

**LYCOPERSICON ESCULENTUM MILL. FİDECİKLERİNİN BAZI MAKRO VE
MİKRO BESİN ELEMENTLERİ ALIM DÜZEYLERİNE ALÜMİNYUM ETKİSİNİN
ANALİTİK VE MİKRO ANALİTİK YÖNTEMLER İLE İNCELENMESİ**

**Güler ÇOLAK¹, M. Celalettin BAYKUL², Remzi GÜRLER³, Necmettin CANER⁴,
Süleyman TOKUR¹, Ercan ÇATAK¹**

¹Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Eskişehir

²Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Eskişehir

³Osmangazi Üniversitesi, Metalurji Enstitüsü, Eskişehir

⁴Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Eskişehir

ÖZET

Bu çalışmada Murashige-Skoog temel besi ortamlarında yetiştirilen 15 gün yaşlı *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. H2274 (domates) fideciklerinin bazı makro ve mikro besin elementleri alım düzeylerine artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun etkileri analitik ve mikro analitik yöntemler ile incelendi. Çalışmamızda besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum uygulanması, *L. esculentum* Mill. cv. H2274 (domates) fideciklerinin alüminyum içeriklerinde artışlara neden olurken, alınan alüminyumun büyük ölçüde köklerde birikim yaptığı görüldü. Besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum ilavesi *L. esculentum* Mill. cv. H2274 (domates) fideciklerinin toplam azot alımlarında çok belirgin bir farklılık yaratmazken, fideciklerin özellikle fosfor, kalsiyum, magnezyum ve sodyum alımlarında alüminyum ilavelerine bağlı olarak düzenli düşüşler gözlemlendi. Besin çözeltilerine 100 ppm alüminyum ilavesi fideciklerin toplam potasyum, demir ve kobalt alımlarında belirgin düşüslere neden olurken, inceleme kapsamına alınan hiçbir seride kökçük, hipokotil ve kotiledonlarda molibden elementine rastlanmadı. Çalışmamızda kökçük, hipokotil ve kotiledon epidermal hücrelerinin bazı makro ve mikro besin elementleri içeriklerinin de alüminyum uygulamalarına bağlı olarak değişebildiği saptandı.

Anahtar Kelimeler: *Lycopersicon esculentum*, Alüminyum, Bitki Besin Elementleri

**INVESTIGATION OF EFFECTS OF ALUMINIUM TO THE ABSORPTION LEVELS
OF LYCOPERSICON ESCULENTUM MILL. SEEDLINGS FOR THE MACRO AND
MICRO NUTRIENT ELEMENTS BY ANALYTIC AND MICRO ANALYTIC
METHODS**

ABSTRACT

In that study, effects of aluminium which was applied in different concentrations to fifteen days old *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. H-2274 (tomato) seedlings, grown in the environment of Murashige-Skoog basal medium have been studied by analytic and micro analytic methods. Aluminium was added to the solutions of nutrient by increasing the concentration quantities of aluminium in *L.esculentum* Mill. cv. H-2274 (tomato) seedlings

was increased. The collection of aluminium in the roots was observed. The absorption of the nitrogen was not observed. Absorptions of phosphorus, calcium, magnesium and sodium linearly decreased according to the addition of the aluminium to seedlings. As a result of the addition of 100 ppm aluminium to the solutions of the nutrient, molybdenum was not observed in the roots, hypocotyls and the cotyledons, as the total amount of absorption of seedlings for potassium, iron and cobalt decreases. In that study, contents of some macro and micro nutrient elements for the epidermal cells of the root, the hypocotyl and the cotyledon were determined. In that study contents of some macro and micro nutrient elements for the epidermal cells of the root, the hypocotyl and the cotyledon were determined. That they varied according to the amount of added aluminium.

Key Words: *Lycopersicon esculentum*, Aluminium, Plant Nutrient Elements

1. GİRİŞ

Alüminyum yer kabuğunda en fazla bulunan metaldir ve toprakta birkaç farklı formda bulunabilmektedir; nötral ve bazik tepkimeli topraklarda çoğunlukla bitkiler için toksik olmayan oksit yada silikat çökelekleri halinde bulunan alüminyum, pH değerleri 5'in altında olan çok asidik topraklarda başlıca fitotoksik alüminyum türleri olduğuna inanılan ve çoğunlukla Al^{+3} denilen bir çözülebilir oktohedral hegzahidrat forma özelleşir (1). Bu yüzden asit mineral topraklarda alüminyum iyonlarının fazlalığı bitki türlerinin ve ekotipin dağılımını, bitki büyüme ve ürün verimini sınırlandıran en önemli faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir (2).

Her ne kadar alüminyum ürün verimini sınırlandıran başlıca faktörlerden biri olarak kabul edilse de (3), toksisitesinin moleküler ve biyokimyasal temeli yeterince bilinmemektedir (4). Bir görüşe göre, alüminyum muhtemelen hem intrasellüler sıvıların koloidal özelliklerinin kontrolü, hem de alkalın fosfataz ve izositrat dehidrogenaz gibi bazı enzim sistemlerinin inhibisyonu ile ilgilidir (5). Bir diğer görüşe göre alüminyum ile pektatların çapraz bağlanması, uzama yeteneği, hücre duvarlarının su geçirgenliği ve plazma membranı karakteristikleri etkilenebilir (2). Alüminyum varlığında yetiştirilen *Picea abies* köklerinden izole edilen plazma membran bağlı enzimlerin aktivitelerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, gelişme esnasında 0.1-3 mM alüminyum varlığının, kök plazma membranlarından izole edilen H-ATPaz ve glukansentaz-II aktivitelerini inhibe ettiği, özellikle glukansentaz-II aktivitesinin alüminyum uygulamaları ile şiddetle inhibe edildiği ve glukansentaz-II'nin alüminyum toksisitesine ATPaz'dan çok daha hassas olduğu belirlenmiştir (6). *Beta vulgaris*'in kök plazma membranlarının lipit kompozisyonu ve ATPaz aktivitesi üzerine alüminyumun etkilerini belirlemek amacıyla in vivo ve in vitro şartlarda yapılan bir başka çalışmada, plazma membranlarının lipit analizleri, alüminyum uygulamaları ile açıl kompozisyonunun az miktarda farklılaştığını, fakat fosfatidilkolin/etanolamin oranının önemli ölçüde arttığını göstermiştir (7). *Beta vulgaris*'te epidermal ve kortikal kök hücrelerinin transmembran potansiyeli üzerine alüminyumun uzun ve kısa süreli etkilerini pH 4-5 ve 6.5'te inceleyen bir çalışmada, kültürasyon esnasında düşük pH yada $AlCl_3$ varlığının vakuollerini,

geniş depolarizasyonuna, 10 yada 50 fM alüminyum ilavesinin 0.5 mM kalsiyum varlığında ve çalışılan bütün pH değerlerinde vakuollerin hiperpolarizasyonuna, pH 6.5'ta sitoplazmanın depolarizasyonuna ve daha düşük pH'larda sitoplazmanın hiperpolarizasyonuna neden olduğu saptanmıştır (8). *Triticum aestivum*'da alüminyum toksisitesi ile ilişkili sitoplazmik ve mikrosomal proteinlerdeki kantitatif değişiklikleri belirlemek amacıyla yapılan bir başka çalışmada, alüminyumun sitoplazmik ve mikrosomal proteinlerin oluşum programlarını etkilediği, fakat sitoplazma ile ilişkili proteinlerde daha büyük değişikliklere neden olduğu belirlenmiştir (9). Simon ve arkadaşları, *L. esculentum*'da yaprak gaz değişimi, yaprak klorofil içeriği ve sakkaroz metabolizması enzim aktivitesi üzerine alüminyum toksisitesinin etkilerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmalarında, inceleme kapsamına aldıkları her iki kültür varyetesinde de alüminyum konsantrasyonları artarken, yaprak gaz değişiminin 2-3 kat azaldığını, buna karşın yaprakların klorofil içeriklerinin alüminyum uygulamalarından etkilenmediğini, köklerin asit ve nötral invertaz aktivitelerinin ise her iki genotipte de alüminyum konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak azaldığını gözlemişlerdir (10). Zhang ve arkadaşları 7 gün süreyle 0.1 mM alüminyum uygulanan buğday fidelerinde, alüminyumun kök uçlarında glukoz-6-fosfat dehidrogenaz ve 6-fosfoglukanat dehidrogenaz aktivitelerinde değişimlere neden olduğunu saptamışlardır (11). Plucinska, farklı inkübasyon periyotlarında (3, 6 yada 9 hafta) yetiştirilen *Pinus sylvestris* fidelerinde bağımsız inorganik fosfat seviyeleri ve fosforilasyon potansiyeli değerleri üzerine farklı konsantrasyonlarda alüminyumun (0.5, 1, 2, 4 mM $Al(NO_3)_3$) etkilerini araştırdığı çalışmasında, 0.5 ve 1 mM alüminyum ile muamele edilen fidelerin köklerinde 3 haftalık bir inkübasyon periyodunda bağımsız inorganik fosfat seviyeleri ve fosforilasyon potansiyeli değerlerinin değişiklik göstermediğini, buna karşın 2 ve 4 mM alüminyum ile muamele edilen fidelerin köklerinin daha yüksek bağımsız inorganik fosfat ve fosforilasyon potansiyeli değerleri verdiğini, fidelerin besin çözeltilerinde 0.5 ve 1 mM alüminyum ile 6 haftalık inkübasyonunun bağımsız inorganik fosfat seviyelerini arttırdığını, fakat 4 mM alüminyum uygulanması durumunda azalttığını, bu inkübasyon periyodu süresince fosforilasyon potansiyeli değerlerinin her hangi bir önemli değişim göstermediğini, 9 hafta sonra ise gerek bağımsız inorganik fosfat seviyeleri ve gerekse fosforilasyon potansiyeli değerlerinin büyük oranda azaldığını belirlemişlerdir (12). Keza Plucinska ve Karolewski 1 yıl yaşlı *Pinus sylvestris* fidelerinde farklı konsantrasyonlarda alüminyum nitrat ilaveli (0.5-4 mM) su kültürü uygulamalarından 3-9 hafta sonra kök homojenatlarındaki pridin nükleotit seviyelerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmalarında, alüminyum stresinden 6 hafta sonra, 0.5 ve 1 mM konsantrasyonunda uygulanan alüminyumun NADH seviyesinde bir artış, NADPH seviyesinde bir azalmaya neden olduğunu, fakat redoks oranlarının önemli ölçüde değişmediğini, buna karşın alüminyum 0.5'den 4 mM'a değişen konsantrasyonlarda uygulandıktan 9 hafta sonra $NADP^+$, NADPH ve NADH'ın nispi seviyelerinde azalmalar, NAD^+ seviyesinde ise artışlar kaydettiklerini belirtmektedirler (13). Richards ve arkadaşları, *Arabidopsis thaliana* fidecikleri ile yaptıkları çalışmalarında alüminyum uygulamalarının fideciklerde oksidatif stresi teşvik ettiğini, oksidatif stresin toksik seviyelerde alüminyuma bitkilerin tepkisinin önemli bir unsuru olduğunu ileri sürmektedirler (14). Blamey ve arkadaşlarına göre ise toksik alüminyumun esas etkisi kök içine su akımında yada hareketinde yarattığı bir azalmadır (15). Nitekim bu amaçla bir kalsiyum-pektat membran kullanarak yaptıkları çalışmalarında önce 1 mM $CaCl_2$ içeren çözelti membrandan geçirilmiş ve akış hızı ölçülmüş, daha sonra bu çözeltiye 29 fM alüminyumun $AlCl_3$ olarak ilavesi çözelti akış hızını %80'den fazla oranda azaltmıştır (15).

Biz ise bu çalışmada 15 gün yaşlı *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin besin çözeltilerinden bazı makro ve mikro besin elementleri alım düzeyleri ile söz konusu bitki besin elementlerinin kökçük, hipokotil ve kotiledonlardaki mobilizasyonu üzerine artan alüminyum konsantrasyonlarının etkilerini analitik ve mikro analitik yöntemler ile incelemeyi amaçladık. Böylelikle bitki fizyolojisi ve bitki biyoteknolojisi çalışmalarında sıklıkla tercih edilen ve bir model bitki olarak tanımlanan *L. esculentum* ile elde ettiğimiz bulguların bitkilerde alüminyum kaynaklı büyüme azalmalarının fizyolojik mekanizmalarının açıklanmasında bir katkısı olacağı inancındayız.

2. MATERYAL ve METODLAR

Bu çalışmada araştırma materyali olarak *Solanaceae* familyasına ait *L. esculentum*'un bir kültür varyetesi kullanıldı. Araştırma materyalini teşkil eden *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) tohumları Eskişehir Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edildi.

Çalışmanın başlangıcında araştırma materyalini teşkil eden *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) tohumları bir seri yüzeysel sterilizasyon işlemine tabi tutuldular. Bunun için bitki tohumları öncelikle % 96'lık etil alkolde 1 dakika ve % 5'lik sodyum hipokloritte 35 dakika süreyle bekletildiler. Daha sonra steril saf su banyolarından geçirilmek suretiyle sodyum hipokloritten arındırıldılar. Sterilizasyon işlemi tamamlanan bitki tohumları içlerinde filtre kağıtları bulunan steril petri kaplarına steril bir ortamda ve steril pensler yardımıyla 100'er adet olmak üzere ekildiler.

Çalışmada besin çözeltisi olarak Murashige-Skoog temel besi ortamının makro ve mikro elementleri (16) tercih edildi. Bu besin elementleri konsantrasyonları: CaCl_2 , 332.02 mg/l, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.025 mg/l; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.025 mg/l; FeNaEDTA, 36.70 mg/l; H_3BO_3 , 6.20 mg/l; KH_2PO_4 , 170.00 mg/l; KI, 0.83 mg/l; KNO_3 , 1900 mg/l; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 370.00 mg/l; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 16.90 mg/l; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.25 mg/l; NH_4NO_3 , 1650 mg/l; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 8.60 mg/l şeklinde idi. Alüminyum uygulamaları ise $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ formunda alüminyum içeren ve toplam 5 ayrı konsantrasyonda hazırlanan çözeltiler (1, 10, 50, 100 ve 200 ppm) kullanılmak suretiyle gerçekleştirildi.

Çalışma Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi, Spektrofotometre, Alev Fotometresi ve Kjeltec Azot Cihazı ile Scanning Elektron Mikroskopu kullanılarak iki ayrı aşamada tamamlandı. Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi, Spektrofotometre, Alev Fotometresi ve Kjeltec Azot Cihazı ile yapılan ilk seri uygulamalarda her bir deneme için ayrı ayrı petri kutularına 100'erli gruplar halinde toplam 400'er adet tohumun ekimi yapıldı. İlk gruptaki 400 adet tohum kontrol grup olarak bırakıldı ve bu gruptaki tohumlara araştırma süresince yalnızca saf su verildi. Böylelikle 15 gün yaşlı *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kökçük, hipokotil ve kotiledonlarının toplam makro ve mikro besin elementleri içerikleri hakkında genel bir bilgi sahibi olundu. İkinci grubu teşkil eden 400 adet bitki tohumuna yalnızca Murashige-Skoog temel besi ortamının makro ve mikro besin elementleri uygulandı. Böylelikle 15 gün yaşlı *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin inceleme kapsamına alınan makro ve mikro besin elementleri açısından genotipik alım potansiyeli belirlendi. Geri kalan 400'erli gruplar halindeki toplam 5 ayrı seriye Murashige-Skoog temel besi ortamının makro ve mikro besin elementleri ile birlikte toplam 5 ayrı konsantrasyonda hazırlanan $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltileri uygulandı. Bu uygulama esnasında Murashige-Skoog besin çözeltisi miktarları uygulanan alüminyum çözeltilerine eşit miktarlarda olacak şekilde ayarlandı. Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi, Spektrofotometre, Alev Fotometresi ve Kjeltec Azot Cihazı ile yapılan analitik ölçümlerde 1,

10 ve 100 ppm $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ çözeltileri kullanılırken, düşük vakumlu Scanning Elektron Mikroskobu ile gerçekleştirilen EDX analizlerinde ise 10, 50, 100 ve 200 ppm alüminyum konsantrasyonları tercih edildi.

Sterilizasyon ve ekim işlemleri tamamlanan bitki tohumları $25 \pm 2^{\circ}C$ sıcaklığı olan ve 16 saat ışık, 8 saat karanlık şeklinde fotoperyot düzeni uygulanan bir kültür odasında 15 gün süreyle inkübasyona alındılar.

Inkübasyon süreleri sonunda tohumlarda öncelikle çimlenme yüzdeleri açısından genel bir değerlendirme yapıldı. Daha sonra fideciklerin kökçük, hipokotil ve kotiledonları kesilerek birbirlerinden izole edildi. Kökçük, hipokotil, kotiledon ve toplam fide taze ağırlık oranları hesaplandı.

Fideciklerde besin elementi analizleri her bir deneme için değerlendirmeye alınan 400'er adet tohumun çimlenmesiyle elde edilen 15 gün yaşlı genç fideciklerde birbirlerinden izole edilen kökçük, hipokotil ve kotiledon eksplantlarda yaş yakma yöntemi ile elde edilen kuru madde üzerinden gerçekleştirildi. Örneklerin potasyum ve sodyum içerikleri PFP7 Model Alev Fotometresinde, fosfor içerikleri Milton Roy Serisi Spektrofotometrede, kalsiyum, magnezyum, demir, kobalt, molibden ve alüminyum içerikleri Perkin Elmer 3110 Model Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresinde, azot içerikleri ise Kjeltac Azot Cihazı'nda okundu. Fideciklerin kökçük, hipokotil, kotiledon üst ve alt epidermal hücrelerinin karbon, azot, oksijen, kükürt, fosfor, sodyum, magnezyum, potasyum, kalsiyum, mangan, demir, kobalt, bakır, çinko, klor, alüminyum ve selenyum içerikleri ise düşük vakumlu (~24 paskal) Scanning Elektron Mikroskobu kullanılarak, yaklaşık olarak $450 \mu m \times 350 \mu m$ 'lik bölgelerden gerçekleştirilen genel EDX analizleri (Energy Dispersive X-ray Microanalysis) ile belirlendi

3. BULGULAR

Çalışmamızda *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kökçük, hipokotil, kotiledon ve toplam fide ağırlıklarında besin çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonları artışlarına bağlı olarak düzenli düşüşler gözlemlendi. Buna karşın *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) tohumlarının çimlenme özelliklerinde artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun çok belirgin bir etkisi olmadı. Sadece 200 ppm alüminyum uygulanması durumunda tohumların çimlenme özelliklerinde hafif bir düşüş söz konusu idi (Tablo 1).

Tablo 1. *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) tohumlarının çimlenme özellikleri ile kökçük, hipokotil, kotiledon ve toplam fide ağırlıkları (g) üzerine artan alüminyum konsantrasyonlarının etkileri

	Çimlenme Yüzdeleri	Kök Birim Ağırlığı	Hipokotil Birim Ağırlığı	Kotiledon Birim Ağırlığı	Toplam Fide Ağırlığı
Kontrol Grup	96	0.0059083	0.0159666	0.0041500	0.0260249
MS BesinÇözeltilisi	100	0.0068875	0.0255166	0.0063416	0.0387457
1 ppm alüminyum	100	0.0057625	0.0207120	0.0053222	0.0317967
10 ppm alüminyum	99	0.0049750	0.0163208	0.0046750	0.0259708
50 ppm alüminyum	100	0.0043750	0.0108041	0.0043166	0.0194957
100 ppm alüminyum	100	0.0036833	0.0052916	0.0037461	0.0127210
200 ppm alüminyum	96	0.0010125	0.0029875	0.0032722	0.0072722

Çalışmamızda Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin köklerinde önemli bir azot birikimine tanık olunurken, 1 ppm alüminyum uygulanması ile birlikte köklerin azot içeriklerinde düşüşler gözlemlendi. Ancak besin çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonları artışları ile köklerin azot içeriklerinde gözlenen düşüşler arasında lineer bir ilişki kurulamadı (Tablo 2).

Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin köklerinde önemli bir fosfor alımı gözlenirken, besin çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonları artışlarının köklerin fosfor içeriklerinde düzenli düşümlere neden olduğu saptandı. (Tablo 2).

Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin köklerinde önemli bir potasyum birikimi söz konusu idi. 1 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren köklerin potasyum içeriklerinde düşüşler kaydedildi. Ancak 1 ve 10 ppm alüminyum konsantrasyonlarında birbirine yakın ortalama değerler elde edilirken, 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda köklerin potasyum içeriklerinde çok belirgin bir azalmaya tanık olundu (Tablo 2).

Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin köklerinde belirlenen kalsiyum birikimi kontrol grubu oluşturan fidiciklerin köklerindeki kalsiyum birikimi ile karşılaştırıldığında, *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin kalsiyum elementi açısından çok yüksek bir genotipik alım potansiyeli olduğu saptandı. Buna karşın besin çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonları artışlarına bağlı olarak köklerin kalsiyum içeriklerinin çok belirgin ve düzenli düşüşler gösterdiği belirlendi. Keza artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun köklerin sodyum içeriklerinde de düzenli düşümlere neden olduğu görüldü (Tablo 2).

Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin köklerinin magnezyum içerikleri oldukça yüksekti. Besin çözeltilerine ilave edilen alüminyumun köklerin magnezyum içeriklerinde düşümlere neden olduğu saptandı. Ancak 1, 10 ve 100 ppm alüminyum uygulanan fidiciklerin köklerindeki magnezyum miktarları yaklaşık birbirine yakın değerlerdi (Tablo 2).

Besin çözeltilerine 10 ve 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda köklerde saptanan kobalt birikimleri Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen ortalama değerden düşüktü. 1 ppm alüminyum uygulanan fidiciklerin köklerinde ise kobalt birikimi gözlenmedi (Tablo 2).

Murashige-Skoog besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyum *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotillerinin azot içeriklerinde çok belirgin etkisi olmayan düşümlere neden oldu (Tablo 2).

1 ve 10 ppm alüminyum uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotillerinin fosfor içeriklerinde hafif bir yükselişe tanık olundu. Ancak 1 ve 10 ppm değerleri birbirine benzerdi. 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda ise hipokotillerin fosfor içeriklerinde belirgin bir düşüş gözlemlendi. Besin çözeltilerine 1 ve 10 ppm alüminyum ilavelerinin hipokotillerin potasyum ve magnezyum içeriklerinde de artışlara neden olduğu saptandı. 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda ise hipokotillerin potasyum ve magnezyum içerikleri Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen ortalama değerden düşüktü (Tablo 2).

1 ppm alüminyum uygulanan besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin hipokotillerinin kalsiyum içerikleri Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen ortalama değere benzerdi. 10 ppm alüminyum ilavesi hipokotillerin kalsiyum içeriklerinde artışa neden oldu. 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda ise hipokotillerin kalsiyum içeriklerinde düşüş gözlemlendi (Tablo 2).

L. esculentum Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerine artan konsantrasyonlarda alüminyum ilavesi hipokotillerin sodyum içeriklerinde düşüslere neden oldu. Bu düşüş özellikle 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda dikkat çekici idi (Tablo 2).

Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen ve 1 ile 10 ppm alüminyum uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotillerinin demir içeriklerinde düzensiz artış ve azalışlara tanık olundu. 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda ise hipokotillerin demir içeriklerinde gözlenen düşüşün derecesi dikkat çekici idi (Tablo 2).

Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotillerinde saptanan kobalt birikimi kontrol grup ile elde edilen ortalama değerden belirgin olarak yüksekti. 1 ve 10 ppm alüminyum uygulanması durumunda hipokotillerin kobalt içeriklerinde azalmalar kaydedildi. Ancak 1 ve 10 ppm değerleri birbirine benzerdi. 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda ise hipokotillerin kobalt içeriklerinde belirgin bir düşüş gözlemlendi (Tablo 2).

Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen 15 gün yaşlı *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kotiledonlarının bazı makro ve mikro besin elementleri içeriklerine artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun etkileri incelendiğinde, alüminyumun kotiledonların özellikle azot içeriklerinde çok belirgin bir farklılığa neden olmadığı görüldü (Tablo 2).

Besin çözeltilerine 1 ve 10 ppm alüminyum uygulanması durumunda, fideciklerin kotiledonlarında gözlenen fosfor birikimleri Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen fideciklerin kotiledonlarında saptanan ortalama değerden yüksekti. Ancak 100 ppm alüminyum uygulaması kotiledonların fosfor içeriklerinde belirgin bir düşüşe neden oldu (Tablo 2).

Besin çözeltilerine 1 ppm alüminyum uygulanması durumunda *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kotiledonlarının potasyum içeriklerinde hafif bir düşüş gözlemlendi. 10 ppm alüminyum uygulanması ile Murashige-Skoog besin çözeltilerinde gözlenen ortalama değere yakın bir değer elde edildi. 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda ise kotiledonların potasyum içeriklerinde belirgin bir düşüşe tanık olundu (Tablo 2).

Besin çözeltilerine 1 ve 10 ppm alüminyum uygulanması durumunda *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kotiledonlarında saptanan kalsiyum ve magnezyum miktarları Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen fideciklerin kotiledonlarında belirlenen ortalama değerden yüksek iken, 100 ppm alüminyum uygulanması kotiledonların kalsiyum ve magnezyum içeriklerinde önemli düşüslere neden oldu (Tablo 2).

Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kotiledonlarının sodyum içerikleri kontrol grup ortalamasından belirgin olarak yüksekti. Besin çözeltilerine 1 ve 10 ppm alüminyum uygulanması durumunda kotiledonların sodyum içeriklerinde düşük, ancak birbirine benzer ortalama değerler elde edildi. 100 ppm alüminyum uygulaması ise kotiledonların sodyum içeriklerinde önemli bir düşüşe neden oldu (Tablo 2).

Besin çözeltilerine 1 ppm alüminyum uygulanması *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kotiledonlarının demir içeriklerinde hafif bir artışa neden olurken, 10 ve 100 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin kotiledonlarında saptanan demir miktarları Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen ortalama değerden düşüktü (Tablo 2).

Kontrol grubu oluşturan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kotiledonlarında kobalt katyonu belirlenemezken, CoCl_2 formunda kobalt içeren Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen fideciklerin kotiledonlarında önemli bir kobalt birikimi

gözlendi. Buna karşın besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum uygulanması durumunda, fideciklerin kotiledonlarında kobalt katyonu saptanamadı (Tablo 2).

Besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin toplam azot alımlarında çok belirgin bir etkisi görülmedi. Buna karşın fideciklerin özellikle fosfor, kalsiyum, magnezyum ve sodyum alımlarında alüminyum ilavelerine bağlı olarak düzenli düşüşler tespit edildi. Besin çözeltilerine 1 ve 10 ppm alüminyum ilavesi *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin potasyum, demir ve kobalt alımlarında düzensiz artış ve azalışlara neden olurken, 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda her üç elementinde toplam alımlarında çok belirgin düşüslere tanık olundu (Tablo 2).

L. esculentum Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kontrol gruplarında veya Na_2MoO_4 formunda molibden uygulanan serilerinde kökçük, hipokotil ve kotiledonlarda molibden birikimi gözlenmedi. Besin çözeltilerine artan konsantrasyonda alüminyum ilavelerinin de fideciklerin molibden alımları üzerinde olumlu yada olumsuz bir etkisi saptanamadı (Tablo 2).

Tablo 2. Besin çözeltilerindeki artan alüminyum konsantrasyonlarına bağlı olarak *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kökçük, hipokotil ve kotiledonlarının bazı makro ve mikro besin elementleri içerikleri

Konsantrasyon	Bitki Organı	ELEMENTLER									
		N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Co	Al	Mo
KONTROL	kök	3.864	0.950	0.950	1922	12850	7.580	3447	0.189	4.966	0.000
	hipokotil	5.874	1.140	2.290	11854	73059	3.810	4561	0.076	1.690	0.000
	kotiledon	8.422	0.896	0.689	7636	94425	0.689	2984	0.000	1.103	0.000
	toplam	18.160	2.986	3.929	21412	180334	12.079	10992	0.265	7.759	0.000
MS	kök	5.001	1.380	4.140	38781	46731	12.410	14469	0.138	4.966	0.000
	hipokotil	7.548	0.810	7.560	13508	64799	4.070	2100	0.116	1.690	0.000
	kotiledon	9.052	0.866	1.999	10073	69547	1.332	2705	0.133	1.103	0.000
	toplam	21.601	3.056	13.699	62362	181077	17.812	19274	0.387	7.759	0.000
1 PPM	kök	4.436	0.720	2.050	21807	16222	9.240	6581	0.000	10.880	0.000
	hipokotil	7.414	0.880	8.750	13086	68740	2.920	1295	0.058	0.410	0.000
	kotiledon	8.508	0.872	1.868	12105	79010	0.680	3699	0.000	3.487	0.000
	toplam	20.358	2.472	12.668	46998	163972	12.840	11575	0.058	14.777	0.000
10 PPM	kök	4.858	0.600	2.570	18542	17221	7.720	2719	0.086	11.410	0.000
	hipokotil	7.328	0.860	12.310	15255	69563	3.690	9631	0.062	1.660	0.000
	kotiledon	8.900	0.952	2.041	11565	75469	0.680	2449	0.000	1.088	0.000
	toplam	21.086	2.412	16.921	45362	162253	12.090	14799	0.148	14.158	0.000
100 PPM	kök	4.764	0.430	1.220	12584	15168	5.480	2438	0.061	25.230	0.000
	hipokotil	7.335	0.570	5.660	9749	41266	2.830	971	0.041	0.850	0.000
	kotiledon	9.053	0.642	1.376	7468	41284	0.459	1890	0.000	1.147	0.000
	toplam	21.152	1.642	8.256	29801	97718	8.769	5299	0.102	27.227	0.000

L. esculentum Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kök epidermal hücrelerinin bazı makro ve mikro besin elementleri içeriklerine artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun etkileri incelendiğinde, alüminyum uygulamalarının fideciklerin kök epidermal hücrelerinin kükürt, fosfor, sodyum, magnezyum ve kalsiyum içeriklerinde önemli düşüslere neden olduğu gözlenirken, alüminyum uygulanan tüm serilerde kök epidermal hücrelerinde belirlenen azot miktarları Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen değerden yüksekti. Besin çözeltilerine 10 ve 50 ppm alüminyum ilavelerinin fideciklerin karbon, potasyum ve bakır içeriklerinde artışlara neden olduğu gözlendi. 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda ise kök epidermal hücrelerinin karbon, potasyum ve bakır içeriklerinde düzenli düşüşler saptandı. Besin çözeltilerine 10 ppm alüminyum ilavesinin kök epidermal hücrelerinin mangan içeriklerinde artışlara neden olduğu gözlenirken, 50 ve 100 ppm

alüminyum uygulanması durumunda kök epidermal hücrelerinde belirlenen mangan miktarları Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen ortalama değere benzerdi. 200 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin kök epidermal hücrelerinin mangan içeriklerinde ise azalma söz konusu idi. Besin çözeltilerine 50 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin kök epidermal hücrelerinde belirlenen demir miktarı Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen değere benzerdi. 10, 100 ve 200 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin kök epidermal hücrelerinden alınan EDX analizlerinde ise demir elementine rastlanmadı. Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen fideciklerin kök epidermal hücrelerinin klor içerikleri alüminyum uygulanan tüm seriler ile elde edilen değerden yüksekti. 10 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin kök epidermal hücrelerinin alüminyum içeriği Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen değerden düşük iken, 50 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren köklerin alüminyum içeriklerinde artışlar görüldü. Besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum uygulamalarına bağlı olarak kök epidermal hücrelerinin oksijen ve çinko içeriklerinde ise düzensiz artış ve azalışlara tanık olundu (Tablo 3.1-3.5).

Tablo 3.1. Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kök epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.3519	1.709	67.76	60.13	+/-0.54	2.363
N -K	0.0021	8.857	1.84	1.90	+/-2.89	0.064
O -K	0.0685	4.951	28.67	33.89	+/-0.45	---
Se -L	0.0002	1.603	0.01	0.03	+/-0.04	0.000
S -K	0.0029	1.186	0.15	0.35	+/-0.03	0.005
P -K	0.0023	1.257	0.12	0.29	+/-0.02	0.004
Na-K	0.0039	2.191	0.51	0.86	+/-0.10	0.018
Mg -K	0.0010	1.672	0.09	0.17	+/-0.03	0.003
K -K	0.0042	1.200	0.17	0.50	+/-0.06	0.006
Ca -K	0.0032	1.176	0.13	0.37	+/-0.03	0.004
Mn -K	0.0002	1.343	0.01	0.03	+/-0.06	0.000
Fe- K	0.0003	1.329	0.01	0.04	+/-0.07	0.000
Co -K	0.0000	1.374	0.00	0.00	+/-0.08	0.000
Cl -K	0.0076	1.220	0.35	0.92	+/-0.06	0.012
Al -K	0.0019	1.465	0.14	0.28	+/-0.02	0.005
Cu -K	0.0009	2.409	0.04	0.21	+/-0.13	0.002
Zn -K	0.0002	2.132	0.01	0.04	+/-0.17	0.000
Total			100.00	100.00		2.488

Tablo 3.2. 10 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kök epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.3779	1.623	67.53	61.34	+/-0.83	3.963
N -K	0.0133	11.403	14.32	15.16	+/-3.82	0.840
O -K	0.0226	9.117	17.04	20.62	+/-0.63	---
Se -L	0.0000	1.459	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S -K	0.0024	1.188	0.12	0.29	+/-0.03	0.007
P -K	0.0021	1.281	0.11	0.27	+/-0.03	0.007
Na-K	0.0020	2.763	0.32	0.55	+/-0.07	0.019
Mg -K	0.0002	1.960	0.02	0.04	+/-0.03	0.001
K -K	0.0054	1.175	0.22	0.64	+/-0.03	0.013
Ca -K	0.0022	1.151	0.08	0.25	+/-0.03	0.005
Mn -K	0.0006	1.303	0.02	0.08	+/-0.05	0.001
Fe- K	0.0000	1.298	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Co -K	0.0003	1.315	0.01	0.04	+/-0.06	0.001
Cl -K	0.0024	1.208	0.11	0.29	+/-0.03	0.006
Al -K	0.0005	1.609	0.04	0.07	+/-0.02	0.002
Cu -K	0.0013	2.734	0.08	0.36	+/-0.20	0.004
Zn -K	0.0000	2.059	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Total			100.00	100.00		4.869

Tablo 3.3. 50 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kök epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.3717	1.708	70.24	63.50	+/-0.70	4.201
N -K	0.0102	12.004	11.59	12.22	+/-3.11	0.693
O -K	0.0223	9.045	16.72	20.13	+/-0.73	---
Se -L	0.0000	1.486	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S -K	0.0021	1.186	0.10	0.25	+/-0.03	0.006
P -K	0.0019	1.280	0.11	0.25	+/-0.02	0.006
Na-K	0.0008	2.762	0.13	0.22	+/-0.11	0.008
Mg -K	0.0003	1.953	0.04	0.07	+/-0.02	0.002
K -K	0.0111	1.176	0.44	1.31	+/-0.06	0.027
Ca -K	0.0022	1.156	0.08	0.26	+/-0.03	0.005
Mn -K	0.0002	1.298	0.01	0.03	+/-0.05	0.000
Fe -K	0.0003	1.277	0.01	0.04	+/-0.05	0.001
Co -K	0.0001	1.304	0.00	0.02	+/-0.06	0.000
Cl -K	0.0057	1.205	0.26	0.69	+/-0.06	0.015
Al -K	0.0014	1.601	0.11	0.22	+/-0.02	0.006
Cu -K	0.0030	1.355	0.09	0.41	+/-0.08	0.005
Zn -K	0.0030	1.364	0.08	0.41	+/-0.10	0.005
Total			100.0	100.0		4.981

Tablo 3.4. 100 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kök epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.2710	1.785	54.75	48.39	+/-0.51	2.200
N -K	0.0222	9.052	19.49	20.09	+/-1.79	0.783
O -K	0.0350	8.364	24.89	29.30	+/-0.53	---
Se -L	0.0000	1.488	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S -K	0.0014	1.196	0.07	0.17	+/-0.02	0.003
P -K	0.0009	1.300	0.05	0.11	+/-0.01	0.002
Na-K	0.0006	2.966	0.11	0.19	+/-0.07	0.005
Mg -K	0.0002	2.045	0.02	0.04	+/-0.02	0.001
K -K	0.0039	1.177	0.16	0.46	+/-0.03	0.006
Ca -K	0.0012	1.149	0.05	0.14	+/-0.02	0.002
Mn -K	0.0002	1.300	0.01	0.03	+/-0.02	0.000
Fe -K	0.0000	1.297	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Co -K	0.0000	1.329	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Cl -K	0.0052	1.212	0.24	0.63	+/-0.02	0.010
Al -K	0.0015	1.658	0.13	0.25	+/-0.01	0.005
Cu -K	0.0006	2.973	0.04	0.19	+/-0.11	0.002
Zn -K	0.0000	2.572	0.00	0.01	+/-0.12	0.000
Total			100.00	100.00		3.018

Tablo 3.5. 200 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kök epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.1953	1.847	41.83	36.07	+/-0.57	1.286
N -K	0.0378	6.691	25.15	25.29	+/-1.40	0.773
O -K	0.0489	7.644	32.54	37.38	+/-0.56	---
Se -L	0.0001	1.729	0.00	0.01	+/-0.03	0.000
S -K	0.0011	1.210	0.06	0.13	+/-0.01	0.002
P -K	0.0010	1.321	0.06	0.13	+/-0.01	0.002
Na-K	0.0000	2.669	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Mg -K	0.0001	2.137	0.01	0.02	+/-0.02	0.000
K -K	0.0003	1.176	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
Ca -K	0.0003	1.144	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
Mn -K	0.0001	1.292	0.00	0.01	+/-0.02	0.000
Fe -K	0.0000	1.276	0.00	0.00	+/-0.03	0.000
Co -K	0.0002	1.307	0.01	0.03	+/-0.03	0.000
Cl -K	0.0017	1.220	0.08	0.20	+/-0.01	0.002
Al -K	0.0019	1.713	0.17	0.32	+/-0.02	0.005
Cu -K	0.0005	3.163	0.03	0.15	+/-0.09	0.001
Zn -K	0.0007	2.722	0.04	0.20	+/-0.07	0.001
Total			100.00	100.00		2.073

Çalışmamızda besin çözeltilerine 10 ppm alüminyum uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin köklerinde çok yoğun olarak kök emici tüyü gelişimine tanık olundu. Besin çözeltilerine 50 ve 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda fideciklerin köklerinde uzama büyümesinin önemli ölçüde indirildiği gözlenirken, kök emici tüyü gelişimi yine de vardı. Buna karşın 200 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren hem kök uzama büyümesinde, hem de kök tüyü gelişiminde çok belirgin bir inhibisyon saptandı. Bu yüzden özellikle besin çözeltilerine 10 ppm alüminyum uygulanan fideciklerde EDX analizleri kök tüylerinin çok yoğun olduğu bir epidermal bölgeden alınmak zorunda idi. Bu EDX analizleri sonuçları değerlendirilirken dikkate alınması gereken bir noktadır. Bunun yanında besin çözeltilerine 10 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin sadece kök emici tüylerinden de bir EDX analizi gerçekleştirildi. 10 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin kök emici tüylerinin bazı makro ve mikro besin elementi içerikleri tablo 3.6'da verilmiştir (Tablo 3.6).

Tablo 3.6. 10 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kök emici tüylerinde gerçekleştirilen EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.3250	1.736	62.76	56.41	+/-0.67	3.668
N -K	0.0184	10.688	18.79	19.70	+/-2.67	1.098
O -K	0.0218	9.387	17.11	20.48	+/-0.76	---
Se -L	0.0000	1.464	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S -K	0.0030	1.184	0.15	0.35	+/-0.02	0.009
P -K	0.0013	1.280	0.07	0.17	+/-0.02	0.004
Na-K	0.0012	2.787	0.20	0.34	+/-0.05	0.011
Mg -K	0.0009	1.960	0.09	0.17	+/-0.02	0.005
K -K	0.0085	1.177	0.34	1.00	+/-0.05	0.020
Ca -K	0.0026	1.154	0.10	0.30	+/-0.02	0.006
Mn -K	0.0001	1.305	0.00	0.02	+/-0.03	0.000
Fe -K	0.0006	1.287	0.02	0.07	+/-0.03	0.001
Co -K	0.0000	1.332	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Cl -K	0.0065	1.206	0.30	0.78	+/-0.05	0.017
Al -K	0.0005	1.612	0.04	0.09	+/-0.02	0.002
Cu -K	0.0004	2.795	0.03	0.12	+/-0.15	0.002
Zn -K	0.0000	2.075	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Total			100.00	100.00		4.845

L. esculentum Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin bazı makro ve mikro besin elementleri içeriklerine artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun etkileri incelendiğinde, besin çözeltilerine 10 ve 50 ppm alüminyum ilavelerinin hipokotil epidermal hücrelerinin karbon içeriklerinde düzenli artışlara neden olduğu görüldü. 100 ve 200 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin hipokotil epidermal hücrelerinin karbon içeriklerinde ise düşüşler söz konusu idi. Besin çözeltilerine 10 ve 50 ppm alüminyum ilaveleri hipokotil epidermal hücrelerinin azot içeriklerinde belirgin bir farklılık yaratmadı. Buna karşın 100 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren hipokotil epidermal hücrelerinin azot içeriklerinde düşüşler belirlendi. Besin çözeltilerine 10 ppm alüminyum ilavesi hipokotil epidermal hücrelerinin oksijen içeriklerinde belirgin bir farklılığa neden olmazken, 50 ppm alüminyum konsantrasyonunda hafif bir düşüş söz konusu idi. Buna karşın 100 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren hipokotil epidermal hücrelerinin oksijen içeriklerinin arttığı görüldü. Besin çözeltilerine 10, 50 ve 100 ppm alüminyum ilave edilmesi durumunda, hipokotil epidermal hücrelerinin fosfor içeriklerinde artışlar kaydedildi.

200 ppm alüminyum konsantrasyonunda hipokotil epidermal hücrelerinin fosfor içeriklerinde düşüş gözlemlendi. Ancak 200 ppm alüminyum konsantrasyonunda hipokotil epidermal hücrelerinde belirlenen fosfor birikimi Murashige-Skoog besin çözeltilerinde belirlenen değerden yüksekti. Besin çözeltilerine 10 ve 50 ppm alüminyum ilave edilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin kalsiyum içeriklerinde artışlara tanık olunurken, 100 ve 200 ppm alüminyum ilavelerinde düşük, ancak birbirine benzer değerler elde edildi. 10 ppm alüminyum konsantrasyonunda hipokotil epidermal hücrelerinin mangan içeriklerinde hafif bir artış gözlenirken, 50, 100 ve 200 ppm alüminyum ilavelerinde hipokotil epidermal hücrelerinde mangan elementine rastlanmadı. Bunun yanında gerek Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen ve gerekse besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum ilave edilen fideciklerin hipokotil epidermal hücrelerinde kobalt birikimine tanık olunamadı. Besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum ilavesi hipokotil epidermal hücrelerinin klor içeriklerinde artışlara neden olurken, 10 ve 50 ppm değerlerinin benzer olduğu gözlemlendi. 10 ve 50 ppm alüminyum konsantrasyonlarında hipokotil epidermal hücrelerinin alüminyum içerikleri de benzer değerleri verirken, 100 ppm'de belirgin bir artış kaydedildi. 200 ppm alüminyum konsantrasyonunda ise düşüş söz konusu idi. 200 ppm'e kadar olan alüminyum konsantrasyonlarında hipokotil epidermal hücrelerinin magnezyum içeriklerinde birbirine yakın ortalama değerler elde edilirken, 200 ppm alüminyum konsantrasyonunda hipokotil epidermal hücrelerinde magnezyum elementine rastlanmadı. Besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum ilaveleri hipokotil epidermal hücrelerinin kükürt ve sodyum içeriklerinde çok dikkat çekici farklılıklar yaratmadı. Hipokotil epidermal hücrelerinin potasyum, demir, bakır ve çinko içeriklerinde ise alüminyum konsantrasyonları artışlarına bağlı olarak düzensiz artış ve azalışlar saptandı (Tablo 3.7-3.11)

Tablo 3.7. Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C-K	0.0913	1.966	21.77	17.95	+/-0.38	0.461
N-K	0.0824	3.609	30.92	29.73	+/-0.76	0.656
O-K	0.0827	6.263	47.16	51.81	+/-0.35	---
Se-L	0.0000	1.725	0.00	0.00	+/-0.01	0.000
S-K	0.0001	1.219	0.00	0.01	+/-0.01	0.000
P-K	0.0000	1.340	0.00	0.01	+/-0.01	0.000
Na-K	0.0001	3.409	0.02	0.02	+/-0.04	0.000
Mg-K	0.0000	2.280	0.01	0.01	+/-0.01	0.000
K-K	0.0006	1.173	0.03	0.08	+/-0.01	0.001
Ca-K	0.0001	1.141	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
Mn-K	0.0000	1.286	0.00	0.01	+/-0.01	0.000
Fe-K	0.0001	1.268	0.00	0.01	+/-0.01	0.000
Co-K	0.0000	1.299	0.00	0.00	+/-0.01	0.000
Cl-K	0.0002	1.223	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
Al-K	0.0001	1.784	0.01	0.01	+/-0.01	0.000
Cu-K	0.0004	3.483	0.03	0.14	+/-0.06	0.001
Zn-K	0.0006	2.980	0.04	0.17	+/-0.07	0.001
Total			100.00	100.00		1.120

Tablo 3.8. 10 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.1085	1.711	22.47	18.56	+/-0.39	0.483
N -K	0.1014	2.933	30.86	29.72	+/-0.77	0.664
O -K	0.1131	4.523	46.50	51.17	+/-0.33	---
Se -L	0.0000	1.651	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S -K	0.0002	1.195	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
P -K	0.0001	1.278	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
Na-K	0.0000	2.354	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Mg -K	0.0001	1.819	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
K -K	0.0012	1.191	0.05	0.14	+/-0.01	0.001
Ca -K	0.0002	1.164	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
Mn -K	0.0002	1.333	0.01	0.02	+/-0.03	0.000
Fe- K	0.0000	1.325	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Co -K	0.0000	1.358	0.00	0.00	+/-0.03	0.000
Cl -K	0.0003	1.220	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
Al -K	0.0001	1.539	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
Cu -K	0.0003	2.830	0.02	0.09	+/-0.05	0.000
Zn -K	0.0006	2.454	0.03	0.15	+/-0.03	0.001
Total			100.00	100.00		1.151

Tablo 3.9. 50 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.1086	1.925	25.12	20.90	+/-0.40	0.561
N -K	0.0712	4.075	29.93	29.03	+/-0.86	0.668
O -K	0.0766	6.484	44.80	49.65	+/-0.36	---
Se -L	0.0000	1.690	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
S -K	0.0001	1.216	0.00	0.01	+/-0.01	0.000
P -K	0.0003	1.338	0.02	0.04	+/-0.01	0.000
Na-K	0.0001	3.354	0.02	0.03	+/-0.02	0.000
Mg -K	0.0001	2.246	0.01	0.01	+/-0.01	0.000
K -K	0.0007	1.173	0.03	0.08	+/-0.01	0.001
Ca -K	0.0003	1.141	0.01	0.04	+/-0.01	0.000
Mn -K	0.0000	1.296	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Fe- K	0.0002	1.273	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
Co -K	0.0000	1.306	0.00	0.00	+/-0.02	0.000
Cl -K	0.0002	1.221	0.01	0.03	+/-0.01	0.000
Al -K	0.0001	1.776	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
Cu -K	0.0008	1.342	0.02	0.10	+/-0.02	0.001
Zn -K	0.0002	1.348	0.01	0.02	+/-0.03	0.000
Total			100.00	100.00		1.232

Tablo 3.10. 100 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.0850	2.040	21.21	17.34	+/-0.34	0.414
N -K	0.0730	3.562	27.26	26.00	+/-0.65	0.532
O -K	0.0986	5.660	51.25	55.83	+/-0.28	---
Se -L	0.0000	1.833	0.00	0.00	+/-0.01	0.000
S -K	0.0003	1.223	0.02	0.03	+/-0.01	0.000
P -K	0.0003	1.351	0.02	0.05	+/-0.01	0.000
Na-K	0.0001	3.467	0.01	0.02	+/-0.04	0.000
Mg -K	0.0001	2.312	0.01	0.02	+/-0.01	0.000
K -K	0.0012	1.174	0.05	0.15	+/-0.01	0.001
Ca -K	0.0001	1.141	0.00	0.01	+/-0.01	0.000
Mn -K	0.0000	1.288	0.00	0.00	+/-0.00	0.000
Fe- K	0.0000	1.265	0.00	0.01	+/-0.01	0.000
Co -K	0.0000	1.300	0.00	0.00	+/-0.02	0.000
Cl -K	0.0005	1.225	0.03	0.07	+/-0.01	0.001
Al -K	0.0003	1.814	0.03	0.05	+/-0.01	0.001
Cu -K	0.0008	3.551	0.07	0.28	+/-0.06	0.001
Zn -K	0.0004	3.035	0.03	0.13	+/-0.06	0.001

Tablo 3.11. 200 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin hipokotil epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Elementler ve % Element Ağırlıkları																
C-K	N-K	O-K	Se-L	S-K	P-K	Na-K	Mg-K	K-K	Ca-K	Mn -K	Fe-K	Co-K	Cl-K	Al-K	Cu-K	Zn -K
14.20	25.10	60.22	0	0.02	0.03	0.02	0	0.07	0.01	0	0	0	0.11	0.11	0.13	0.07

L. esculentum Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kotiledonlarının üst ve alt epidermal hücrelerinin bazı makro ve mikro besin elementleri içeriklerine artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun etkileri incelendiğinde, alüminyum uygulamalarının fideciklerin kotiledon epidermal hücrelerinin karbon ve azot içeriklerini arttırdığı görüldü. Bu artış özellikle azot elementi için alüminyum konsantrasyonu artışına bağlı düzenli bir artış iken, karbon elementinin en yüksek değeri 10 ppm alüminyum konsantrasyonu ile elde edildi. 50 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren de fideciklerin karbon içeriklerinde düşüşler söz konusu idi. Besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum ilavelerinin kotiledon epidermal hücrelerinin oksijen, sodyum, kalsiyum ve bakır içeriklerinde belirgin düşümlere neden olduğu saptandı. Besin çözeltilerine 10 ppm alüminyum ilavesi kotiledon epidermal hücrelerinin kükürt, fosfor, magnezyum, potasyum ve çinko içeriklerinde artışlara neden olurken, 50 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren kotiledon epidermal hücrelerinin söz konusu element içeriklerinde çok belirgin düşümlere tanık olundu. Besin çözeltilerine 10 ve 50 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin kotiledon epidermal hücrelerinin mangan içeriklerinde düşüş gözlenirken, 100 ppm alüminyum konsantrasyonunda Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen değere benzer bir ortalama değer elde edildi. 200 ppm alüminyum uygulanması durumunda ise kotiledon epidermal hücrelerinin mangan içeriklerinde tekrar belirgin bir düşüş saptandı. Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen ve besin çözeltilerine 10 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin kotiledon epidermal hücrelerinde kobalt birikimine rastlanmazken, 50, 100 ve 200 ppm alüminyum konsantrasyonlarında kobalt birikimlerine tanık olundu. Ancak 50, 100 ve 200 ppm değerleri birbirine yakın ortalama değerlerdi. Besin çözeltilerine 10, 50 ve 100 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin kotiledon epidermal hücrelerinin klor içerikleri Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen ortalama değerden düşüktü. Besin çözeltilerine 200 ppm alüminyum uygulanması durumunda Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilene yakın bir ortalama değer elde edildi. Besin çözeltilerine 10 ve 50 ppm alüminyum uygulanması kotiledon epidermal hücrelerinin alüminyum içeriklerinde artışlara neden olurken, 100 ppm değeri Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen değere benzerdi. 200 ppm alüminyum uygulanması durumunda ise kotiledon epidermal hücrelerinin alüminyum içeriklerinde düşüş gözlendi. Besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum ilaveleri kotiledon epidermal hücrelerinin demir içeriklerinde düzensiz artış ve azalışlara neden oldu (Tablo 3.12-3.16).

Tablo 3.12. Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kotiledon alt ve üst epidermal hücrelerinde gerçekleştirilen EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0,08805	1,9565	20,980	17,130	0,470	0,4190
N -K	0,06160	1,7950	22,075	21,100	0,850	0,4535
O-K	0,18165	4,6080	56,350	60,315	0,375	0,0000
Se-I	0,00005	1,7890	0,000	0,010	0,010	0,0000
S -K	0,00035	1,2105	0,020	0,040	0,015	0,0000
P-K	0,00110	1,3165	0,070	0,140	0,015	0,0015
Na-K	0,00090	2,9725	0,150	0,230	0,040	0,0020
Ng-K	0,00085	2,0675	0,100	0,165	0,015	0,0015
K -K	0,00070	1,1805	0,030	0,080	0,020	0,0005
Ca-K	0,00055	1,1490	0,025	0,065	0,020	0,0005
Mn-K	0,00020	1,3015	0,005	0,025	0,035	0,0000
Fe-K	0,00010	1,2845	0,005	0,015	0,005	0,0000
Co-K	0,00000	1,3215	0,000	0,000	0,000	0,0000
Cu-L	0,00180	3,1820	0,130	0,545	0,095	0,0020
Zn-I	0,00005	2,7420	0,010	0,050	0,035	0,0005
Cl-K	0,00050	1,2225	0,025	0,065	0,015	0,0005
Al-K	0,00015	1,6840	0,015	0,030	0,015	0,0000
Total			100	100		0,8825

Tablo 3.13. 10 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kotiledon alt ve üst epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0,15435	1,9255	35,125	29,720	0,445	0,8785
N -K	0,04325	5,6150	24,000	23,640	1,095	0,5930
O-K	0,06820	6,6755	40,390	45,465	0,400	0,0000
Se-I	0,00000	1,6415	0,000	0,000	0,000	0,0000
S -K	0,00055	1,2175	0,030	0,070	0,010	0,0005
P-K	0,00250	1,3315	0,150	0,330	0,010	0,0040
Na-K	0,00010	3,2505	0,020	0,035	0,055	0,0005
Ng-K	0,00105	2,2015	0,130	0,225	0,010	0,0030
K -K	0,00100	1,1750	0,045	0,120	0,010	0,0010
Ca-K	0,00050	1,1435	0,015	0,050	0,010	0,0005
Mn-K	0,00010	1,2940	0,005	0,015	0,010	0,0000
Fe-K	0,00000	1,2765	0,000	0,000	0,000	0,0000
Co-K	0,00000	1,3030	0,000	0,000	0,000	0,0000
Cu-L	0,00030	1,2225	0,015	0,040	0,010	0,0005
Zn-I	0,00010	1,7520	0,010	0,015	0,010	0,0000
Cl-K	0,00110	1,3440	0,030	0,150	0,030	0,0010
Al-K	0,00105	1,3505	0,030	0,140	0,040	0,0010
Total			100,000	100,000		1,4835

Tablo 3.14. 50 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kotiledon alt ve üst epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0,13985	1,8905	31,345	26,425	0,465	0,7845
N -K	0,05590	3,5015	28,395	27,910	1,190	0,7105
O-K	0,06465	6,9365	39,945	44,855	0,405	0,0000
Se-I	0,00000	1,6465	0,000	0,000	0,000	0,0000
S -K	0,00025	1,2145	0,010	0,030	0,010	0,0000
P-K	0,00115	1,3325	0,070	0,150	0,010	0,0015
Na-K	0,00015	3,2810	0,035	0,050	0,040	0,0005
Ng-K	0,00045	2,2130	0,055	0,100	0,010	0,0015
K -K	0,00065	1,1740	0,030	0,075	0,010	0,0010
Ca-K	0,00040	1,1420	0,015	0,040	0,010	0,0000
Mn-K	0,00010	1,2895	0,000	0,015	0,020	0,0000
Fe-K	0,00010	1,2730	0,000	0,015	0,020	0,0000
Co-K	0,00015	1,3045	0,005	0,015	0,020	0,0000
Cu-L	0,00025	1,2205	0,010	0,025	0,010	0,0000
Zn-I	0,00030	1,7555	0,030	0,055	0,010	0,0005
Cl-K	0,00100	1,3440	0,030	0,135	0,030	0,0010
Al-K	0,00080	1,3515	0,020	0,105	0,035	0,0010
Total			100,000	100,000		1,5035

Tablo 3.15. 100 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kotiledon alt ve üst epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.12100	1.9145	27.590	23.095	0.560	0.6495
N -K	0.06530	2.9465	29.320	28.585	1.325	0.6845
O-K	0.07180	6.6655	42.865	47.730	0.480	0.0000
Se-I	0.00000	1.7150	0.000	0.000	0.010	0.0000
S -K	0.00020	1.2155	0.005	0.020	0.010	0.0000
P-K	0.00095	1.3355	0.060	0.130	0.010	0.0015
Na-K	0.00010	3.1310	0.015	0.025	0.015	0.0005
Ng-K	0.00025	2.2325	0.040	0.065	0.010	0.0010
K -K	0.00065	1.1730	0.025	0.070	0.010	0.0005
Ca-K	0.00040	1.1415	0.020	0.050	0.015	0.0005
Mn-K	0.00020	1.2945	0.005	0.025	0.015	0.0000
Fe-K	0.00005	1.2485	0.000	0.005	0.015	0.0000
Co-K	0.00005	1.3065	0.000	0.010	0.025	0.0000
Cu-I	0.00035	3.3960	0.025	0.115	0.075	0.0005
Zn-I	0.00010	2.7620	0.005	0.035	0.025	0.0000
Cl-K	0.00015	1.2215	0.005	0.015	0.010	0.0000
Al-K	0.00015	1.7675	0.015	0.030	0.010	0.0000
Total			100.000	100.000		1.3405

Tablo 3.16. 200 ppm alüminyum uygulanan Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kotiledon alt ve üst epidermal hücrelerinin EDX analizleri sonuçları

Element	k-oranı	ZAF	% Atom	% Element Ağırlığı	% Ağırlık Hata	Katyonların Sayısı
C -K	0.13900	1.8630	30.590	25.850	0.460	0.7850
N -K	0.06115	4.8820	29.975	29.465	1.145	0.7625
O-K	0.06235	7.0990	39.280	44.170	0.410	0.0000
Se-I	0.00000	1.7025	0.000	0.000	0.010	0.0000
S -K	0.00020	1.2130	0.010	0.025	0.010	0.0000
P-K	0.00055	1.3295	0.035	0.080	0.010	0.0010
Na-K	0.00020	3.2775	0.045	0.070	0.020	0.0015
Ng-K	0.00010	2.2045	0.010	0.015	0.010	0.0000
K -K	0.00035	1.1730	0.015	0.040	0.010	0.0000
Ca-K	0.00030	1.1415	0.015	0.040	0.010	0.0000
Mn-K	0.00005	1.2910	0.000	0.010	0.010	0.0000
Fe-K	0.00005	1.2810	0.000	0.010	0.015	0.0000
Co-K	0.00010	1.3135	0.005	0.015	0.010	0.0000
Cu-L	0.00040	3.3355	0.030	0.140	0.070	0.0010
Zn-I	0.00000	2.4890	0.000	0.000	0.000	0.0000
Cl-K	0.00045	1.2195	0.020	0.060	0.010	0.0005
Al-K	0.00010	1.7465	0.010	0.020	0.010	0.0000
Total			100.000	100.000		1.5530

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Alüminyuma bitkilerin uzun süreli maruz kalması durumunda besin noksanlıkları (magnezyum, kalsiyum, fosfor), kuraklık stresi ve fitohormon dengesizlikleri yoluyla sürgün büyümesinin inhibe edilebileceği belirtilmektedir (2). *Leucaena leuccephala*'nın 4 suşunun gelişmesi üzerine alüminyum toksisitesinin ve pH'nın etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, alüminyumun fidelerin gelişmesi üzerinde şiddetli bir etkisinin olduğu ve 50 ppm'in üzerinde alüminyumun 10 gün içinde soluk renksiz yapraklara ve klorozise, eğri, sert yapılı, bodur gövdelere, sürgün ve köklerde kuru ağırlık azalmalarına neden olduğu, kültür çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonları artarken, yapraklar ve köklerdeki fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriklerinin azaldığı, buna karşın azot içeriğinin çok fazla etkilenmediği ve azot noksanlık semptomlarının gözlenmediği ifade edilmektedir (17). Goransson ve Eldhuset, 2 hafta yaşlı *Picea abies*, *Pinus sylvestris* ve ektomikorizal fungus *Suillus bovinus* ile inoküle edilen *Pinus sylvestris* fidelerinin tam besin çözeltilerindeki ön

kültür gelişme ortamlarına alüminyum, $AlCl_3$ veya $Al(NO_3)_3$ formunda, 0.2-30 mM konsantrasyonunda ve pH 3.8'de ilave ettiklerinde, *Picea abies*'te 0.3 mM, *Pinus sylvestris*'te 6 mM ve ektomikorizal fungus ile inoküle edilen *Pinus sylvestris*'te 10 mM alüminyum konsantrasyonlarında nisbi büyüme oranlarında azalmalar kaydetmişlerdir (18). Ayrıca kalsiyum ve magnezyum elementleri için alınma oranlarının *Picea abies*'te 0.2 mM, *Pinus sylvestris*'te 1mM ve ektomikorizal *Pinus sylvestris*'te 3 mM alüminyum konsantrasyonlarında nisbi büyüme oranlarını etkilemeksizin azaldığını gözlemişlerdir (18). Bancelo ve arkadaşları, 33 fM alüminyum içeren besin çözeltilerinde yetiştirilen *Zea mays* L. ssp. *mexicana* bitkilerinde şiddetli büyüme azalmalarına tanık olduklarını, ancak besin çözeltilerine düşük konsantrasyonlarda silisyum ilavelerinin alüminyum toleransını muhafaza etmek için kullanılabileceğini belirtirlerken (19), Konishi ve arkadaşları, *Camellia sinensis*'te polen tüpü büyümesi üzerinde 10 fM alüminyumun %70 oranında inhibe edici etkisi olduğunu saptamışlardır (20). Bizim çalışmamızda *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideliklerinin kökçük, hipokotil, kotiledon ve toplam fide ağırlıklarında besin çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonları artışlarına bağlı olarak düzenli düşüşler gözlemlendi. Buna karşın besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) tohumlarının çimlenme özelliklerinde çok belirgin bir etkisi görülmedi. Sadece 200 ppm alüminyum konsantrasyonunda tohumların çimlenme özelliklerinde hafif bir düşüş söz konusu idi.

Alüminyumun bitki yaşamında bazı mineral elementlerin alımını etkilediği, bazı mineral elementlerin de bitkilerin alüminyum metabolizmaları üzerinde etkin olabildiği bilinmektedir. Örneğin Widel ve arkadaşlarının *Picea abies* ile yaptıkları çalışmalarında, bitkilerin aktif potasyum alımı alüminyum uygulamaları ile inhibe edilirken, test edilen tüm konsantrasyonlarda pasif kalsiyum alımının da şiddetle inhibe edildiği bildirilmektedir (6). *Nicotiana tabacum* hücre süspansiyon kültürlerinde demir, bakır ve kadmiyum toksisitesi üzerine alüminyumun etkilerini araştıran bir çalışmada, alüminyumun demir ile sinerjistik olarak, bakır ile antagonistik olarak karşılıklı etkileşim halinde olduğu, kadmiyum elementi üzerinde ise etkisinin olmadığı gözlenmiştir (21). *Oryza sativa* ve *Phaseolus vulgaris* bitkileri ile yapılan bir çalışmada, alüminyumun *Oryza sativa*'nın toprak üstü kısımlarının mangan ve çinko hariç besin elementi konsantrasyonlarını azalttığı saptanmış, buna karşın *Phaseolus vulgaris* ürünündeki hemen hemen tüm besin elementi konsantrasyonları alüminyum seviyelerindeki artış ile birlikte artış göstermiştir (22). Bor alüminyum stresi altında yetiştirilen *Phaseolus aureus* fideliklerinin epikotil ve hipokotil uzamasını, fide yüksekliğini, taze ve kuru ağırlıklarını önemli ölçüde arttırmış, keza yüksek konsantrasyonlarda bor, 2 mM alüminyum uygulanan fidelerdeki çözülebilir protein içeriğini azaltırken, klorofil içeriğini arttırmıştır. Ancak borun alüminyum varlığında yetiştirilen köksüz kalemler üzerinde, her ne kadar çözülebilir protein içeriğini arttırmış olsa da, iyileştirici bir etkisi belirlenmemiştir (23). Araştırmacılar buna dayanarak alüminyum toksisitesinin bor yardımı ile iyileştirilmesinin kök fonksiyonları ile ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır (23). Yüksek konsantrasyonda alüminyum içeren (20 ppm) besin çözeltilerine ilave edilen floridin *Oryza sativa*'nın besin absorpsiyonunu ve kuru materyalinde bir artışı teşvik ettiği bildirilmektedir (24). Tang ve arkadaşlarının gerçekleştirdikleri bu çalışmada 15 ppm gibi yüksek florid konsantrasyonları kök büyüme ve gelişmesini azaltmaksızın alüminyum toksisitesi eşliğini 15-20 ppm alüminyum konsantrasyonuna kadar arttırmıştır. Bu gözlemlerine dayanarak araştırmacılar fluorapatit formunda küçük florid ilaveleri ile asit topraklardaki ürün verimliliğinin ıslah edilebileceğini düşünmektedirler (24).

Bizim çalışmamızda kontrol grup ile karşılaştırıldığında, Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H2274 (domates) fideliklerinin köklerinde

önemli bir azot birikimine tanık olunurken, 1 ppm alüminyum uygulaması ile birlikte köklerin azot içeriklerinde düşüşler gözlemlendi. Ancak besin çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonları artışları ile köklerin azot içeriklerinde gözlenen düşüşler arasında lineer bir ilişki kurulamadı. Bir başka ifade ile bunlar birbirine çok yakın değerlerdi. Buna karşın köklerin fosfor, kalsiyum, sodyum ve demir içeriklerinde besin çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonları artışlarına bağlı olarak belirgin düşüşler saptandı. Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H2274 (domates) fideciklerinin köklerinde önemli bir potasyum birikimine tanık olunurken, 1 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren köklerin potasyum içeriklerinde düşüşler kaydedildi. Ancak 1 ve 10 ppm alüminyum ilavelerinde birbirine yakın ortalama değerler elde edilirken, 100 ppm alüminyum konsantrasyonunda köklerin potasyum içeriklerinde çok belirgin bir azalmaya tanık olundu. Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H2274 (domates) fideciklerinin köklerinin magnezyum içerikleri de oldukça yüksekti. Besin çözeltilerine 1 ppm alüminyum ilavesi köklerin magnezyum içeriklerinde belirgin bir düşüşe neden oldu. 10 ppm alüminyum konsantrasyonunda hafif bir yükseliş gözlenirken, 100 ppm'de köklerin magnezyum içeriğinde tekrar belirgin bir düşüş saptandı.

Çalışmamızda alüminyum uygulamalarının fideciklerin kök epidermal hücrelerinin kükürt, fosfor, sodyum, magnezyum ve kalsiyum içeriklerinde önemli düşümlere neden olduğu gözlenirken, alüminyum uygulanan tüm serilerde kök epidermal hücrelerinde belirlenen azot miktarları Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen değerden yüksekti. Besin çözeltilerine 10 ve 50 ppm alüminyum ilaveleri fideciklerin karbon, potasyum ve bakır içeriklerinde, keza 10 ppm alüminyum ilavesi kök epidermal hücrelerinin mangan içeriklerinde artışlara neden olurken, 100 ppm alüminyum konsantrasyonunda kök epidermal hücrelerinin karbon, potasyum ve bakır içeriklerinde, 200 ppm alüminyum konsantrasyonunda ise mangan içeriklerinde düşümlere tanık olundu. 10, 100 ve 200 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin kök epidermal hücrelerinden alınan EDX analizlerinde demir elementine rastlanmazken, Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen fideciklerin kök epidermal hücrelerinin klor içeriği alüminyum uygulanan tüm seriler ile elde edilen değerden yüksekti. Besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum ilavelerine bağlı olarak kök epidermal hücrelerinin oksijen ve çinko içeriklerinde düzensiz artış ve azalışlara tanık olunurken, 50 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren köklerin alüminyum içeriklerinde artışlar gözlemlendi.

Çalışmamızda Murashige-Skoog besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun etkisiyle *L. esculentum* Mill. cv. H2274 (domates) fideciklerinin hipokotillerinin azot içeriklerinde çok belirgin etkisi olmayan düşümler gözlemlendi. Besin çözeltilerine 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda hipokotillerin fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve demir içeriklerinde önemli düşümlere tanık olundu. Buna karşın besin çözeltilerine 1 ve 10 ppm alüminyum ilave edilmesi durumunda hipokotillerin fosfor, potasyum ve magnezyum içeriklerinin Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen ortalama değerlerden yüksek olduğu görüldü. 10 ppm alüminyum konsantrasyonunda hipokotillerin kalsiyum ve demir içerikleri de Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen ortalama değerlerden yüksekti. Besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum ilavesi hipokotillerin sodyum içeriklerinde düşümlere neden oldu. Bu düşüş özellikle 100 ppm alüminyum konsantrasyonunda dikkat çekici idi.

Besin çözeltilerine 10 ve 50 ppm alüminyum ilaveleri hipokotil epidermal hücrelerinin karbon içeriklerinde düzenli artışlara neden olurken, 100 ve 200 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin hipokotil epidermal hücrelerinin karbon içeriklerinde düşümler saptandı. Besin çözeltilerine 10 ve 50 ppm alüminyum ilaveleri hipokotil epidermal hücrelerinin azot

içeriklerinde belirgin bir farklılık yaratmazken, 100 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren hipokotil epidermal hücrelerinin azot içeriklerinde düşüşler kaydedildi. Besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum ilavelerinin hipokotil epidermal hücrelerinin kükürt ve sodyum içeriklerinde çok dikkat çekici farklılıklar yaratmadığı saptandı. Potasyum, demir, bakır ve çinko içeriklerinde ise alüminyum konsantrasyonları artışlarına bağlı olarak düzensiz artış ve azalışlar tespit edildi. İnceleme kapsamına alınan tüm serilerde hipokotil epidermal hücrelerinin fosfor içerikleri Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilen değerden yüksek iken, 10 ve 50 ppm alüminyum konsantrasyonlarında hipokotil epidermal hücrelerinin kalsiyum içeriklerinde de artışlara tanık olundu. 100 ve 200 ppm alüminyum konsantrasyonlarında ise düşük, ancak birbirine benzer ortalama değerler elde edildi. Keza 10 ppm alüminyum ilavesi hipokotil epidermal hücrelerinin mangan içeriklerinde de hafif bir artışa neden olurken, 50, 100 ve 200 ppm alüminyum konsantrasyonlarında mangan elementine rastlanmadı. 200 ppm'e kadar olan alüminyum konsantrasyonlarında hipokotil epidermal hücrelerinin magnezyum içeriklerinde birbirine yakın ortalama değerler elde edilirken, 200 ppm alüminyum konsantrasyonunda magnezyum elementine rastlanmadı. Besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum ilavesi hipokotil epidermal hücrelerinin klor içeriklerinde artışlara neden olurken, 10 ve 50 ppm alüminyum konsantrasyonlarında benzer ortalama değerler elde edildi. 10 ve 50 ppm alüminyum konsantrasyonlarında hipokotil epidermal hücrelerinin alüminyum içerikleri de benzer değerleri verirken, 100 ppm alüminyum konsantrasyonunda bir artış, 200 ppm alüminyum konsantrasyonunda ise düşüş söz konusu idi. İnceleme kapsamına alınan tüm serilerin hipokotil epidermal hücrelerinde kobalt elementine rastlanmadı.

Çalışmamızda Murashige-Skoog besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda ilave edilen alüminyum *L. esculentum* Mill. cv. H2274 (domates) fideciklerinin kotiledonlarının azot içeriklerinde çok belirgin bir farklılığa neden olmadı. Besin çözeltilerine 1 ve 10 ppm alüminyum uygulanması durumunda fideciklerin kotiledonlarında belirlenen fosfor, kalsiyum ve magnezyum miktarları Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen fideciklerin kotiledonlarında saptanan ortalama değerlerden yüksekti. Ancak 100 ppm alüminyum konsantrasyonunda kotiledonların söz konusu element içeriklerinde çok belirgin düşüşlere tanık olundu. Besin çözeltilerine 1 ppm alüminyum uygulanması durumunda, *L. esculentum* Mill. cv. H2274 (domates) fideciklerinin kotiledonlarının potasyum içeriklerinde hafif bir düşüş gözlenirken, 10 ppm alüminyum konsantrasyonunda Murashige-Skoog besin çözeltilerinde gözlenen değere yakın bir ortalama değer elde edildi. Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H2274 (domates) fideciklerinin kotiledonlarının sodyum içeriklerinin kontrol grup ortalamasından belirgin olarak yüksek olduğu görüldü. Besin çözeltilerine 1 ve 10 ppm alüminyum uygulanması durumunda, kotiledonların sodyum içeriklerinde düşük, ancak birbirine benzer ortalama değerler elde edilirken, 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda ise kotiledonların sodyum ve potasyum içeriklerinde çok belirgin düşüşler saptandı.

Çalışmamızda besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum ilavelerinin kotiledon epidermal hücrelerinin karbon ve azot içeriklerini arttırdığı gözlenirken, oksijen, sodyum, kalsiyum ve bakır içeriklerinde ise belirgin düşüşler saptandı. Buna karşın besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum ilavesi kotiledon epidermal hücrelerinin demir içeriklerinde düzensiz artış ve azalışlara neden oldu. Besin çözeltilerine 10 ppm alüminyum uygulanması kotiledon epidermal hücrelerinin kükürt, fosfor, magnezyum, potasyum ve çinko içeriklerinde artışlara neden olurken, 50 ppm alüminyum konsantrasyonundan itibaren kotiledon epidermal hücrelerinin söz konusu element içeriklerinde çok belirgin düşüşlere tanık olundu. Besin çözeltilerine 10, 50 ve 200 ppm

alüminyum uygulanması durumunda kotiledon epidermal hücrelerinin mangan içeriklerinde düşüşler gözlenirken, 100 ppm alüminyum konsantrasyonunda Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilene benzer bir ortalama değer elde edildi. Besin çözeltilerine 10, 50 ve 100 ppm alüminyum uygulanan fiduciklerin kotiledon epidermal hücrelerinin klor içeriklerinde düşüşler gözlenirken, 200 ppm alüminyum konsantrasyonunda Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilene benzer bir ortalama değer elde edildi. Besin çözeltilerine 10 ve 50 ppm alüminyum uygulanması kotiledon epidermal hücrelerinin alüminyum içeriklerinde artışlara neden olurken, 100 ppm alüminyum konsantrasyonunda Murashige-Skoog besin çözeltileri ile elde edilene benzer bir ortalama değer elde edildi. 200 ppm alüminyum konsantrasyonunda ise kotiledon epidermal hücrelerinin alüminyum içeriklerinde düşüş söz konusu idi. *L. esculentum*'da alüminyum toksisitesini araştıran bir çalışmada, uygulanan alüminyum konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak, besin çözeltilerinden bakır, mangan, molibden, çinko, bor ve demir alımlarının azaldığı, alüminyum uygulamalarının kök, gövde ve yaprakların kalsiyum, potasyum, magnezyum, mangan, demir ve çinko içeriklerini azalttığı, buna karşın köklerde fosfor, molibden ve bakır birikimini yükselttiği ve bu elementlerin gövde ve yapraklar içine taşınımını inhibe ettiği saptanmıştır (25). Baligar ve arkadaşları sera deneylerinde 40 *Sorghum* genotipi ve hibritlerini toprak alüminyum saturasyonunun üç farklı seviyesinde (% 2, 41 ve 64) besin alımı, besin alımına ket vurma, besinin kök içine girişi ve sürgünlere taşınımındaki farklılıklar açısından değerlendirdiklerinde, alüminyuma tolerant genotiplerin fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, çinko ve demiri alüminyuma hassas genotiplerden daha büyük oranda alabildiklerini ve taşıyabildiklerini belirlemişlerdir (26). Jan alüminyuma hassasiyetleri farklı üç *Oryza sativa* kültür varyetesinde büyüme, besin alımı ve taşınımı üzerine 140, 280 veya 560 fM alüminyumun etkilerini incelediği araştırmasında, alüminyum uygulaması ile birlikte, alüminyuma tolerant genotiplerin sürgün ve köklerinde yüksek fosfor akümüasyonu gözlemiş, buna karşın alüminyuma hassas genotip alüminyum uygulaması boyunca nispeten yüksek kalsiyum akümüasyonunu korumuş, mangan ve magnezyum elementleri durumunda ise genotiplerin alüminyuma hassasiyetlerine bakılmaksızın, net alım hızlarında genel bir düşüş gözlenmiştir (27). Aynı çalışmada alüminyum uygulaması ile birlikte hassas genotipin köklerinde yüksek çinko ve bakır alım hızının doğal sonucu olarak, yüksek demir, bakır ve çinko akümüasyonu kaydedilmiştir (27). *Triticum aestivum* ile yapılan bir çalışmada bitkiler alüminyuma maruz bırakıldıkları zaman, sürgünlerdeki kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonlarının nisbi olarak düşük olduğu, ancak bu etkinin kalsiyum elementi için magnezyumdan daha önemli olduğu belirlenmiş, özellikle alüminyum stresi altında ve 10°C kök bölgesi sıcaklığında sürgünlerdeki kalsiyum konsantrasyonlarının büyümeyi inhibe edebilecek kritik konsantrasyonlara yaklaştığı saptanmış; bu durum köklerdeki alüminyumun köklerden sürgünlere kalsiyum transportunu azaltarak sürgün büyümesini inhibe etmesi ile açıklanmıştır (28). Aynı çalışmada köklerin potasyum, fosfor, magnezyum ve kalsiyum konsantrasyonları ise alüminyum uygulamaları yada kök bölgesi sıcaklığından negatif olarak etkilenmemiştir (28). İki *Lolium multiflorum* kültür varyetesi ile yapılan benzer bir çalışmada da besin çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonları artışlarının sürgünlerin K/Ca+Mg oranlarını arttırdığı ifade edilmektedir (29).

Alüminyumun *Saccharomyces cerevisiae*'da magnezyum transportunu bloke etmek suretiyle magnezyum noksanlığına sebep olabileceği, ayrıca bira mayası hücrelerinde kobalt akümüasyonunu inhibe ettiği belirlenmiştir (30). Aynı çalışmada besin çözeltilerindeki fosfat, kalsiyum yada potasyum konsantrasyonlarının ise toksisite üzerinde çok küçük bir etkisinin olduğu görülmüştür (30). Bizim çalışmamızda besin çözeltilerine 10 ve 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda köklerde saptanan kobalt birikimlerinin Murashige-

Skoog besin çözeltileri ile elde edilen ortalama değerden düşük olduğu görüldü. 1 ppm alüminyum uygulanan fideciklerin köklerinde ise kobalt elementine rastlanmadı. Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen fideciklerin hipokotillerinde saptanan kobalt birikimleri kontrol grup ortalamasından belirgin olarak yüksek iken, 1 ve 10 ppm alüminyum uygulanması durumunda, hipokotillerin kobalt içeriklerinde azalmalar kaydedildi. Ancak 1 ve 10 ppm değerlerinin birbirine yakın ortalama değerler olduğu gözlemlendi. 100 ppm alüminyum uygulanması durumunda ise hipokotillerin kobalt içeriklerinde dikkat çekici bir düşüş söz konusu idi. Çalışmamızda kontrol grubu oluşturan fideciklerin kotiledonlarında kobalt katyonu belirlenemezken, Murashige-Skoog besin çözeltilerinde geliştirilen fideciklerin kotiledonlarında önemli bir kobalt birikimine tanık olundu. Buna karşın besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum uygulanması durumunda, fideciklerin kotiledonlarında kobalt katyonu saptanamadı.

Alüminyumun esas olarak hücre bölünme ve hücre uzama mevkiinde olan kök uçlarında biriktiği ve hücre bölünme hızının inhibisyonunun çekirdekdeki kromatin ile alüminyumun direkt interaksiyonuna bağlı olduğu bildirilmektedir (2). C₄ bitkilerinde alüminyum toksisitesinin fizyolojik karakterizasyonunu araştırmayı hedefleyen bir çalışmada, artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun etkisiyle (0-81 mgL⁻¹) *Zea mays* fideciklerinin kök dokularında alüminyum konsantrasyonlarının anlamlı bir şekilde arttığı, buna karşın sürgünlerde azot, fosfor ve demir miktarlarının alüminyum konsantrasyonları artışı ile birlikte anlamlı bir şekilde azaldığı, magnezyum miktarının 9 mgL⁻¹den daha yüksek alüminyum uygulamalarında mangan içeriğinde gerçekleşene zıt olarak bir azalma eğilimi gösterdiği saptanmıştır (31). Aynı çalışmada sürgün metabolizması üzerinde alüminyumun toksik etkilerinin çoğunlukla kök alüminyum konsantrasyonları ile aynı zamanda gerçekleşen besin translokasyon mekanizmalarının inhibisyonu arasındaki karşılıklı ilişkiler yoluyla düzenlenen dolaylı bir etki olduğu sonucuna varılmıştır (31). Bir başka çalışmada 0'dan 81 mgL⁻¹ e değişen oranlarda alüminyum içeren düşük iyonik yoğunluklu bir besi ortamında 20 gün yetiştirilen 2 hafta yaşlı mısır bitkiciklerinin köklerinde 2 ayrı akümülyasyon fazı gözlemlendiği ifade edilmektedir; 0-9 mgL⁻¹ alüminyum konsantrasyonları arasında bir yavaş akümülyasyon fazı tespit edilirken, 9-81 mgL⁻¹ arasında daha hızlı bir akümülyasyon fazı gerçekleştiği, her iki fazda da bitki dokularının alüminyum içeriklerinin besin çözeltilerindeki alüminyum konsantrasyonları artışı ile birlikte artış gösterdiği saptanmıştır (32). Aynı çalışmada toksisite başlangıcı indirgenmiş kök uzunluğu ile belirlenirken, bu esnada bitki dokularındaki alüminyum konsantrasyonu 13 mg-1 olarak tespit edilmiştir (32). Buna karşın yüksek alüminyum toleransı gösteren ve alüminyumu yapraklarda akümüle eden *Fagopyrum esculentum*'da yapraklarda akümüle edilen alüminyumun yaklaşık %90'nının hücre öz suyunda bulunduğu ve *Fagopyrum esculentum*'un köklerinde ve yapraklarında alüminyum toleransının fitotoksik olmayan Al-okzalat kompleksi oluşumu ile sağlandığı ifade edilmektedir (33). Bizim çalışmamızda Murashige-Skoog besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda alüminyum uygulanması durumunda *L. esculentum* Mill. cv. H2274 (domates) fideciklerinin alüminyum içeriklerinde artışlar kaydedildi. Ancak 1 ve 10 ppm alüminyum konsantrasyonlarında birbirine çok yakın ortalama değerler elde edilirken, 100 ppm alüminyum konsantrasyonunda fideciklerin alüminyum içeriklerinde önemli bir artış söz konusu idi. Kontrol grubu oluşturan *L. esculentum* Mill. cv. H2274 (domates) fideciklerinin köklerindeki alüminyum içerikleri ile karşılaştırıldığında, besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda uygulanan alüminyumun, köklerin alüminyum içeriklerinde düzenli artışlara neden olduğu ve fideciklerde alınan alüminyumun büyük ölçüde köklerde birikim yaptığı görüldü. Köklerin alüminyum içeriklerindeki artış özellikle 100 ppm alüminyum konsantrasyonunda dikkat çekici idi.

5. KAYNAKLAR

- [1] Dagenhardt, J., Larsen, P.B., Howell, S.H., Kochian, L.V., Aluminum resistance in the Arabidopsis Mutant *alr-104* is caused by an aluminum induced increase in rhizosphere pH, *Plant Physiology*, 117, 19-27 (1998).
- [2] Horst, W.J.J., The role of the apoplast in aluminium toxicity and resistance of higher plants, *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 158: 5, 419-428 (1995).
- [3] Blancaflor, E.B., Jones, D.L., Gilroy, S., Alterations in the cytoskeleton accompany aluminum induced growth inhibition and morphological changes in primary roots of maize, *Plant Physiology*, 117, 753-759 (1998).
- [4] Larsen, P.B., Degenhardt, J., Tai, C.Y., Stenzler, L.M., Howell, S.H., Kochian, L.V., Aluminum resistant Arabidopsis mutants that exhibit altered patterns of aluminum accumulation and organic acid release from roots, *Plant Physiology*, 117, 9-17 (1998).
- [5] Aller, A.J., Bernal, J.L. Nozal, M.J., Deban, L., Effects of selected trace elements on plant growth, *J. Sci. Food Agric.*, 51, 447-479 (1990).
- [6] Widell, S., Asp, H., Jensen, P., Activities of plasma membrane bound enzymes isolated from roots of spruce (*Picea abies*) grown in the presence of aluminium, *Physiologia Plantarum*, 92: 3, 456-466 (1994).
- [7] Lindberg, S., Griffiths, G., Aluminium effects on ATPase activity and lipid composition of plasma membranes in sugar beet roots, *Journal of Experimental Botany*, 44, 1543-1550 (1993).
- [8] Lindberg, S., Szykier, K., Greger, M., Aluminium effects on transmembrane potential in cells of fibrous roots of sugar beet, *Physiologia Plantarum*, 83: 1, 54-62 (1991).
- [9] Ownby, J.D., Hruschka, W.R., Quantitative changes in cytoplasmic and microsomal proteins associated with aluminium toxicity in two cultivars of winter wheat, *Plant Cell and Environment*, 14: 3, 303-309 (1991).
- [10] Simon, L., Kieger, M., Sung, S.S., Smalley, T.J., Aluminium toxicity in tomato, part 2. Leaf gas exchange, chlorophyll content and invertase activity, *Journal of Plant Nutrition*, 17: 2-3, 307-317 (1994).
- [11] Zhang, W., Zhang, F., Shen, Z., Liu, Y., Changes of H⁺ pumps of tonoplast vesicle from wheat roots in vivo and in vitro under aluminum treatment and effect of calcium, *Journal of Plant Nutrition*, 21: 12, 2515-2526 (1998).
- [12] Plucinska, L.G., Effects of aluminium on free inorganic phosphate levels in scots pine roots, *Arboretum Kornickie*, 40, 135-141 (1995).
- [13] Plucinska, L.G., Karolewski, P., Aluminium effects on pyridine nucleotide redox state in roots of Scots pine, *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 63: 2, 167-171 (1994).
- [14] Richards, K.D., Schott, E.J., Sharma, Y.K., Davis, K.R., Gardner, R.C., Aluminum induces oxidative stress genes in Arabidopsis thaliana, *Plant Physiology*, 116, 155-163 (1998).
- [15] Blamey, F.P.C., Asher, C.J., Edwards, D.C., Kerven, G.L., In vitro evidence of aluminium effects on solution movement through root cell walls, *Journal of Plant Nutrition*, 16: 4, 555-562 (1993).
- [16] Murashige, T., Skoog, F., A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures, *Physiologia Plantarum*, 15, 473-497 (1962).
- [17] Koffa, S.N., Mori, T., Effects of pH and aluminium toxicity on the growth of four strains of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., *Leucaena Research Reports*, 8, 58-62 (1987).

- [18] Goransson, A., Eldhuset, T.D., Effects of aluminium on growth and nutrient uptake of small *Picea abies* and *Pinus sylvestris* plants, *Trees: Structure and Function*, 5: 3, 136-142 (1991).
- [19] Barcelo, J., Guevara, P., Poschenrieder, C., Silicon amelioration of aluminium toxicity in teosinte (*Zea mays* L. ssp. *mexicana*), *Plant and Soil*, 154: 2, 249-255 (1993).
- [20] Konishi, S., Ferguson, I.B., Putterill, J., Effect of acidic polypeptides on aluminium toxicity in tube growth of pollen from tea (*Camellia sinensis* L.), *Plant Science*, 56: 1, 55-59 (1988).
- [21] Yamamoto, Y., Chang, Y.C., Ono, K., Matsumoto, H., Effects of aluminium on the toxicity of iron, copper and cadmium in suspension cultured tobacco cells. *Bulletin of the Research Institute for Bioresources, Okayama University*, 2: 2, 181-190 (1994).
- [22] Fageria, N.K., Santos, A.B., Rice and common bean growth and nutrient concentrations as influenced by aluminum on an acid lowland soil, *Journal of Plant Nutrition*, 21: 5, 903-912 (1998).
- [23] Yang, Y.H., Zhang, H.Y., Boron amelioration of aluminum toxicity in mungbean seedlings, *Journal of Plant Nutrition*, 21: 5, 1045-1054 (1998).
- [24] Tang, V.H., Parijs, B., Dent, D.E., Effects of fluoride on aluminium toxicity in rice, *Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils, Ho Chi Minh City, Viet Nam, March 1992*, 261-264 (1993).
- [25] Simon, L., Smalley, T.J., Jones, J.B., Lasseigne, F.T., Aluminium toxicity in tomato. Part I. Growth and mineral nutrition, *Journal of Plant Nutrition*, 17: 2-3, 293-306 (1994).
- [26] Baligar, V.C., Schaffert, R.E., Santos, H.L., Pitta, G.V.E., Bahia, A.F., Soil aluminium effects on uptake, influx and transport of nutrients in *Sorghum* genotypes, *Plant and Soil*, 150: 2, 271-277 (1993).
- [27] Jan, F., Aluminium effects on growth, nutrient net uptake and transport in 3 rice (*Oryza sativa*) cultivars with different sensitivity to aluminium, *Physiologia Plantarum*, 83: 3, 441-448 (1991).
- [28] Strid, H., Effects of root zone temperature on aluminium toxicity in two cultivars of spring wheat with different resistance to aluminium, *Physiologia Plantarum*, 97:1, 5-12 (1996).
- [29] Rengel, Z., Robinson, D.L., Temperature and magnesium effects on aluminium toxicity in annual ryegrass (*Lolium multiflorum*), *Plant Nutrition-Physiology and Applications, Proceedings of the Eleventh International Plant Nutrition Colloquium, Wageningen, Netherlands*, 413-417 (1990).
- [30] MacDiarmid C.W., Gardner, R.C., Al toxicity in yeast. A role for Mg, *Plant Physiology*, 112, 1101-1109 (1996).
- [31] Lidon, F.C., Barreiro, M.G., Ramalho, J.C., Lauriano, J.A., Effects of Aluminium toxicity on nutrient accumulation in maize shoots: Implications on photosynthesis, *Journal of Plant Nutrition*, 22: 2, 397-416 (1999).
- [32] Lidon, F.C., Barreiro, M.G., Threshold aluminum toxicity in maize, *Journal of Plant Nutrition*, 21: 3, 413-419, (1998).
- [33] Ma, J.F., Hiradate, S., Matsumoto, H., High aluminum resistance in buckwheat II. Oxalic acid detoxifies aluminum internally, *Plant Physiology*, 117, 745-751 (1998).

Teşekkür

Bu çalışmada AAS, Spektrofotometre, Alev Fotometresi ve Kjeltac Azot Cihazı ile yapılan analitik ölçümler Sayın Salim TÜRKEL'in çok değerli katkılarıyla gerçekleştirilmiştir. Kendilerine sonsuz teşekkür ederiz.