez ve asparajini tek karbon ve azot kaynağı olarak kullanmaz. Toussaint vd. (2001) tarafından bildirildiği üzere nişastayı hidrolize edememektedir. Patojen, hastalıklı bitki kalıntıları üzerinde veya içinde kısa süreler için hayatta kalma yeteneğiyle tanınmaktadır. Tohum yoluyla bulaştığı ve kurutulmuş tohumlar üzerinde uzun süre kalabildiği gözlemlenmiştir (Şahin ve Miller 1997).

## 2.10. BYL'ye Göre Ekonomik Kayıplar

Çalışmalar, BYL'nin marul verimini azaltabileceğini, hasat sonrası kayıp risklerini artırabileceğini ve ürünü pazarlanamaz hale getirebileceğini göstermiştir (Carisse vd. 2000; Pernezny vd. 2002). Sonuç olarak, BYL marul yetiştiricilerinin karlılığı ve marul endüstrisinin bütünü için önemli bir tehdit oluşturmaktadır.

BYL, marul, butterhead, crisphead ve iceberg dahil olmak üzere tüm önemli marul türlerinin tarlalarında rapor edilmiştir (Pernezny vd.1995; Carisse vd. 2000). Bu durum, BYL'nin çok çeşitli marul çeşitlerini etkileyebileceğini ve dolayısıyla marul endüstrisi üzerinde geniş bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir. BYL, güney Florida'nın subtropikal ikliminde hastalık gelişimi için elverişli koşullar nedeniyle çiftçiler için önemli bir sorun olmaya devam etmektedir (Pernezny vd. 2002). Florida'daki sıcak ve nemli hava, bakterinin büyümesi ve yayılması için elverişli bir ortam sağlayarak BYL salgınları riskini artırır.

## 2.11. Marul Bitkilerinde BYL Hastalık Belirtileri

BYL'ye neden olan *X. hortorum* pv. *vitians*, hastalığın karakteristiği olan iki farklı belirti türü sergiler. İlk belirti türü, yapraklar üzerinde küçük köşeli lekelerdir; bunlar su ile ıslanmış, kahverengi lezyonlar olarak başlar ve yaklaşık 1-2 mm çapındadır ve sonunda siyaha dönerek nekrotik hale gelir. Bu yaprak lekeleri birleşir ve lezyonlar “V” şeklini alır, yarı saydam hale gelir ve sonunda çöker (Şekil 2. 4) (Bull ve Koike 2005). Bu tip belirtilerin şiddeti bitki çeşidine, bitkinin yaşına, sıcaklık ve nem gibi çevresel faktörlere bağlı olarak değişebilir. Lezyonlar ayrıca bitki damarları boyunca yayılarak yapraklarda geniş çaplı hasara neden olabilir ve ürünün kalitesini ve verimini düşürebilir (Hayes vd. 2014).

İkinci tip belirti, yaprak yüzeyine dağılmış küçük siyah lekeler tarafından oluşturulur. Bu lekeler genellikle birinci tip lezyondan daha küçüktür ve “V şekli” özelliği göstermezler. Bunun yerine, dairesel olma eğilimindedirler ve genellikle ilk belirti türünden daha az şiddetlidirler. Daha az şiddetli olmasına rağmen, bu siyah noktalar yapraklarda hala önemli hasara neden olabilir, fotosentetik kapasite kaybına ve bitki büyümesinin azalmasına yol açabilir. Her iki semptom türünün de ortaya çıkması, yetiştiriciler için önemli ekonomik kayıplara neden olabilir. Bu durum hastalığın mümkün olduğunca erken tespit edilmesini ve yönetilmesini önemli hale getirir. Toussaint (1999) ve Şahin ve Miller (1997) tarafından yapılan araştırmalarda bu belirtiler rapor edilmiş ve patojenin özellikleri ve potansiyel kontrol stratejileri hakkında bilgi verilmiştir. Bu belirtiler marulun kalitesi ve verimi üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir ve ayrıca hasat sonrası kayıp olasılığını artırır.



**Şekil 2. 4.** Yaşlı marul bitkisi yapraklarında bakteriyel yaprak lekesi belirtileri. Fotoğraf CT Bull ve ST Koike, 2005'ten alınmıştır

## 2.12. Marulda *Xanthomonas* pv. *vitians*'a Karşı Genetik Dayanıklılık Sistemleri

Bitki savunma sistemi, çoklu savunma katmanlarından oluşur (Katagiri ve Tsuda 2010). Plazma membranı lokalize pattern-tanıma reseptörleri, kitin veya flagellin gibi patojenle ilişkili korunmuş moleküler desenleri tanıyarak geniş spektrumlu bazal direnci başlatır (Monaghan ve Zipfel 2012). Bu savunmaları etkisiz hale getirmek için patojenler, konukçu hücrelerine efektör proteinler enjekte ederek bazal bağışıklığı baskırlar (Rafiqi vd. 2012). Buna karşılık, bitkiler bu efektör moleküllerini doğrudan veya dolaylı olarak tanıyan ve programlanmış hücre ölümü, hipersensitif tepki (HR) olarak bilinen kuvvetli savunma tepkilerini tetikleyen hücre içi NLR reseptörleri geliştirmişlerdir (McHale vd. 2006).

Bitki hastalığına neden olan patojenlere karşı dayanıklı genetiği, birçok farklı tarım ürünü türünde kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Michekmore vd. 2013). Dayanıklı fenotipinin kalıtımına dayalı olarak dayanıklı genellikle ırk-spesifik olmayan dayanıklı ve ırk-spesifik dayanıklı olarak kategorize edilir. Irk-spesifik direnç, aynı zamanda R-geni dayanıklı veya monojenik dayanıklı olarak da bilinir, tipik olarak bir veya birkaç dayanıklı geni tarafından kontrol edilir. Bu tür dayanıklı, bir patojenin belirli strainlerine karşı oldukça etkili olabilirken, diğerlerine karşı daha az etkili veya etkisiz olabilir (Agrios 2005). Irk-spesifik olmayan direnç, aynı zamanda poligenik dayanıklı olarak da bilinir, bir patojenin tüm strainlerine karşı benzer seviyelerde etkilidir ve genellikle birden fazla dayanıklı geni tarafından kontrol edilir. Enfeksiyonu engellemek yerine, hastalık gelişimini ve yayılmasını yavaşlatır (Agrios 2005). Bu tür dayanıklı, genellikle ırk-spesifik dirençten daha kalıcıdır ve yeni patojen strainlerinin onu aşması zordur.

Marulda, 30'dan fazla Irk-spesifik olmayan dayanıklı lokusu bilinmektedir ve son birkaç yılda birkaç ana gen klonlanmış ve dizilenmiştir (Simko 2013), (Christopoulou vd. 2014). Marulun genom dizilemesi, Resistance Gene Candidates (RGC'ler) olarak bilinen NB-LRR proteinlerini kodlayan çok sayıda genin tanımlanmasına yol açmıştır (McHale vd. 2009). Bu RGC'ler, BYL gibi marul hastalıklarına karşı farklı tepkilerden sorumludur. Çoğu ana gen ve dayanıklı kantitatif özellik lokusu, RGC kümelerini içeren marul genomu bölgelerinde lokalizedir. Marulda, RGC'ler dizi benzerliğine dayanarak 20 aileye ayrılabilir. Bunlar arasında, RGC2 ailesi, kromozom 2'de yer alan ve birçok hastalığa karşı dayanıklı sağlayan 40'tan fazla üyeyi içeren en büyük ailelerden biridir (McHale 2006).

Hayes vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, La Brillante, Little Gem ve Pavane marul çeşitlerinde kromozom 2'de bulunan tek dominant bir gen olan *Xar1* tanımlanmıştır. Bu dayanıklı geninin, BYL'ye neden olan *X. campestris* pv. *vitians* strain 1 atrain karşı yüksek düzeyde dayanıklı sağladığı keşfedilmiştir. Sandoya vd. (2019) ayrıca marulda *X. campestris* pv. *vitians*'a karşı dayanıklı ile ilişkilendirilen *qXCR2.1* adlı quantitative trait locus (QTL) tanımlamıştır. Linkage grubu (LG) 2'deki bu ana QTL, *X. campestris* pv. *vitians*'ın farklı izolatlarına karşı dirençteki genotipik varyansın önemli bir kısmını açıklar. Araştırma, bu lokusu *qXCR2.1* olarak tanımlar ve bunun dayanıklı sağlama konusunda anahtar bir faktör olduğunu, ancak zayıf penetrans gösterdiğini ve etkinliğini ve *Xar1* ve *Xcvr* gibi diğer bilinen dayanıklı genleriyle ilişkisini doğrulamak için daha fazla doğrulama ve ince haritalama gerektirdiğini belirtir.

### 2.13. *Xanthomonas*'ta Bakıra Dayanıklılık Sistemleri

Bakteriyel hastalıklar, dünyanın dört bir yanındaki sebze yetiştiricilerinin karşılaştığı en ciddi zararlı sorunlarından biridir ve düşük verime ve hasat edilen ürünlerin pazar değerinde düşüşe neden olmaktadır. Dünya çapındaki sebze üreticileri, bakteriyel hastalıkların kontrolü için çoğunlukla bakır bileşiklerini kullanarak patojeninin tarlalarında yarattığı zararları azaltmaya çalışmaktadır. Bakır takviyeleri iyi sonuçlar veriyor olsa da, tarladaki etkinlik genellikle tatmin edici olmamıştır.

Bakır bileşiklerinin sürekli kullanımı, çoğu bakteriyel patojenin mutasyona uğramasına ve antibiyotiklere karşı dayanıklılık genleri geliştirmesine neden olmuştur. Richard vd. (2017), her strain için bir tek moleküllü gerçek zamanlı (SMRT) hücre kullanarak altı straini tamamen dizilemek için uzun okumalı PacBio RSII teknolojisini kullanmıştır. Bakır toleransına dahil olan bakterilerin genellikle *Xanthomonas* strain plazmidlerinde bulunduğunu keşfettiler. Bitki patojeni bakteriler tarafından karakterize edilen bakır dayanıklılık genlerinin çoğunun plazmid kaynaklı olduğu gösterilmiş olsa da, kromozomal bakır direnci genleri de tanımlanmıştır. *Xanthomonas* türlerinde bakıra bağlı kromozomal coxABCD sistemi ve konjugatif bir plazmid üzerinde taşınan plazmid kaynaklı copLAB sistemi olmak üzere iki farklı bakır dayanıklılık sistemi bulunmaktadır (Richard vd. 2017). *Xanthomonas* strainleri *Xanthomonas citri* subsp. *citri*, *Xanthomonas gardneri* ve *Xanthomonas euvesicatoria*'nın plazmidinde tespit edilen bir diğer dayanıklılık sistemi de *Stenotrophomonas* bakteri türü *maltophilia*'ninkine benzer olan cusAB/smmD sistemidir. *Xanthomonas* ve *Pseudomonas*'ın bakıra duyarlı strainlerinde kromozomal bakır dayanıklılık genlerinin varlığı nedeniyle plazmidlerde kodlanan cop genleri önemli bir etkiye sahiptir (Lim ve Cooksey 1993; Behlau vd. 2011). Doğal ortamlarda, bütünleştirici konjugatif elementler (ICE'ler) de *Xanthomonas*'ta bakır direnci genlerinin edinilmesini kolaylaştırabilir (Fan vd. 2022). Bakıra tolerat izolatları karşı bakır bileşiklerinin uygulanması, toprakta veya suda daha az birikmeleri ve yüksek antimikrobiyal etkinlikleri göz önüne alındığında, bakteriyel direnci potansiyel olarak azaltabilir. Kültürel uygulamaların hayata geçirilmesi ve biyopestisitlerin bakır bileşiklerine entegre edilmesi bakteriyel direnç olasılığını daha da azaltabilir (Fan vd. 2022).

Son zamanlarda yapılan çalışmalar, *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis*, *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* ve *Xanthomonas citri* subsp. *citri*'yi daha iyi anlamaya yönelik olup, plazmid kodlu genler veya kromozomal gen fonksiyonları yoluyla farklı türler ve strainler arasındaki bakır dayanıklılık sistemlerinin değişkenliğine odaklanmaktadır.

#### 2.14. *X. hortorum* pv. *vitians*'ın Bakıra Duyarlılığının Değerlendirilmesi

Yetiştiriciler genellikle kayıpları en aza indirmek için enfekte marullara bakır bileşiklerini püskürtmeyi tercih etmektedir. Farklı sebze ürünlerinde bakteri strainlerinin bakıra karşı dayanıklılık ve duyarlılıklarını değerlendirmek için yıllar boyunca birçok araştırmacı tarafından çeşitli agar ortamları ve laboratuvar protokolleri kullanılmıştır.

Pohronezny vd. (1992), *X. axonopodis* pv. *vesicatoria*'nın biber strainlerinin bakıra karşı dayanıklılığını incelemek için 200 µg/ml CuSO<sub>4</sub> -5H<sub>2</sub> O ile değiştirilmiş besi ortamları kullanmıştır. Bu yöntemi kullanarak, Florida'daki ticari biber tarlalarından toplanan 118 ırktan 114'ünün bakıra dayanıklı olduğunu keşfettiler.

Benzer bir yaklaşım Pernezny vd. (2008) tarafından *X. hortorum* pv. *vitians* strainlerinin bakır dayanıklılığını değerlendirmek için benimsenmiştir. Deneylerinde, 19 *Xanthomonas hortorum* pv. *vitians* straininin hiçbirini modifiye Casitone yeast Extract (CYE) agar ve her ikisi de CuSO<sub>4</sub> (aq) ile desteklenmiş Glukoz-Nutrient Agar (NA) üzerinde gelişme göstermemiştir.

#### 2.15. Patojen ve Hastalık Gelişme Süreci

*X. hortorum* pv. *vitians*'ın marul üzerinde nasıl davrandığına ilişkin bilgiler sınırlıdır. Marul yapraklarında *X. hortorum* pv. *vitians* bakteri popülasyonu, görsel olarak sadece birkaç yaprak lekesi görüldüğünde bile 10<sup>9</sup> ila 10<sup>12</sup> kob/g arasında değişebilir ve *X. hortorum* pv. *vitians*'ın yeni yapraklarda da bulunabileceğini öne sürmüştür, bu da eski yapraklardan kontaminasyonla olabilir (Şahin ve Miller, 1997).

Sıcak ve ıslak koşullar marulda BYL'nin büyümesi için elverişlidir. Bakteri sıçrayan yağmur ve yağmurlama sulama yoluyla yayılır. BYL marulu en verimli şekilde 73°F (23°C) sıcaklıkta enfekte eder, ancak serada yetiştirilen marullarda daha sıcak sıcaklıklarda da ortaya çıkabilir (Koike vd. 2018).

Erken aşamalarda bakteri, marul yaprağının yüzeyinde herhangi bir hasara neden olmadan veya semptom göstermeden bir epifit olarak yerleşir. Yapraktaki bakteri hücre sayısı belirli bir seviyeye ulaştığında, patojenik bir forma dönüşerek yaprağa nüfuz eder ve görünür semptomlara neden olur (Koike vd. 2018).

Marula ek olarak, *X. hortorum* pv. *vitians* biber ve domates gibi diğer ürünlerin yanı sıra dikenli marul ve ekin devedikeni gibi çeşitli yabancı ot türlerinde de epifit olarak varlığını sürdürebilir. Bununla birlikte, bu bitkilerin tarlalarda yetiştirilen marullarda BYL'nin hastalık döngüsünde bir inokulum kaynağı olarak hareket edip etmediği henüz belirlenmemiştir (Robinson vd. 2006).

#### 2.16. *X. hortorum* pv. *vitians*'ın Epidemiyolojisi

Patojenin epidemiyolojisinin ortaya çıkması, bulaşması, enfeksiyonu ve yayılmasında rol oynayan çeşitli faktörlerin tanımlanmasını ve incelenmesini içeren yavaş ve devam eden bir süreçtir. Harrison (1963), Umesh vd. (1996) tarafından yapılan çeşitli çalışmalarda bildirildiği üzere, şu anda patojenin tohumlar yoluyla bulaştığına inanılmaktadır. Bu çalışmalara rağmen, bakteriyi ticari tohumdan izole etmeye yönelik önceki girişimler başarısız olmuştur (Umesh vd. 1996; Barak vd. 2001). Bu tutarsızlık, kesin bulaşma şeklini ve patojenin gerçekten tohum kaynaklı olup olmadığını belirlemek için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini göstermektedir.

Patojen, bitki kalıntılarındaki birkaç ay boyunca canlı kalabilir ve bu da sonraki ürünler için bir inokulum kaynağı olarak hizmet edebilir (Barak vd. 2001). Bu hastalıklı bitki dokuları,

patojenin yeni alanlara yayılması veya diğer bitki türlerini enfekte etmesi için bir araç da sağlayabilir. Yabancı otlar da, filozof kolonisti olarak ya da belirli yabancı ot türlerinde patojen olarak hayatta kalma yetenekleri nedeniyle patojen için potansiyel bir kaynak olarak tanımlanmıştır (Şahin ve Miller 1997; Barak vd. 2001; Roberson vd. 2006). Bununla birlikte, patojenin konukçu aralığının Roberson vd. (2006) tarafından başlangıçta bildirilenden daha dar olması beklenmektedir. Bu da gerçek konukçu aralığını ve bunun hastalık yönetim stratejilerini nasıl etkileyebileceğini belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

BYL, ilk kez 1918 yılında Güney Carolina'da tanımlandığından bu yana çok sayıda ülkede rapor edilmiştir. Salgınların görüldüğü ülkeler arasında Avustralya (Brown 1918), Brezilya (Bradbury 1986), Fransa (Allex ve Rat 1990), Almanya (Brown 1918), Hindistan (Wallis ve Joubert 1972), İtalya (Zoina ve Volpe 1992), Japonya (Bradbury 1986), Güney Afrika (Wallis ve Joubert 1972), Türkiye (Şahin 2000), ABD (Pernezny vd. 1995), Venezuela (Daboin ve Tortolero 1993) ve Kanada (Toussaint 1998). Hastalık, ilk keşfinden bu yana dünyanın dört bir yanındaki marul tarlalarında da gözlemlenmiştir.



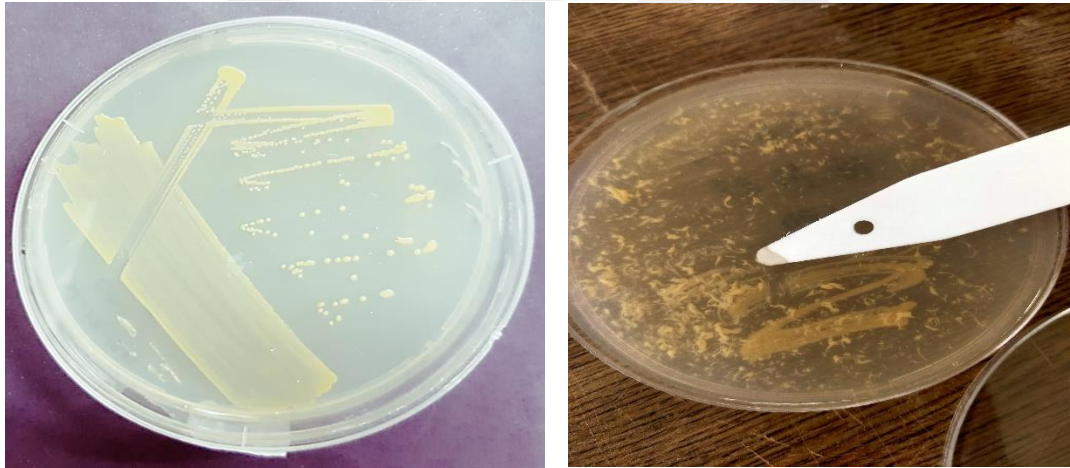
### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. İlk Bakteri strainin Hazırlanması

Basım vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, Antalya'da bir tarlada yetiştirilen marul fidelerinin bazı yapraklarında BYL gözlemlenmiş ve patojeni tanımlamak için PCR testleri yapılmıştır. "Cresidential" ve "Caipira" marul çeşitlerinden *HBXcv1*, *HBXcv2*, *HBXcv3*, *HBXcv4*, *HBXcv5*, *HBXcv6* ve *HBXcv7* olmak üzere yedi bakteri straini elde edilmiştir.

Bu araştırma öncesinde ve sonrasında yapılan diğer araştırmalar için en virülen bakteri straini olan *HBXcv1* bakteri straini Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Moleküler Bitki Bakteriyolojisi Laboratuvarı'nda -80°C optimum sıcaklıkta saklanmıştır. Patojenik yeteneğini test etmek için, bakteri straini üç haftalık üç farklı marul çeşidine bir hafta boyunca aşılanmış ve daha sonra ekstrakte edilerek %30'luk sulu gliserol içinde -80°C sıcaklıkta saklanmıştır. Üç hafta sonra, aynı işlem art arda ikinci kez tekrarlanmıştır. Bu iki ayrı durumda, inoküle edilen marul çeşitlerinin BYL lezyonlarının semptomlarını sergilediği gözlemlenmiştir.

İnokulumun hazırlanması Nicolas vd. (2018) çalışmasında tarif edilene benzer şekilde gerçekleştirilmiştir. Bakteriler -80°C'de %30 gliserol ve besin suyu çözeltisi (50:50 vol:vol) içinde muhafaza edilmiş ve 72 saat boyunca Nutrient Agar (NA) agar içinde 27°C'de geliştirilmiştir. İnkübasyon sonrası besi ortamı üzerinde gelişen bakteriler cam çubuk ile kazınmış ve fosfat tamponu içinde süspanse edilmiştir. Kültür, fosfat tamponu içinde mL başına  $10^8$  koloni oluşturan birim (kob) nihai konsantrasyonuna seyreltilmiştir.



**Şekil 3. 1.** *X. hortorum* pv. *vitians*'ın nutrient agar (Sol) üzerinde büyümesi ve marul bitkilerine uygulanmadan önce büyüyen bakteri kolonisinin seyreltilmesi (Sağ)

#### 3.2. Bitki Büyüme Süreci

Bu çalışmada toplam 8 farklı marul çeşidi kullanılmıştır: Carmesi RZ Lolo, Batraz, Melina, Cospirina, Presidential, Nun 06118, Boratal ve Green Moon (Çizelge 3. 1.). İki haftalık marul fideleri, Ankara'da fidecilik yapan Bey Fide firmasından temin edilmiş, yetiştirme substratı olarak torf perlit içeren 0,3 l'lik plastik saksılara ekilmiş ve tüm yetiştirme süreci Nicolas vd. (2019) tarafından tarif edilene benzer şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3. 2). Saksılar iki hafta boyunca 24°C/28°C (gece/gündüz) ve %70 bağıl neme sahip bir büyüme odasına yerleştirilmiş ve gündüzleri 16 saatlik bir fotoperiyot uygulanmıştır.

**Çizelge 3. 1.** *X. hortorum* pv. *vitians*'a karşı tepkilerini değerlendirmek için kullanılan farklı marul çeşitleri ve türleri

| Marul Tür       | Kıvırcık        | Romaine      | Aysberg    |
|-----------------|-----------------|--------------|------------|
|                 | Batraz          | Cospirina    | Green Moon |
| Marul Çeşitleri | Carmesi RZ Lolo | Nun 06118    |            |
|                 | Melina          | Presidential |            |
|                 |                 | Boratal      |            |



**Şekil 3. 2.** Ticari marul çeşitlerine ait marul fideleri

### 3.3. Marul İnokulasyon Metodu

Dört haftalık marul bitkileri, Bull vd. (2007) benzer bir yöntem kullanılarak *HBXcv1* straini ile enfekte edilmiştir. Bitki başına yaklaşık 1 ml inokulum uygulamak için basınçlı bir el püskürtücüsü kullanılmıştır. İkinci aşılama yöntemi, Hébert vd. (2021)' göre gerçekleştirilmiştir. *HBXcv1* bakteri süspansiyonlarını genç marul yapraklarının ön tarafına uygulamak için, çözelti yaklaşık 1,5 cm çapında 1 ml bakteri çözeltisi uygulamak için bir şırınga kullanılarak hassas bir şekilde uygulanmasını içerir. Hastalık gelişimini teşvik etmek için, aşılama işleminden 30 dk önce steril su kullanılarak 5 dk'lık üstten sulama yapılmıştır. Kontrol bitkilerine steril su püskürtülmüş ve tüm bitkiler bir gün boyunca ince plastik örtülerle kaplı bir büyüme odasında inkübe edilmiştir. İnokülasyona tabi tutulan bitkiler 10 günlük bir süre boyunca her gün sulanmıştır.

### 3.4. *X. hortorum* pv. *vitians*'a Karşı Marul Çeşitlerinin Dayanıklılıklarının Değerlendirilmesi

*X. hortorum* pv. *vitians* ile inoküle edilen marul çeşitlerinde hastalık şiddeti ve duyarlılığını değerlendirmek için, *HBXcv1* ile inoküle edilen 8 marul çeşidini bir el püskürtücüsü, bir şırınga ve steril su (kontrol) kullanarak düzenlemek için Complete Randomize Design (CRD) kullanılmıştır. İki yöntemin her biri 5 kez tekrarlanmış ve her bir tekerrür 8 marul çeşidi içermiştir. Deneme sırasında kullanılan toplam marul bitkisi sayısı 120 bitkidir (8 çeşit, 5 tekerrür ve 2 yöntem). Aşılamadan on gün sonra, BYL semptomları değerlendirilmiştir. Görsel analiz, kontrol

denemesindeki hiçbir bitkide lezyon görülmediğini göstermiştir. El püskürtücüsü ile aşılama yapılan bitkilerde, lezyonlar dört yaprak üzerinde sayılmış ve ölçülmüş ve veriler semptomatik yaprak başına kaydedilmiştir. Hastalık şiddeti, her bitkinin en çok etkilenen dört yaprağı üzerinde değerlendirilmiş ve puanlar, tek tek lezyonların ve birleşik tek tek lezyonların bir sonucu olarak oluşan yamaların sayısına göre belirlenmiştir. Skala değerleri 0 ile 4 arasında bir ölçeğe verilmiştir. 0 = bitkinin yapraklarında bakteriyel yaprak lekesi lezyonu yok, 1 = 1 ile 10 lezyon arasında değişen birkaç ayrı bakteriyel yaprak lekesi lezyonu olan bitki, 2 = 11 ile 20 lezyon arasında çok sayıda lezyonu olan bitki, 3 = 21 ile 100 bireysel lezyonu ve küçük birleşik lezyon yamaları olan bitki, ve 4 = 100'den fazla bireysel lezyonu ve küçük birleşik lezyon yamaları olan bitki. Bu değerlendirme süreci Bull ve Koike (2005), Hébert vd. (2021) tarafından tanımlanan yöntemle göre bazı değişikliklerle gerçekleştirilmiştir. İğneli şırınga kullanılarak inokülasyona tabi tutulan bitkiler görsel analize tabi tutulmuş veya görünür semptomlu bitkiler ya da aşırı duyarlı veya semptomsuz bitkiler olarak etiketlenmiştir. Değerlendirme, bitkileri duyarlı davranışlarına göre kategorize ederek bakteriyel patojen ile etkileşimleri hakkında değerli bilgiler sağlamıştır.

### 3.5. *X. hortorum* pv. *vitiains*'ın Bakıra Duyarlılığının Belirlenmesi

*HBXcv1* straini laboratuvarında -80 °C'de steril %15 gliserol solüsyonu içinde uzun süreli depolamada tutulmuştur. Bakteri strainin farklı konsantrasyonlarda bakır ilaveli ve ilavesiz gelişimini karşılaştırmak için 4 g Nutrient agar, 11 g bakteriyolojik agar ve 0.5 L H<sub>2</sub>O ile 0.85 g casitone, 0.1 g yeast ekstraktı, 1 g glukoz ve 11 g bakteriyolojik agar ve 0,5 l steril sudan oluşan Casitone yeast ekstraktı kullanılmıştır. Uygun konsantrasyonlarda 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm bakır sülfat kullanılmış ve her bir besiyeri 121 °C'de 2 saat süreyle otoklavlanmış ve 55 °C'de 1 saat süreyle soğutulmuştur. *HBXcv1* bakıra karşı duyarlılık açısından test edilmiştir. Armut ateş yanıklığı hastalığına neden olan ve bakır sülfata karşı bilinen duyarlılığı nedeniyle kontrol görevi gören *Erwinia amylovora* (*Ea2*), duyarlılık oranını *HBXcv1* straini ile karşılaştırmak için deney sırasında test edilmiştir. Araştırma sekiz uygulamadan oluşmuştur: NA, NA+ 50ppm CuSO<sub>4</sub>, NA+ 100ppm CuSO<sub>4</sub>, NA+ 200 ppm CuSO<sub>4</sub>, CYEA, CYEA+ 50ppm CuSO<sub>4</sub>, CYEA+ 100ppm CuSO<sub>4</sub> ve CYEA+ 200ppm CuSO<sub>4</sub>. Her besin ortam iki kez çoğaltılmıştır.

Besiyeri iki eşdeğer parçaya bölünmüş ve hem *HBXcv1* hem de *Ea2* besi ortamının yarısına S-deseninde inokule edilmiş ve 72 saat boyunca 27 °C'de inkübe edilmiştir (Pernezny vd. (2008). *HBXcv1* strainin bakır içeren besiyerindeki büyümesini belirlemek için görsel bir değerlendirme yapılmış ve bakır eklenmemiş kontrol petrilerindeki bakteriyel gelişme miktarı ve bakıra duyarlı *E. amylovora* strainin gelişmesi ile karşılaştırılarak 0 = Görünür gelişme yok (Hassas), 1 = Çok az gelişme, 2 = Orta derecede gelişme ve 3 = Fazla gelişme (Dayanıklı) olmak üzere 0-3 arasında bir skala kullanılarak değerlendirilmiştir.

### 3.6. Veri Analizi

Çalışmanın hastalık şiddeti verilerini analiz etmek için SAS (İstatistiksel Analiz Sistemi) kullanılmıştır. SAS, yukarıda açıklanan hastalık insidans ölçeği kullanılarak tüm marul çeşitleri arasında kaydedilen BYL hastalık yoğunluğu sistematik ve kapsamlı bir şekilde incelenmesine olanak sağlamıştır. Yazılım, çeşitli marul çeşitleri ve uygulamaları arasındaki hastalık insidansındaki farklılıkların önemini değerlendirmek P<0.05 düzeyinde için Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ve Analysis of Variance (ANOVA) dahil olmak üzere istatistiksel analizler gerçekleştirdi. SAS istatistiksel özetler oluşturur, p-değerlerini hesaplar ve post-hoc testleri gerçekleştirir ve sonuçta farklı marul çeşitlerinin *X. hortorum* pv. *vitiains* enfeksiyonuna tepkilerindeki belirli farklılıkları tanımlar ve bu da farklı marul çeşitlerinin tepkileri hakkında değerli bilgiler sağlar.

Şırınga kullanılarak inokülasyona tabi tutulan bitkiler görsel analize tabi tutulmuş ve gözle görülür simptomatik bitkiler veya aşırı duyarlı ya da simptom göstermeyen bitkiler olarak etiketlenmiştir.



#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmanın ilk bölümünde, Carmesi RZ Lolo, Batraz, Melina, Cospirina, Presidential, Nun 06118, Boratal ve Green Moon olmak üzere sekiz marul çeşidi, bakteriyel yaprak lekesi hastalığına neden olan *X. hortorum* pv. *vitians*'a karşı reaksiyonları açısından test edilmiştir. Bir el püskürtücüsü kullanılarak bakteriyel patojenle aşılandıktan 10 gün sonra sekiz çeşidin ortalama yüzde hastalık oranları hesaplanmış, karşılaştırılmış ve her bir çeşidin kendine özgü değeriyle gösterilmiştir (Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3) ve (Şekil 4.1).

Şırınga kullanılarak aşılandıktan sonra aynı bakteriyel patojene karşı dayanıklılık reaksiyonları açısından beş tek tip uygulamayla test edilen marul çeşitleri görsel analize tabi tutulmuştur. Her bir bitkinin hastalık skala değerleri hesaplanmış ve sonuç ya gözle görülür simptomatik bitkiler ya da aşırı duyarlı veya simptomsuz bitkiler olarak gösterilmiştir (Çizelge 4.1).

*X. hortorum* pv. *vitians*'ın bakıra duyarlılığını araştırmayı amaçlayan araştırmanın ikinci bölümünde, hem *HBXcv1* hem ateş yanıklığı hastalık etmeni *Erwinia amylovora*, bakıra duyarlılık açısından test edilmiştir. *Erwinia amylovora*, bakır sülfata olan duyarlılığı nedeniyle kontrol olarak kullanılmıştır. Nutrient Agar ve Casitone Yeast Extract Agar, bakteri strainlerinin bakır içeren ve içermeyen besi ortamlarında gelişmesini karşılaştırmak için kullanılmıştır.

**Çizelge 4. 1.** Sekiz Marul Çeşidinin BYL'ye Karşı Tepkisi için Varyans Analiz Tablosu

| Varyasyon kaynağı   | df  | Kareler Toplamı | Etkilenen yapraklar | F. value | P. value |
|---------------------|-----|-----------------|---------------------|----------|----------|
| Model               | 39  | 1387512.100     | 35577.23***         | 26.40    | <0.0001  |
| Çeşitlilik*Tekerrür | 39  | 470626.6125     | 16808.0933`         | 12.47    | <0.0001  |
| Tekerrür            | 4   | 36597.2875      | 9149.32***          | 6.79     | <0.0001  |
| Çeşit               | 7   | 880288.2000     | 125755.46***        | 93.33    | <0.0001  |
| Hata                | 120 | 161691.000      | 1347.43             | -        | -        |
| Düzeltilmiş Toplamı | 159 | 1549203.100     |                     |          |          |
| R <sup>2</sup>      | -   |                 | 0.90                | -        | -        |

Not: Tablodaki değerler ortalama kareler olarak gösterilmiştir. \*, \*\*, \*\*\* sırasıyla ( $p \leq 0.05$ ); ( $p \leq 0.01$ ), ( $p \leq 0.001$ ) düzeyinde anlamlıdır. R<sup>2</sup> : R-square

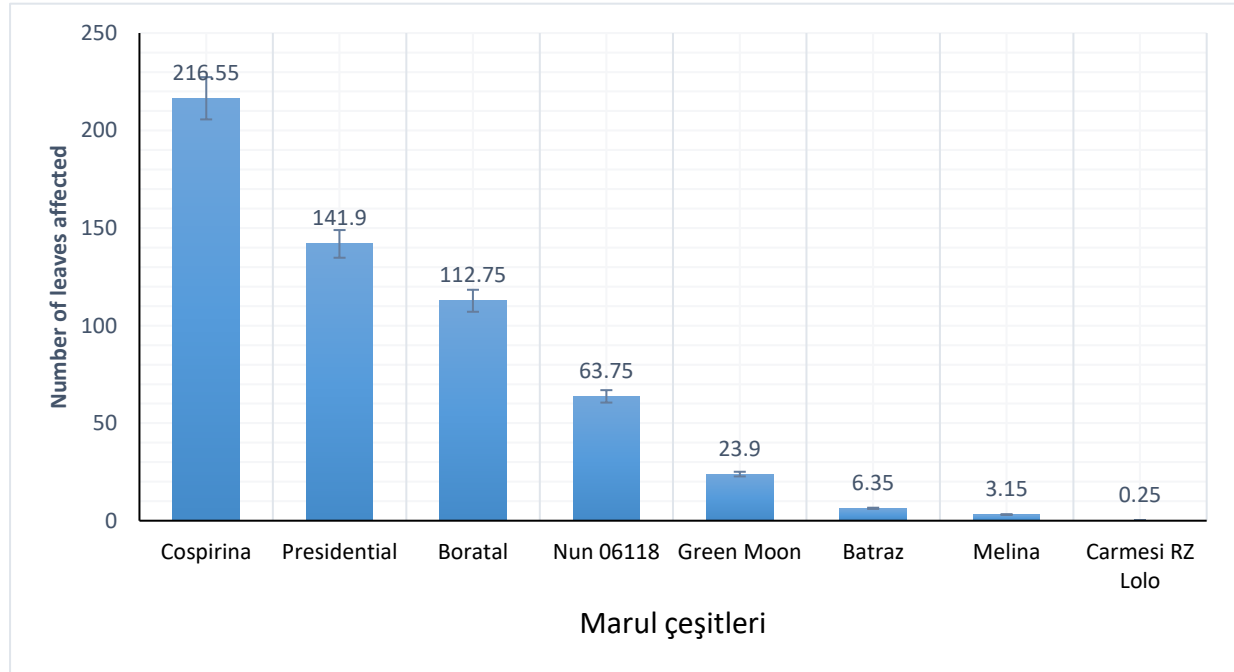
**Çizelge 4. 2.** El Püskürtücüsü Kullanılarak Aşılanan Marul Çeşitleri için Duncan's Multiple Range Test (DMRT) Kullanılarak Ortalama Ayırımı

| Çeşitler     | Lezyon Sayısı       |
|--------------|---------------------|
| Cospirina    | 216.55 <sup>a</sup> |
| Presidential | 141.90 <sup>b</sup> |
| Boratal      | 112.75 <sup>c</sup> |
| Nun          | 63.75 <sup>d</sup>  |
| Green Moon   | 23.90 <sup>e</sup>  |
| Batraz       | 6.35 <sup>e</sup>   |
| Melina       | 3.15 <sup>e</sup>   |

Carmesi RZ Lolo

0.25<sup>e</sup>

Aynı sütunda aynı harf(ler)i takip eden ortalamalar, Duncan's Multiple Range Test (DMRT) kullanılarak %5 anlamlılık düzeyinde önemli ölçüde farklı değildir



**Şekil 4. 1.** Sekiz marul çeşidinin BYL'ye karşı tepkisi için ortalama ayrımı

Ortalama karşılaştırması için Duncan's Multiple Range Test (DMRT) kullanıldığında, sonuçlar Cospirina, Presidential, Boratal ve Nun çeşitlerinin sırasıyla %38,08, %24,96, %19,83 ve %11,21 oranında önemli ölçüde etkilendiğini, Green Moon, Batraz, Melina ve Carmesi RZ Lolo çeşitlerinin ise sırasıyla %4,20, %1,12, %0,55 ve %0,04 oranında etkilendiğini ve BYL'nin etkisinden önemli ölçüde etkilenmediğini göstermiştir. Bu durum Cospirina, Presidential, Boratal ve Nun çeşitlerinin BYL'ye karşı hassas olduğunu, Green Moon, Batraz, Melina ve Carmesi RZ Lolo çeşitlerinin ise BYL'ye karşı nispeten toleranslı olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4. 3.** Hastalık Şiddeti Skalası

|                     | <b>T1</b> | <b>T2</b> | <b>T3</b> | <b>T4</b> | <b>T5</b> |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Carmesi RZ</b>   |           |           |           |           |           |
| <b>Lolo</b>         | 0         | 1         | 1         | 0         | 0         |
| <b>Melina</b>       | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         |
| <b>Batraz</b>       | 1         | 1         | 1         | 2         | 1         |
| <b>Cospirina</b>    | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         |
| <b>Presidential</b> | 4         | 3         | 4         | 4         | 4         |
| <b>Boratal</b>      | 2         | 4         | 4         | 3         | 4         |
| <b>Nun 06118</b>    | 4         | 4         | 4         | 3         | 3         |
| <b>Green Moon</b>   | 3         | 2         | 3         | 3         | 3         |

T=Tekerrür

0 = lezyon yok; 1 = 1 ila 10 lezyon; 2 = 11 ila 20 lezyon; 3 = 21 ila 100 lezyon ve kombine lezyonlardan oluşan küçük yamalar; 4 = 100'den fazla lezyon ve birleşik lezyonların küçük yamaları

Cospirina ve Presidential çeşitleri, test edildikleri denemelerde sürekli olarak en yüksek hastalık şiddetine sahip olmuştur (Çizelge 4.2 ve 4.3). Karşılaştırıldıkları beşinci tekerrürde, Cospirina ve Presidential için hastalık şiddeti seviyeleri, araştırmacı tarafından kullanılan ölçüm ölçeğine göre birbirinden farklı olmamıştır (Çizelge 3. 1. 4.3), ancak Presidential ikinci tekerrürde biraz farklılık göstermiştir. Boratal ve Nun 06118 de BYL hastalığına karşı oldukça duyarlı bulunurken ve Cospirina ve Presidential ile aynı skala değeri almıştır ( $P < 0.05$ ) (Tablo 4.1).

Carmesi RZ Lolo çeşidi, %5 anlamlılık düzeyinde 0,25<sup>e</sup> DMRT ortalaması ile deneme sırasında en toleranslı çeşit olmuştur. (Çizelge 4.2). Denemelerden elde edilen veriler bir havuzda toplandığında, Carmesi RZ Lolo için %5 önem düzeyinde hastalık görülme sıklığı ve şiddeti derecesi diğer tüm çeşitlerden önemli ölçüde düşük bulunmuş ve hastalık şiddeti tüm çeşitlerin seviyelerinden önemli ölçüde daha düşük saptanmıştır. Carmesi RZ Lolo çeşidini takiben, aynı çeşit gruplarından (Kıvırcık Marul) olan Melina ve Batraz'ın her ikisi de Carmesi RZ Lolo'den önemli ölçüde farklı olmayan BYL'ye karşı dayanıklılık reaksiyonları göstermiştir. Duncan'ın Multiple Range Test analizinde, Carmesi RZ Lolo, Batraz ve Melina %5 önem seviyesinde önemli bir farklılık göstermemiştir. Green Moon, BYL'ye ne çok duyarlı ne de tolerat olan bir çeşit olarak nispeten düşük hastalık insidansına sahiptir (Şekil 4.1).

Test edilen tüm çeşitlerin göreceli duyarlılığı deneyler arasında bir miktar değişiklik göstermiştir, ancak hepsi tutarlı bir şekilde en duyarlı (Cospirina ve Presidential ve Nun 06118) ve en az duyarlı çeşitler (sırasıyla Melina, Batraz ve Green Moon) ile tolerat çeşit (Carmesi RZ Lolo) arasında yer almıştır (Şekil 4. 2).



**Şekil 4. 2.** İnokulasyonda sırasıyla Carmesi RZ Lolo, Melina, Batraz, Green Moon (Sol üstten sağ alta), Nun 06118, Boratal, Presidential ve Cospirina marul çeşitlerine, el püskürtücüsü kullanılarak yapılan inoculazyondan 10 gün sonra BYL belirtileri

Marul bitkilerine bir şırınga kullanılarak enjekte edilen *HBXcv1* bakteri straini, inokulasyondan 10 gün sonra bazı çeşitlerde sarı bir haleyle çevrili koyu kahverengi lezyonlara neden olmuştur. Diğer çeşitler aşırı duyarlı reaksiyonlar gösterirken, çeşitler bakteriyel patojenin etkisini ortadan kaldırmıştır. Bakteriyel patojenin etkisine yenik düşen simptomatik yapraklar bitkilerden kesilmiştir ve daha ileri değerlendirme için laboratuvara aktarılmıştır. Çoğaltma 1, 3, 4 ve 5'teki Carmesi RZ Lolo marul çeşitlerinin (çizelge 4.4) *HBXcv1* strainin etkisine tamamen toleranslı olduğu ve bakteriyel patojenle infiltrasyondan 10 gün sonra hiçbir fiziksel hasar göstermediği, tekrerr 2'deki bitkilerde ise enjekte edilen yapraklarda minimum koyu kahverengi leke görüldüğü gözlemlenmiştir (Şekil 4.3). *HBXcv1*, Cospirina, Nun 06118 ve Presidential üzerinde diğer tüm çeşitlerden daha agresiftir. Ortalama olarak, *HBXcv1* straini Green Moon ve Batraz çeşitlerinde orta düzeyde bir reaksiyon göstermiştir.

**Çizelge 4. 4.** Şırınga kullanılarak *X. hortorum* pv. *vitians* ile inokülasyondan 10 gün sonra BYL popülasyonunun nekroz skala değerleri

| Marul Çeşitleri        | BYL'nin Nekroz Skala Değerleri |    |    |    |    |
|------------------------|--------------------------------|----|----|----|----|
|                        | T1                             | T2 | T3 | T4 | T5 |
| <b>Carmesi RZ Lolo</b> | -                              | +  | -  |    | -  |
| <b>Batrax</b>          | +                              | +  | -  | -  | +  |
| <b>Melina</b>          | -                              | -  | +  | -  | -  |
| <b>Cospirina</b>       | +                              | +  | +  | +  | +  |
| <b>Presidential</b>    | +                              | +  | -  | +  | +  |
| <b>Boratal</b>         | +                              | +  | -  | +  | +  |
| <b>Nun 06118</b>       | +                              | +  | +  | +  | +  |
| <b>Green Moon</b>      | -                              | +  | +  | +  | -  |

T=Tekerrür

(+) görünür belirtiler; (-) HR veya belirtiler yokluğu



**Şekil 4. 3.** *HBXcv1* süspansiyonu ile aşılamadan 10 gün sonra Presidential (Birinci), Nun 06118 (İkinci), Cospirina (Orta sağ) ve Boratal (En sağ) üzerinde BYL'nin görünür belirtileri

**Çizelge 4. 5.** *Ea2* ve *HBXcv1* strainlerinin Bakıra karşı reaksiyonları

| Patojen       | Konukçu | Besi Ortamı                         | Duyarlılık Skalası |
|---------------|---------|-------------------------------------|--------------------|
|               |         | NA                                  | 3                  |
|               |         | NA+50 ppm CuSO <sub>4</sub>         | 3                  |
|               |         | NA+100 ppm CuSO <sub>4</sub>        | 2                  |
|               |         | NA+200 ppm CuSO <sub>4</sub>        | 1                  |
| <i>HBXcv1</i> | Marul   | CYE agar                            | 3                  |
|               |         | CYE Agar+50 ppm CuSO <sub>4</sub>   | 3                  |
|               |         | CYE agar +100 ppm CuSO <sub>4</sub> | 0                  |
|               |         | CYE agar +200 ppm CuSO <sub>4</sub> | 0                  |
|               |         | NA                                  | 3                  |
|               |         | NA+50ppm CuSO <sub>4</sub>          | 3                  |
|               |         | NA+100ppm CuSO <sub>4</sub>         | 1                  |
|               |         | NA+200ppm CuSO <sub>4</sub>         | 1                  |
| <i>Ea2</i>    | Armut   | CYE agar                            | 3                  |
|               |         | CYE agar+50ppm CuSO <sub>4</sub>    | 1                  |
|               |         | CYE agar+100ppm CuSO <sub>4</sub>   | 0                  |
|               |         | CYE agar+200ppm CuSO <sub>4</sub>   | 0                  |

0: Görünür gelişme yok /Hassas

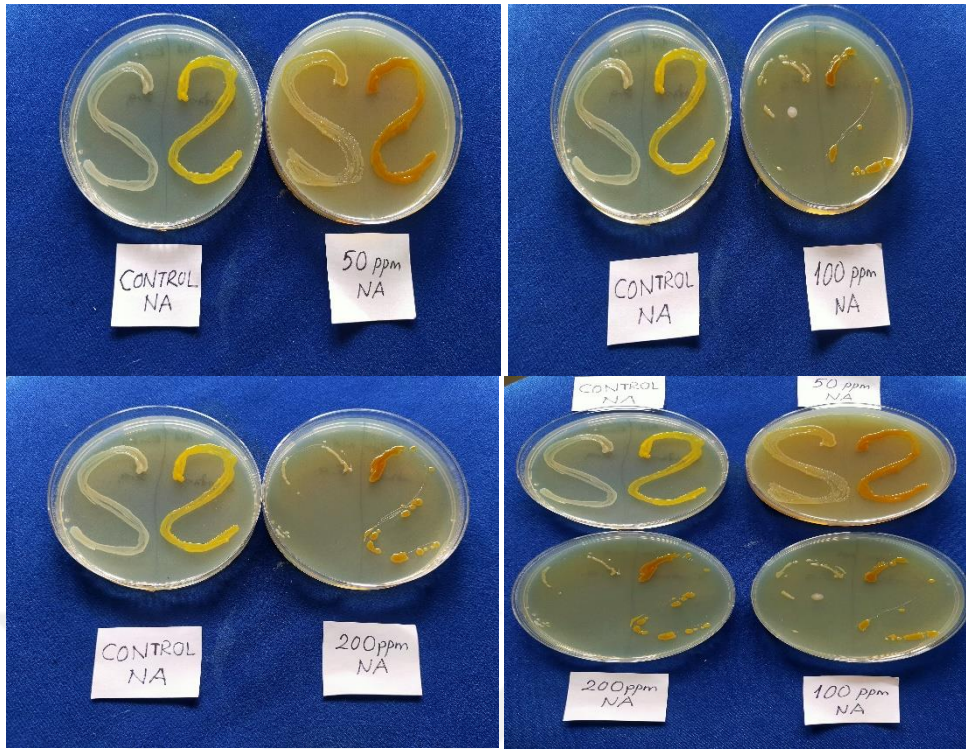
1: Çok az gelişme

2: Orta düzeyde gelişme

3: Yeterli gelişme/ Dayanıklı

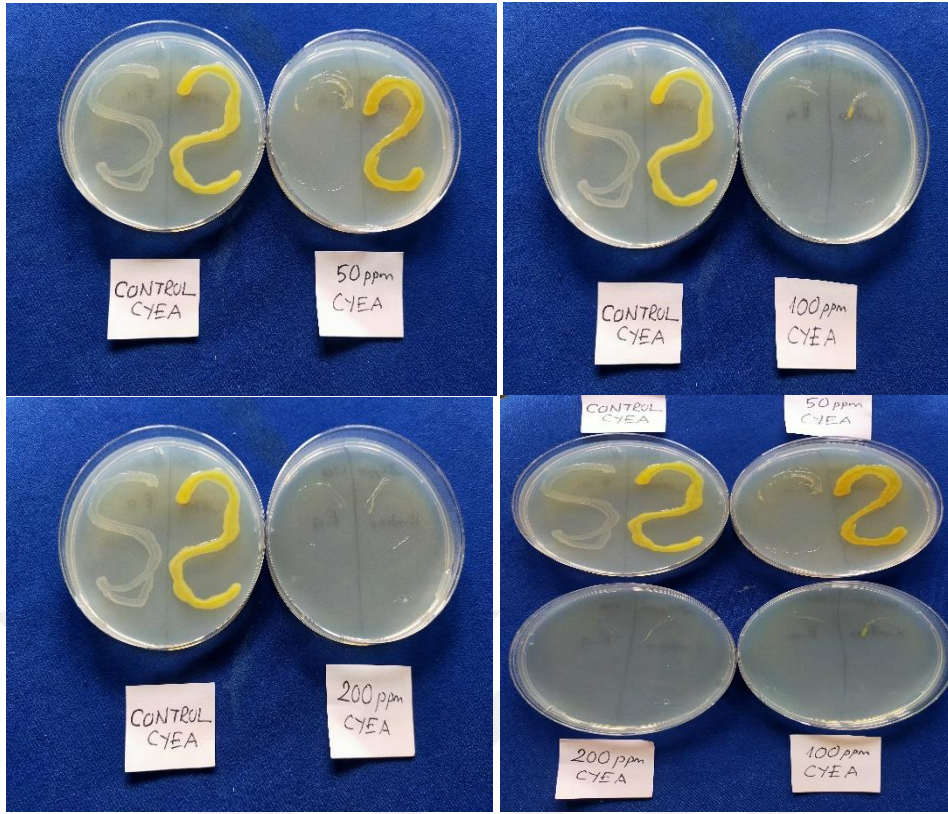
*Xanthomonas* bakteri straini popülasyonlarının CuSO<sub>4</sub> içeren NA'ya uygulanması, CuSO<sub>4</sub> içeren CYE'ye kıyasla bakıra dayanıklılık genin bir sonucu olarak patojen insidansının yaygın gelişmesini destekleme eğilimindedir (Pernezny vd. 2008). Hem *HBXcv1* hem de *Ea2* iki kez çoğaltılmış ve iki gün sonra gözle görülür tepki göstermeye başlamıştır ve üç gün sonra toplanan veriler bakteri patojenlerinin hem NA kontrol ortamında hem de CYE agarda (bakır takviyesi olmadan) gelişebildiğini göstermiştir. Hem NA hem de NA +50ppm üzerine inokule edilen *HBXcv1* bol miktarda çoğalma göstermiş (3) ve CuSO<sub>4</sub>'a dayanıklı olarak değerlendirilirken, NA + 100ppm ve NA + 200ppm üzerine inokule edilen *HBXcv1* değerlendirme skalasına göre sırasıyla 2 ve 1 minimum çoğalma göstermiş ve her iki strainin da besiyerine duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

*HBXcv1* strainin CuSO<sub>4</sub> içeren CYE agar üzerindeki sonuçları 50 ppm seviyesinde dirençli, 100 ppm ve 200 ppm seviyelerinde ise hassas olup sırasıyla 3, 0 ve 0 puan almıştır. Bu bulgu, CYE agarın *HBXcv1* gelişmesi için uygun bir ortam sağlamasına rağmen, CuSO<sub>4</sub> konsantrasyonlarının *HBXcv1* için ortamda daha fazla hücre ölümü meydana geldiğini göstermektedir.



**Şekil 4. 4.** *HBXcv1* ve *Ea2* strainlerinin farklı bakır takviyeleri ile değiştirilmiş NA'ya reaksiyonu

*Xanthomonas* türlerinde bakıra dayanıklılığa yönelik genetik mekanizmaların varlığı, bu türlerin zorlu çevresel koşullara olağanüstü uyum ve dayanıklılık gösterdiğinin altını çizmektedir. Bazı *Xanthomonas* strainleri bakır ile değiştirilmiş NA üzerinde gelişme gösterirken, diğerleri ilgili spesifik genler ve proteinler nedeniyle tamamen engellenmiştir (Strayer-Scherer vd. 2018). Şekil 4.5'te *HBXcv1* straini, sade NA ve 50 ppm seviyesine kıyasla sırasıyla 100 ppm ve 200 ppm seviyelerinde  $\text{CuSO}_4$  içeren NA üzerinde koloni sayısında önemli bir azalma sergilemiştir (Cooksey 1994). Görsel inceleme, bakır sülfat içermeyen NA'nın hem *HBXcv1* hem de *Ea2* strainlerinin yeterli gelişmesini kolaylaştırdığını ve bunun da sadece NA'ya dayanıklı olmalarıyla sonuçlandığını ortaya koymaktadır. Buna karşılık, değerlendirme, 200 ppm  $\text{CuSO}_4$  daha yüksek bir konsantrasyonunun dahil edilmesinin, besi ortamında bakteri strainin bakıra dayanıklı geninden daha fazla sayıda  $\text{CuSO}_4$  molekülünün bulunduğu bir ortam yarattığını göstermektedir. Bu antibakteriyel ortam hem *HBXcv1* hem de *Ea2* strainlerinin gelişimini engellemiş ve sonuç olarak onları besiyerine karşı duyarlı hale getirmiştir. Bu, NA'nın bakteri gelişmesi için uygun bir ortam sağlamasına rağmen, çeşitli bakır konsantrasyonlarının *HBXcv1* straini gelişmesi için gerekli hücresel süreçleri bozduğunu göstermektedir. Bu bulgu, bakırın *X. hortorum* pv. *vitians* enfeksiyonlarına karşı bir kontrol önlemi olarak potansiyelini vurgulamaktadır.



**Şekil 4.5.** *HBXcv1* ve *Ea2* strainlerinin farklı bakır takviyeleri ile zenginleştirilmiş CYE agara reaksiyonu

Bakteri strainlerin taranması için protokol, ortam ve özellikle kültür ortamının seçimi, strain bakıra dayanıklı veya bakıra duyarlı olarak sınıflandırılmasına ilişkin araştırma sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebilir. Bu çalışmadaki *HBXcv1* ve *Ea2* strainleri 50 ppm  $\text{CuSO}_4$  içeren NA kullanıldığında dayanıklı, 100 ppm ve 200 ppm içeren CYE kullanıldığında ise hassas çıkmıştır. Bu durum, her iki strainin de iki tür ortamda bulunan bakıra karşı farklı tepkiler gösterdiğini ve bakır sülfat konsantrasyonu arttığında daha duyarlı hale geldiklerini açıkça ortaya koymaktadır. Birçok çalışma, çok sayıda *Xanthomonas* strainin bakır eklenmiş NA üzerinde geliştirildiğinde dayanıklı, bakır eklenmiş CYE üzerinde yetiştirildiğinde ise hassas olma eğiliminde olduğunu ortaya koymuştur (Pernezny vd. 2008; Griffin vd. 2017). Bu nedenle, strainlerinin bakır dayanıklılığına göre ilk kategorizasyonu, bakır sülfat takviyesi ile temel ortam olarak NA kullanıldığında daha doğru bir şekilde belirlenir. Bununla birlikte, herhangi bir sonuca varılmadan önce her iki cinsten daha geniş bir strain yelpazesi üzerinde daha fazla test yapılması gerekmektedir.

## 5. SONUÇ

Bitki bakteri patojeni *X. hortorum* pv. *vitians*'ın neden olduğu bakteriyel yaprak lekesi, marul yetiştiricileri için yıllar boyunca hasat sonrası kayıplara ve ticari marulun piyasa değerinde düşüşe neden olan bir küresel sorun haline gelmiştir. Araştırmacılar ve yetiştiriciler tarafından hastalığın yönetimine yönelik en etkili yaklaşım, hastalığa karşı dayanıklı çeşitlerin kullanılmasıdır. Kimyasal mücadele önlemlerinin kullanımı birçok ülkede sınırlıdır ve hastalığın öngörülemez doğası, BYL hastalığı salgınları üzerinde tam kontrol sağlamayı zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada sekiz marul çeşidinin *X. hortorum* pv. *vitians*'a karşı tepkileri değerlendirildiğinde, tipik olarak Romaine marul alt grubuyla ilişkilendirilen Cospirina, Presidential, Boratal ve Nun çeşitlerinin patojene karşı duyarlılık sergilediği görülmüştür. "Little Gem" marul çeşidiyle yakından ilişkili olan Batraz, Melina ve Carmesi RZ Lolo, (Bull vd. 2015), en düşük hastalık şiddetini göstermiştir, en toleran çeşitler olarak ortaya çıkmış ve hastalık yüzdesi ve şiddetinde diğerlerinden önemli ölçüde daha iyi performans göstermiştir. Bu durum, *X. hortorum* pv. *vitians* patojeni tarafından neden olunan enfeksiyonlara karşı dayanıklılık kazanmalarını düzenleyen doğuştan gelen genetik savunma mekanizmalarıyla ilişkili olabilir. Son birkaç yıl içinde, La Brillante, Little Gem ve Pavane gibi bazı kıvrıkcık marul çeşitlerinde, özellikle kromozom 2'de bulunan *Xar1*, *Xcr* ve *qXCR2.1* gibi çeşitli poligenik dayanıklılık genleri keşfedilmiştir (Sandoya vd. 2019; Hayes vd. 2014). Bu dayanıklılık genlerinin, BYL'ye neden olan *Xhv* strain 1 (*HBXcv1*'in türediği)' e karşı yüksek düzeyde dayanıklılık sağladığı bulunmuştur. Ayrıca, marulun genomik dizilimi, RGC'ler olarak bilinen NB-LRR proteinlerini kodlayan çok sayıda genin tanımlanmasına yol açmıştır (McHale vd. 2009). Bu RGC'ler, BYL ve marul mildiyö hastalığı gibi farklı marul hastalıklarına karşı farklı tepkilerden sorumludur. Simptomatolojik gözlemler, çeşitlerin bakteriyel inokülasyona farklı tepkiler verdiğini göstermiş, bazıları koyu kahverengi lezyonlar sergilerken diğerleri aşırı duyarlı tepkiler veya patojene karşı dayanıklılık sergilemiştir.

*X. hortorum* pv. *vitians*'ın bakır sülfata karşı duyarlılığının araştırılması, BYL için potansiyel mücadele önlemleri konusunda değerli bilgiler sağlamıştır. Sonuçlar, bakteri strainlerinin gelişmesinin kullanılan ortama ve bakır konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Tarım geliştikçe, kimyasal pestisitlerin kullanımı bazı ülkelerde kısıtlanmakta veya yasaklanmakta, daha da önemlisi, bazı hastalık etmenleri kimyasal bileşiklere karşı dayanıklılığını adapte etmeye devam etmektedir. Bakteriler, hayatta kalmalarına tehdit oluşturan antibiyotik bileşiklerin varlığı da dahil olmak üzere çeşitli çevresel zorluklara etkili bir şekilde yanıt vermelerini sağlayan dikkate değer bir genetik uyum yeteneği sergilerler. Antibiyotiklere uyum sağlamak için iki ana genetik strateji kullanılır: i) genlerdeki mutasyonlar ve ii) Horizontal Gene Transfer (HGT) yoluyla dayanıklılık belirleyicilerini kodlayan yabancı DNA'nın edinilmesi (Munita ve Arias 2016). Buna göre bu araştırmanın sonucu, *X. hortorum* pv. *vitians* straininin daha az bakır sülfat konsantrasyonunda bakır dayanıklılığı göstermesi ve daha yüksek bakır uyumunda hassas olması, bakteriyel adaptasyonun karmaşıklığını, bakteri dayanıklılığı ve duyarlılığının altında yatan faktörler olarak genetik mekanizmaları anlamının önemini vurgulamaktadır. Kültür besi ortamı, protokol ve çevre seçimi de strainlerin bakıra dayanıklı veya hassas olarak sınıflandırılmasını önemli ölçüde etkileyebilir ve gelecekteki araştırma çabalarında standartlaştırılmış protokollere duyulan ihtiyacı vurgulayabilir.

Bu tez, marul çeşitlerinin BYL'ye tepkilerinin ve *X. hortorum* pv. *vitians* enfeksiyonlarına karşı bir mücadele önlemi olarak bakırın potansiyel etkinliğinin anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Çeşitlerin ve bakteri strainlerinin hem patojen inokülasyonuna hem de bakır takviyesine verdikleri farklı tepkileri açıklığa kavuşturmuştur. Araştırma sonuçları, marul hastalık yönetimi stratejileri ve çeşit ıslahı programlarında daha fazla çalışmaya zemin hazırlamaktadır. İleriye dönük olarak, bu alanda devam eden araştırma çabaları, BYL'nin marul üretimi üzerindeki

etkisini azaltmak için sadece Türkiye'de değil, tüm dünyada ve özellikle Liberya'da sürdürülebilir uygulamaların geliştirilmesinde etkili olacaktır.



## 6. KAYNAKÇA

- Agrios, G. N. (2005). Plant pathology 5th edition: Elsevier academic press. *Burlington, Ma. USA*, 79-103.
- Allex, D. & Rat, B. (1990). Les bactérioses des salades: Un problème omniprésent. *PHM Revue Horticole*. 310, 45–50.
- Al-Saleh M. & Ibrahim Y. (2009). First Report of Bacterial Leaf Spot of Lettuce (*Lactuca sativa*) Caused by *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* in Saudi Arabia. *Plant disease: An International Journal of Applied Plant Pathology* ISSN: 0191-2917. 93(1), 107-107.
- Barak, J. D., Koike, S. T., & Gilbertson, R. L. (2001). The role of crop debris and weeds in the epidemiology of Bacterial Leaf Spot of lettuce in California. *Plant Dis.* 85:169-178.
- Bari, R., & Jones, J. D. (2009). Role of Plant Hormones in Plant Defense Responses. *Plant molecular biology*, 69, 473-488. doi: 10.1007/s11103-008-9435-0.
- Basım, E., Basım, H., & Baki, D. (2017). Detection and identification of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, a causal agent of Lettuce Bacterial Leaf Spot Disease, in the Southwest Mediterranean region of Turkey. *International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies (ICAFOF 2017)* (pp.475). Nevşehir, Turkey.
- Behlau F., Canteros B.I., Minsavage G.V., Jones J.B. & Graham J.H. (2011). Molecular characterization of copper resistance genes from *Xanthomonas citri* subsp. *citri* and *Xanthomonas alfalfae* subsp. *citrumelonis*. *Applied and Environmental Microbiology* 77(12): 4089–4096.
- Boukema, I.W., Th. Hazekamp & Th. J.L. van Hintum. (1990). CGN Collection Reviews: the CGN Lettuce Collection. Centre for Genetic Resources, the Netherlands (CGN), Wageningen. 27 pp.
- Bradbury, J.F. (1986) Guide to Plant Pathogenic Bacteria; CAB International Mycological Institute: Slough, UK. xviii + 332pp.
- Brown, N.A. (1918). Some Bacterial Diseases of lettuce. *Department of Agriculture*. 13, 367-388.
- Bull, C. T., & Koike, S. T. (2005). Evaluating the Efficacy of Commercial Products for Management of Bacterial Leaf Spot on Lettuce. *Plant Health Progress*, 6(1), 3.
- Bull, C. T., Gebben, S. J., Goldman, P. H., Trent, M., & Hayes, R. J. (2015). Host Genotype and Hypersensitive Reaction Influence Population Levels of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* in Lettuce. *Phytopathology*. 105, 316-324.
- Bull, C.T., P.H. Goldman, R. Hayes, L.V. Madden, S.T. Koike, & E. Ryder. (2007). Genetic Diversity of Lettuce for Resistance to Bacterial Leaf Spot Caused by *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* *Plant Health Progress*. 8(1), 11. doi: 10.1094/PHP2007-0917-02-RS.
- Carisse, O., Ouimet, A., Toussaint, V., & Pillion, V. (2000). Evaluation of the Effect of Seed Treatments, Bactericides, And Cultivars on Bacterial Leaf Spot of Lettuce Caused by *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*. *Plant Disease*, 84(3), 295-299.
- Christenhusz, M.J.M. & James, W., (2016). The Number of Known Plant Species in the World and its Annual Increase, *Phytotaxa* (3): 201-217.
- Christopoulou, M., McHale, L. K., Kozik, A., Reyes-Chin Wo, S., Wroblewski, T., & Michelmore, R. W. (2015). Dissection of two complex clusters of resistance genes in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 28(7), 751-765.
- Cooksey, D. A. (1994). Molecular Mechanisms of Copper Resistance and Accumulation in Bacteria. *FEMS Microbiology Reviews*. Volume 14. Pages 381–386, <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1994.tb00112.x>

- Daboin, C., & Tortolero, O. J. F. V. (1993). Bacterial Leaf Spot of Lettuce in Some Fields of the Venezuelan Andes. *Fitopatol. Venezolana* 6, 8-10.
- de Vries, I. (1997). Origin And Domestication of *Lactuca sativa* L.. *Genetic Resources and Crop Evolution* 44, 165–174 <https://doi.org/10.1023/A:1008611200727>.
- Dowson, W.J. (1943). On the Generic Names *Pseudomonas*, *Xanthomonas* and Bacterium for Certain Bacterial Plant Pathogens. *Transactions of the British Mycological Society*. Vol. 26, No. 1-2, 4-14 pp.
- Dye, D.W., & Lelliot, R.A. (1974). Genus II. *Xanthomonas*. In *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, edited by R. E. Buchanan and N. E. Gibbons. Baltimore: Wasiams and Wilkins, Co.
- eOrganic. (2 Kasım 2010). Disease Management in Organic Lettuce Production. Available at: <https://eorganic.org/node/5000> [Erişim tarihi: 20 Mart 2023].
- Fan, X. J., Saleem, T., & Zou, H. S. (2022). Copper Resistance Mechanisms in Plant Pathogenic Bacteria. *Phytopathology Mediterranean* 61(1): 129-138. doi: 10.36253/phyto-13282
- FAOSTAT. (2022). Food and Agriculture Statistics. Available at: <https://www.fao.org/food-agriculture-statistics/en/>. Erişim tarihi: 05 Ekim 2023
- Fayette, J, Jones, J.B., Pernezny, K., Roberts, P.D., & Raid, R. (2018). Survival of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* on Lettuce in Crop Debris, Irrigation Water, and Weeds in South Florida. *European Journal of Plant Pathology*, 151, 341-353. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1377-4>.
- Ferakova, V., (1977). The genus *Lactuca* L. in Europe. - Bratislava: Univerzita Komenského.
- Funk, V.A., Bayer, R.J., Keeley, S., Chan, R., Watson, L., Gemeinholzer, B., Schilling, E., Panero, J.L., Baldwin, B.G., Garcia-Jacas N., Susanna, A. & Jansen, R.K. (2005). Everywhere but Antarctica: Using a Supertree to Understand The Diversity and Distribution of the Compositae. *Biologiske Skrifter*, 55: 343–374.
- Griffin, K., Gambley, C., Brown, P., & Li, Y. (2017). Copper-tolerance in *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* and *Xanthomonas* spp. and the control of diseases associated with these pathogens in tomato and pepper. A systematic literature review. *Crop Protection*, 96, 144-150.
- Günay, A. (2005). Sebze Yetiştiriciliği, Cilt II. İzmir, 531s.
- Harlan, J.R., (1986). Lettuce and Sycomore: Sex and Romance in Ancient Egypt. *Economic Botany* 40(1): 4–15.
- Harrison, D. E. (1963). Leaf Spot and Dry Rot of Lettuce Caused by *Xanthomonas vitians* (Brown) Dowson. *Aust. J. Agric. Res.* 14:778-784
- Hayes, R. J., Mark, A., Trent, M. A., Truco, M. J., Antonise, R., Michelmore, R. W., & Bull, C. T. (2014). The Inheritance of Resistance to Bacterial Leaf Spot of Lettuce Caused By *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* in Three Lettuce Cultivars. *Horticulture Research* 1, 14066; doi:10.1038/hortres.2014.66.
- Hébert, P. O., Laforest, M., Xu, D., Ciotola, M., Cadieux, M., Beaulieu, C., & Toussaint, V. (2021). Genotypic and Phenotypic Characterization of Lettuce Bacterial Pathogen *Xanthomonas Campestris* pv. *vitians* Populations Collected in Quebec, Canada. *Agronomy*, 11(12), 2386.
- Helm, J. (1954). *Lactuca sativa* in Morphologisch-systematischer Sicht. - Die Kulturpflanze.
- J. G. Swings & E. L. Civerolo. (1993). *Xanthomonas*. Chapman & Hall. p246, <https://doi.org/10.1007/978-94-011-1526-1>
- Kandemir, D. & Balkaya, A., (2022). Türkiye'de Marul Yetiştiriciliği, Sorunları ve Çözüm Önerileri, *Tarım Gündem*, s.54.
- Kandemir, D., Şahin, G. T., Balkaya, A. & Sarıbaş, Ş. (2021). Kıvrıcık ve Yedikule tipi marul çeşitlerinin kök gelişimi ve kök sistemi mimarisi yönünden incelenmesi. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 11(2): 120-130.

- Katagiri, F., & Tsuda, K. (2010). Understanding the plant immune system. *Molecular plant-microbe interactions*, 23(12), 1531-1536.
- Kim, M.J.; Moon, Y.; Tou, J.C.; Mou, B. & Waterland, N.L. (2016). Nutritional value, bioactive compounds, and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J. Food Compos. Anal.* 49, 19–34.
- Koike, S. T., R. L. Gilbertson, and C. T. Bull. (2018). “Bacterial Leaf Spot.” *In Compendium of Lettuce Diseases and Pests*. 2nd edition. Pages 54–56. St. Paul: The American Phytopathological Society.
- Křístková, E., Doležalová, I., Lebeda, A., Vinter, V., & Novotná, A. (2008). Description of Morphological Characters of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Genetic Resources. *Horticultural Science (Prague)*, 35(3), 113–129.
- Lim C.K. & Cooksey, D.A., (1993). Characterization of chromosomal homologs of the plasmid-borne copper resistance operon of *Pseudomonas syringae*. *Journal of Bacteriology* 175: 4492–4498.
- Lindqvist, K. (1960). On the origin of cultivated lettuce. *Hereditas*, 46:319–350.
- Mandal, B., Pappu, H. R., Csinos, A. S., & Culbreath, A. K. (2006). Response of peanut, pepper, tobacco, and tomato cultivars to two biologically distinct isolates of Tomato spotted wilt virus. *Plant Disease*, 90(9), 1150-1155.
- McHale, L. K., Truco, M. J., Kozik, A., Wroblewski, T., Ochoa, O. E., Lahre, K. A., & Michelmore, R. W. (2009). The genomic architecture of disease resistance in lettuce. *Theoretical and applied genetics*, 118, 565-580.
- McHale, L., Tan, X., Koehl, P., & Michelmore, R. W. (2006). Plant NBS-LRR proteins: adaptable guards. *Genome biology*, 7, 1-11.
- Michelmore, R. W., Christopoulou, M., & Caldwell, K. S. (2013). Impacts of resistance gene genetics, function, and evolution on a durable future. *Annual review of phytopathology*, 51, 291-319.
- Agrios, G. 2005. *Plant pathology*, 5th edition. Elsevier - Academic Press.
- Mirik, M., Aysan, Y., Çetinkaya, R., Şahin, F. & Kotan, R., (2004). An Outbreak of Bacterial Leaf Spot Disease, Caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *vitians*, on Lettuce in the Mediterranean Region of Türkiye. 3rd Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes, Bursa. 729 (pp. 445-447).
- Monaghan, J., & Zipfel, C. (2012). Plant pattern recognition receptor complexes at the plasma membrane. *Current opinion in plant biology*, 15(4), 349-357.
- Morinière, L., Burlet, A., Rosenthal, E. R., Nesme, X., Portier, P., Bull, C. T., & Bertolla, F. (2020). Clarifying the Taxonomy of the Causal Agent of Bacterial Leaf Spot of Lettuce through a Polyphasic Approach. *Systematic and Applied Microbiology*, 43(4), 126087.
- Mou, B. (2008). Lettuce. In *Vegetables I: Asteraceae, brassicaceae, chenopodiaceae, and cucurbitaceae* (pp. 75-116). New York, NY: Springer New York.
- Munita, J. M., & Arias, C. A. (2016). Mechanisms of Antibiotic Resistance. *Virulence Mechanisms of Bacterial Pathogens. Microbiol. Spectr*, 2016, 481-511.
- Nicolas, O., Charles, M. T., Jenni, S., Toussaint, V., & Beaulieu, C. (2018). Relationships between *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* population sizes, stomatal density and lettuce resistance to bacterial leaf spot. *Canadian Journal of plant pathology*, 40(3), 399-407.
- Nicolas, O., Charles, M. T., Jenni, S., Toussaint, V., Parent, S. É., & Beaulieu, C. (2019). The ionomics of lettuce infected by *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*. *Frontiers in plant science*, 10, p423544.
- Pernezny, K., Nagata, R., Havranek, N., & Sanchez, J. (2008). Comparison of Two Culture Media for Determination of the Copper Resistance of *Xanthomonas* Strains and their

- Usefulness for Prediction of Control with Copper Bactericides. *Crop Protection*, 27(2), 256-262.
- Pernezny, K., Nagata, R., Raid, R. N., Collins, J., & Carroll, A. (2002). Investigation of Seed Treatments for Management of Bacterial Leaf Spot of Lettuce. *Plant disease*, 86(2), 151-155.
- Pernezny, K., Raid, R.N., Stall, R.E., Hodge, N., & Collins, J. (1995). An Outbreak of Bacterial Spot of Lettuce in Florida caused by *X. hortorum* pv. *vitians*. *Plant Dis* 79:359–36
- Pierce, L.C. (1987). *Vegetables: Characteristics, Production and Marketing*. John Wiley and Sons, 433 p, USA.
- Pohronezny, K., Stall, R.E., Canteros, B.I, Kegley, M., Datnoff, L.E., & Subramanya, R. (1992). Sudden Shift in the Prevalent Race of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* in Pepper Fields in Southern Florida. *Plant Dis.* 76:118-120.
- Rafiqi, M., Ellis, J. G., Ludowici, V. A., Hardham, A. R., & Dodds, P. N. (2012). Challenges and progress towards understanding the role of effectors in plant–fungal interactions. *Current opinion in plant biology*, 15(4), 477-482.
- Raid, R. N. (2004). *Lettuce Diseases and their Management. Diseases of Fruits and Vegetables: Volume II*. ISBN : 978-1-4020-1823-7
- Richard, D., Boyer, C., Lefeuvre, P., Canteros, B. I., Beni-Madhu, S., Portier, P., & Pruvost, O. (2017). Complete Genome Sequences of Six Copper-Resistant *Xanthomonas* Strains Causing Bacterial Spot of Solaneous Plants, belonging to *X. gardneri*, *X. euvesicatoria*, and *X. vesicatoria*, Using Long-Read Technology. *Genome Announcements* 5(8), 10-1128.
- Robinson, P. E., Jones, J. B., & Pernezny, K. (2006). Bacterial Leaf Spot of Lettuce: Relationship of Temperature to Infection and Potential Host Range of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*. *Plant Dis.* 90:465-470.
- Robinson, P.E. (2003). The Epidemiology of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, Causal Organism of Bacterial Leaf Spot of Lettuce. University of Florida
- Rodenburg, C. M., & Basse, H. (1960). *Varieties of Lettuce: An International Monograph* (No. 3). Instituut voor de Veredeling van Tuinbouwgewassen.
- Rulkens, A. J. H. (1987). DE CGN sla collectie: inventarisatie, paspoort gegevens en enkele richtlijnen voor de toekomst. 51 pp. CGN report: CGN-T 1987-1. CGN, Wageningen.
- Ryder, E. J., (1979). *Leafy Salad Vegetables*. The AVI Publishing Company. Inc. USA.
- Ryder, E.J. 1986. *Lettuce Breeding* (part of vegetable breeding). AVI Publishing Co., Westport, Conn. 436-472.
- Şahin, F. (2000). First Report of Bacterial Spot of Lettuce Caused by *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* in Türkiye. *Plant Disease*, 84(4), 490.
- Şahin, F., & Miller S. A. (1998). Two New Hosts of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*. *Plant Dis.* Feb; 82 (2): 262. doi: 10.1094/PDIS.1998.82.2.262B. PMID: 30856814.
- Şahin, F., & Miller, S. A. (1997). Identification of the Bacterial Leaf Spot Pathogen of Lettuce, *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, in Ohio, and Assessment of Cultivar Resistance and Seed Treatment. *Plant disease*, 81(12), 1443-1446.
- Sandoya, G. V., Maisonneuve, B., Truco, M. J., Bull, C. T., Simko, I., Trent, M., ... & Michelmore, R. W. (2019). Genetic analysis of resistance to bacterial leaf spot in the heirloom lettuce cultivar Reine des Glaces. *Molecular Breeding*, 39, 1-11.
- Sandoya, G., & Otero, D. C. (2021). Bacterial Leaf Spot of Lettuce Disease: An Unpredictable Enemy to the Florida Lettuce Industry: HS1412, 5/2021. EDIS, 2021(3).
- Schvambach, M. I. , Vargas Andriolli, B. , Fernandes de Souza, P. , Barcelos Oliveira, J. L. , & Pescador, R. (2020). Conservation of Crisp Lettuce in Different Post-Harvest Storage Conditions. *Revista Ceres*, 67(4), 247–250.

- Simko, I. (2013). Marker-assisted selection for disease resistance in lettuce. *Translational Genomics for Crop Breeding: Biotic Stress*, 1, 267-289.
- Smith, R., Klonsky, K. And De Moura, R. (2009). Sample Costs to Produce Iceberg Lettuce Head. Central Coast Region, University of California Cooperative Extension. [Online] Available at: [https://coststudyfiles.ucdavis.edu/uploads/cs\\_public/92/af/92af15bd-a003-4e2e-a796-fc33e253edb8/lettuceicecc09.Pdf](https://coststudyfiles.ucdavis.edu/uploads/cs_public/92/af/92af15bd-a003-4e2e-a796-fc33e253edb8/lettuceicecc09.Pdf). Erişim tarihi: October 03, 2023.
- Strayer-Scherer, A., Liao, Y. Y., Young, M., Ritchie, L., Vallad, G. E., Santra, S., ... & Paret, M. L. (2018). Advanced Copper Composites Against Copper-Tolerant *Xanthomonas* Perforans and Tomato Bacterial Spot. *Phytopathology*, 108(2), 196-205. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-17-0221-R>
- Tackholm, L. V. (1951). Faraos blomster. – Stockholm. p.118
- Toussaint, V. (1999). Bacterial Leaf Spot: A New Disease of Lettuce in Quebec caused by *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*. *Phytoprotection*, vol. 80.p. 121-125. URL: <http://id.erudit.org/iderudit/706187ar> DOI: 10.7202/706187.
- Toussaint, V.; Morris, C.E.; Carisse, O. (1998). Identification, Resistance to Antibiotics and Utilization of Carbon Sources by *X. hortorum* pv. *vitians* Strains Isolated from Different Lettuce-Growing Areas. In *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Congress of Plant Pathology*, Edinburgh, UK, 1–31.
- Trehane, P., Brickell, C. D., Baum, B. R., Hetterscheid, W. L. A., Leslie, A. C., McNeill, J., Spongberg, S. A. & Vrugtman, F. (1995). *International Code of Nomenclature for Cultivated Plants*. 175 pp. Regnum Vegetable 133.
- TÜİK, (2023), İstatistik veri portal. <http://www.tuik.gov.tr>. Erişim tarihi: 03 Ekim 2023.
- Umesh, K. C., Koike, S. T., & Gilbertson, R. L. (1996). Association of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* with Lettuce Seed. (Abstr.) *Phytopathology* 86:S3.
- Vauterin, L., Hoste, B., Kersters, K., & Swings, J. (1995). Reclassification of *Xanthomonas*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 45(3), 472-489.
- Vural, H., Eşiyok, D., & Duman, İ. (2000). *Kültür Sebzeleri (Sebze Yetiştirme)*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Bornova, İzmir. 440pp.
- Wallis, F. M. & Joubert, J. J. (1972). Bacterial Spot of Lettuce in Natal. *Landbouwet. S. Afr. Agric. Sci. S. Afr. Phytophylactica*, 4, 137–138.
- Wang, Y., Lu, H. J., Raid, R. N., Nuessly, G. S., & Faroutine G. (2015) Diverse Responses of Lettuce Cultivars and Germplasm Lines to Infections of Three Isolates of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* *Hortscience* 50(5):650–655.
- Wei, T. , van Treuren, R. , Liu, X. , Zhang, Z. , Chen, J. , Liu, Y. , Dong, S. , Sun, P. , Yang, T. , Lan, T. , Wang, X. , Xiong, Z. , Liu, Y. , Wei, J. , Lu, H. , Han, S. , Chen, J. C. , Ni, X. , Wang, J. , & Liu, H. (2021). Whole-Genome Resequencing of 445 *Lactuca* Accessions Reveals the Domestication History of Cultivated Lettuce. *Nature Genetics*, 53(5), 752–760. Doi: 10.1038/s41588-021-00831-0
- Zhang, L., Li, X., Liu, L., & Ma, Y. (2018). *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* -Induced Changes in Phytohormone and Defense-Related Compound Levels in Lettuce. *Frontiers in Microbiology*, 9, 2392.
- Zoina, A.; Volpe, E. (1992). Epidemiological Aspects of Lettuce Bacterial Spot Induced by *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, *Plant Pathogenic Bacteria (Les Colloques INRA)*; INRA: Versailles, France. p. 797.

## 7. EKLER

### Ek 1. Araştırmada Kullanılan Nutrient Agar Çözeltiler

|        |                                                                                     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.0 g  | Nutrient agar (                                                                     |
| 11 g   | Bacteriological agar                                                                |
| 500 ml | Sterilize su                                                                        |
| 25 g   | C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> (ISOLAB D (+)-GLUCOSE MONOHYDRATE ) |

### Ek 2. Araştırmada Kullanılan Casitone Yeast Extract Çözeltiler

|        |                                                |
|--------|------------------------------------------------|
| 0.85 g | Casitone (BACTO® PANCREATIC DIGEST OF CASEIN)  |
| 0.1 g  | Yeast extract (MERCK YEAST EXTRACT GRANULATED) |
| 1 g    | Glucose                                        |
| 11 g   | Bacteriological agar                           |
| 500 ml | Sterilize H <sub>2</sub> O                     |

### Ek 3. 50ppm Karışım Ölçümü

|        |                                                  |
|--------|--------------------------------------------------|
| 0.85 g | Casitone                                         |
| 0.1 g  | Yeast extract                                    |
| 1 g    | Glucose                                          |
| 11 g   | Bacteriological agar                             |
| 500 ml | Sterilize H <sub>2</sub> O                       |
| 0.025g | CuSO <sub>4</sub> (PRS PANREAC COBRE II SULFATO) |

### Ek 4. 100ppm Karışım Ölçümü

|        |                            |
|--------|----------------------------|
| 0.85 g | Casitone                   |
| 0.1 g  | Yeast extract              |
| 1 g    | Glucose                    |
| 11 g   | Bacteriological agar       |
| 500 ml | Sterilize H <sub>2</sub> O |
| 0.005g | CuSO <sub>4</sub>          |

**Ek 3. 200ppm Karışım Ölçümü**

|        |                            |
|--------|----------------------------|
| 0.85 g | Casitone                   |
| 0.1 g  | Yeast extract              |
| 1 g    | Glucose                    |
| 11 g   | Bacteriological agar       |
| 500 ml | Sterilize H <sub>2</sub> O |
| 0.1g   | CuSO <sub>4</sub>          |

**PPM Formülü**

$$PPM = \frac{\text{Çözünenin kütlesi}}{\text{Çözeltinin kütlesi}} * 1.000.000$$

## ÖZGEÇMİŞ

**RICHARD LEE KOLLEH**

### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

|                          |                                                                          |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Yüksek Lisans            | Akdeniz Üniversitesi                                                     |
| 2022- Halen Devam Ediyor | Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, Antalya             |
| Lisans                   | Cuttington University                                                    |
| 2014-2018                | College of Agriculture and Sustainable Development, Bong County, Liberya |

### MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

|                            |                                                                                         |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Teknik Agronomist Asistanı | Tarım Bakanlığı                                                                         |
| 2020-2021                  | Smallholder Agriculture Transformation and Agribusiness Revitalization Project, Liberya |