

Araştırma Makalesi/Research Article (Original Paper)

## Farklı Demir İçeriklerine Sahip Besin Çözeltilisiyle Beslenen Domates Bitkisinin Gelişimi, Toplam Demir, Aktif Demir, Klorofil ve SPAD Değerleri Arasındaki İlişkiler

İbrahim ERDAL\*, Burcu KAPLANKIRAN, Emine EVREN, Zeliha KÜÇÜKYUMUK  
Şevkiye Armağan TÜRKAN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 32260 Isparta, Türkiye  
\*e-posta: ibrahimerdal@sdu.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada, perlit ortamında yetiştirilen domates bitkisine farklı düzeylerde demir (Fe) içeren besin çözeltisi uygulayarak, bitki gelişimi, bitkinin toplam ve aktif demir içerikleri, klorofil konsantrasyonu ve SPAD değerlerindeki değişimleri görmek ve aralarındaki ilişkileri incelemek amaçlanmıştır. Bu amaçla 0 µmol/l (Fe0), 7.5 µmol/l (Fe1), 15 µmol/l (Fe2), 30 µmol/l (Fe3) and 60 µmol/l (Fe4) içeren demir içeren besin çözeltileri hazırlanmış ve bitkiler iki ay süreyle bu çözeltilerle beslenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, incelenen parametrelerin Fe uygulamasından olumlu etkilendiği ve bazı parametreler arasında farklı önemlilik derecelerine sahip ilişkilerin olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bitki gelişimi, Demir gübrelemesi, Klorofil, Toplam demir, SPAD

### Relationships Among Dry Weight, Total Iron, Active Iron, Chlorophyll and SPAD Index of Tomato Plants Grown with Different Iron Containing Solution

**Abstract:** This study was conducted to examine the relations among some iron related parameters such as plant growth, total and active iron, chlorophyll content and SPAD index in tomato leaf. For this, tomato seedlings were planted in perlite and watered with the nutrient solution containing 7.5 µmol/l (Fe1), 15 µmol/l (Fe2), 30 µmol/l (Fe3) and 60 µmol/l (Fe4) iron in growth chamber for two mounts. According to results, all parameters, except Chlorophyll a, were significantly affected by increasing levels of iron and examined parameters increased with iron levels. Also positive significant interactions were seen among the some parameters.

**Key words:** Plant growth, Iron fertilization, Chlorophyll, Total iron, SPAD

### Giriş

Demir (Fe) bitkilerde çok sayıda metabolik işlevi olan ve çeşitli fizyolojik olaylarda görev alan bir besin elementidir. Demir, bu görevlerini redoks tepkimeleriyle değerliğini değiştirerek ve kilyet şeklinde bileşik oluşturarak yerine getirir. Diğer birçok işlevi yanında, klorofil yapısında yer almamakla beraber, bitkinin Fe beslenmesiyle bitkinin klorofil miktarı arasında yakın bir ilişki vardır. Bitkilerde çeşitli metabolik işlemlerde elektron aktarıcı olarak önemli rol oynayan ferrodoksin Fe içerir. Demir içeriklerine bağlı olarak bitki yapraklarında klorofil ve ferrodoksin ve klorofil miktarı da değişmekte ve demir miktarı azaldıkça klorofil ve ferrodoksin miktarları da azalmaktadır (Alcaraz ve ark. 1986). Demir tek başına klorofilin gerçek bir bileşeni olmamasına rağmen, pigment sentezini doğrudan etkileyen elementlerden birisidir. Demir eksikliğinde klorofil a ve b miktarlarına paralel olarak çeşitli pigment maddeleri de azalmaktadır. Benzer azalma fotosentez oranında da görülmekte olup, bu durum fotosentezde görev alan çeşitli enzimlerin Fe eksikliği koşullarında yeterince aktif olamamalarından kaynaklanmaktadır (Marschner 1995). Bitki yapraklarındaki Fe miktarı bitki tür ve çeşitlerine göre değişiklik göstermektedir. Yeter düzey genel olarak kuru madde ilkesine göre 50-250 mg kg<sup>-1</sup> aralığında olup, bu değer domates için 60- 300 mg kg<sup>-1</sup> dir (Jones ve ark. 1991). Toplam Fe, bitkilerin Fe beslenme düzeyini tam olarak yansıtmaması nedeniyle iyi bir göstere olarak kabul edilmemektedir. Bitkilerdeki Fe'nin %10- %20 lik bir kısmının fizyolojik olarak aktif olması nedeniyle, yaprakların toplam Fe içerikleri bazı durumlarda bitkinin Fe beslenmesini yansıtmaz (De Kock ve Inkson 1979; De Kock 1981). Bu nedenle, bitkilerin Fe

beslenmesinin değerlendirilmesinde toplam demir (Fe<sup>+3</sup>) yanında aktif demir (Fe<sup>+2</sup>) içeriklerinin de belirlenmesi, bitkinin Fe beslenmesinin değerlendirilmesinde en uygun yol olarak görülmektedir (De Kock 1981; Roemheld ve Marschner 1991). Ksouri ve ark.(2002), tarafından yapılan bir araştırmada, bağlarda Fe klorozunu incelemek amacıyla yapraklarda toplam ve aktif demir konsantrasyonları ile klorofil miktarına bakılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde klorozlu genç yaprakların klorofil miktarında (klorofil a ve b) kloroz görülmeyen yapraklara göre azalma saptanırken, toplam demir konsantrasyonunda herhangi bir değişiklik görülmemiştir. Elde edilen sonuçlara göre yaprakların klorofil içerikleri ile Fe içerikleri arasında önemli korelasyon belirlenmiştir.

Yaprağın yeşil renk yoğunluğunun (SPAD) klorofil konsantrasyonu ile yakın ilişkisi bulunmaktadır. Peryea ve Kammereck (1997), SPAD klorofilmetresiyle ölçülen yaprak yeşil renk yoğunluğunun yaprak Fe klorozunun şiddetini ve Fe gübrelemesinin nisbi etkinliğini belirlemede kullanılabilecek bir gösterge olduğunu belirtmektedir. Yapılan bir araştırmada, elma yapraklarında toplam ve aktif Fe konsantrasyonlarıyla yaprakların yeşil renk yoğunluğu (SPAD indexleri) belirlenmiş olup, elde edilen değerler arasında anlamlı pozitif bir ilişkilerin olduğu belirlenmiştir (Erdal ve ark. 2008).

Bu çalışmada, perlit ortamında yetiştirilen domates bitkisinde yaprakların toplam ve aktif Fe içerikleriyle klorofil konsantrasyonu ve yeşil renk yoğunlukları arasındaki ilişkiyi irdelemek ve bu durumun artan Fe dozlarına bağlı olarak değişimini incelemek amaçlanmıştır.

## Materyal ve Metot

Araştırma, 2012 yılında, Süleyman Demirel Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümüne ait iklim kabini içinde tesadüf parselleri deneme desenine göre 5 tekrarlamalı yürütülmüştür. Denemede Falcon çeşidi domates tohumları torf ortamına ekilmiş ve fide haline gelinceye kadar saf suyla sulanmıştır. Bunların içerisinde homojen olanları seçilmiş ve 2 litre perlitle doldurulmuş saksılara her saksıda 1 fide olacak şekilde dikim yapılmıştır. Deneme 45 gün süreyle yürütülmüş olup, deneme süresince Çizelge 1’de içeriği belirtilen besin çözeltileriyle 2 gün aralıklarla sulanmıştır.

Denemede demirin 4 dozu uygulanmıştır. Kontrol grubuna (Fe0) Fe çözeltisi verilmez iken, Fe1 grubuna 7.5 µmol/l, Fe2 grubuna 15 µmol/l, Fe3 grubuna 30 µmol/l ve Fe4 grubuna 60 µmol/l Fe içeren besin çözeltileri verilmiştir (FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O). Bitkilerin beslenmesinde, Sonneveld ve Straver (1994) tarafından domates için önerilen besin çözeltisi formülasyonu kullanılmıştır.

Çizelge 1 de belirtilen besin elementlerinden stok çözeltiler hazırlanmış ve her sulamada bu stoklardan 5 er ml alınarak son hacim 250 ml olacak şekilde saf suyla karıştırılmıştır. Son hacimdeki besin elementi konsantrasyonlarının yukarıda belirtilen miktarlarda besin elementi içermesine dikkat edilmiştir. Demir uygulamalarında, sulamada kullanılan besin çözeltileri, artan dozlarda demir içerecek şekilde ayarlanmıştır. Sulamada kullanılan besin çözeltilerinin pH değeri 5.6, EC değeri ise 3 µmhos/cm olacak şekilde ayarlanmış ve belirli aralıklarla kontrol edilmiştir.

Çizelge 1. Domates bitkisi için kullanılan besin çözeltisi formülasyonu ve kullanılan kaynaklar

Besin maddesi	Miktar	Kaynaklar
N	5.40 mmol	
P	0.40	
S	1.25	
K	8.75	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> , Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O, KNO <sub>3</sub> ,
Ca	4.25	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ,
Mg	2	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O, MnSO <sub>4</sub> . H <sub>2</sub> O,
Mn	10 µmol	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , ZnSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O, CuSO <sub>4</sub> .
Zn	5	5H <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> . 2H <sub>2</sub> O
B	30	
Cu	0.75	
Mo	0.50	

Deneme sonlandırılmadan hemen önce, yaprak yeşil renk yoğunluğunu belirlemek amacıyla SPAD metre ile (Minolta SPAD 502) her bir saksıdaki bitkilerden on yaprakta ikişer okuma yapılmış ve değerlerin

ortalaması alınarak tek bir değer olarak kaydedilmiştir. Yaprakların klorofil konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla SPAD okuması yapılan yapraklardan 0.5 g taze yaprak örneği alınmış ve %80'lik aseton ile homojenize edilerek 50 ml lik ölçü balonlarına süzölmüştür. Elde edilen süzükteki renk, zaman geçirmeden 645 ve 663 dalga boylarında spektrometrede okunmuş ve aşağıdaki eşitliklerden yararlanarak klorofil miktarları hesaplanmıştır (Withan ve ark. 1971).

$$\text{Klf a (mg/g)} = 12.7 \times (\text{D663}-2.69) \times (\text{D645}) \times \text{V} / 1000 \times \text{W}$$

$$\text{Klf b (mg / g)} = 22.91 \times (\text{D645}-4.68) \times (\text{D663}) \times \text{V} / 1000 \times \text{W}$$

$$\text{Toplam klorofil (mg / g)} = \text{klorofil a} + \text{klorofil b}$$

V = Ekstrakt hacmi (ml); W = Ekstrakte edilen bitki ağırlığı (g); D = Belirtilen dalga boyunda elde edilen okuma değeri

Klorofil analizi için yaprak örneği alındıktan sonra bitkinin geri kalan kısımları hasat edilmiştir. Yıkayıp kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları alınarak öğütülmüştür. Öğütülen örneklerden 0.5 g alınmış ve aktif demir tayini için 1N HCl ile ekstrakte edilmiştir. Elde edilen ekstraktın demir kapsamları AAS'de okunarak belirlenmiştir (Takkar ve Kaur 1984). Toplam demir miktarları için; 0.2 gr bitki örneği mikro dalgada yaş yakılmış ve elde edilen süzükteki demir değerleri AAS de okunarak belirlenmiştir. Denemede elde edilen sonuçların istatistiksel değerlendirilmesi COSTAT paket program kullanılarak yapılmıştır.

## Bulgular ve Tartışma

Artan Fe dozlarına bağlı olarak elde edilen edilen, bitki kuru ağırlığı, toplam ( $\text{Fe}^{+2}+\text{Fe}^{+3}$ ) ve aktif demir ( $\text{Fe}^{+2}$ ) içerikleriyle klorofil ve SPAD değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları ve ortalama değerlere ait veriler Çizelge 2 ve Çizelge 3 te sunulmuştur.

Varyans analiz sonuçlarına göre, artan Fe dozlarının, klorofil a hariç diğer parametrelerin tamamında istatistiksel anlamda önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Artan demir dozlarına bağlı olarak elde edilen verilere ilişkin varyans analizi

Varyasyon kaynakları	SD	F değerleri						
		Kuru Ağırlık	Toplam Fe	Aktif Fe	Klorofil a	Klorofil b	Toplam Klorofil	SPAD
Doz Hata	4 20	20***	16***	16***	öd	33***	21***	13***

SD.: serbestlik derecesi, \*\*\*P<0.001 düzeyinde önemli, öd: önemli değil

Çizelge 3. Artan demir dozlarının domates bitkisinin kuru ağırlığı, toplam ve aktif Fe içerikleri, klorofil konsantrasyonları ve yeşil renk yoğunluğuna etkisi (SPAD)

Fe uygulaması (µmol)	İncelenen özellikler						
	Kuru ağırlık* (g/saksı)	Toplam Fe* (mg/kg)	Aktif Fe* (mg/kg)	Klorofil a (mg/kg)	Klorofil b* (mg/kg)	Toplam klorofil* (mg/kg)	SPAD*
Fe0	2.79 b	118 b	20 c	1.93	0.51 d	2.44 b	40 b
Fe1	2.93 b	142 ab	22 bc	1.99	0.78 c	2.77 b	50 a
Fe2	2.84 b	164 a	27 b	2.01	0.89 b	2.90 ab	51a
Fe3	3.37 a	129 b	33 ab	2.16	1.05 ab	3.21 ab	52 a
Fe4	3.47 a	119 b	37 a	2.27	1.14 a	3.41 a	51 a

\*Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel anlamda bir fark yoktur.

Bitki kuru ağırlık miktarı Fe uygulamalarına bağlı olarak artmıştır. Elde edilen değerler istatistiksel olarak iki grupta toplanmış olup, kontrol uygulamasıyla, demirin birinci ve ikinci dozlarından elde edilen veriler bir grupta son iki dozdan elde edilen veriler ise diğer grupta yer almıştır. Kontrol grubundaki (Fe0)

bitkilerin ortalama kuru ağırlığı 2.79 g/saksı olarak belirlenirken ve en yüksek kuru ağırlık değerine yaklaşık % 25 lik bir artışla (3.47 g/saksı) Fe4 dozunda ulaşılmıştır (Çizelge 3).

Bitkinin toplam Fe konsantrasyonları artan Fe dozlarından farklı şekilde etkilenmiştir. Bitkide belirlenen toplam Fe değerleri, Fe2 dozuna kadar artan bir eğilim göstermekle beraber, bu dozdan sonraki azalmaya başlamıştır. Toplam Fe değerlerinin tersine, bitkinin aktif Fe içerikleri artan Fe dozlarıyla düzenli olarak artmıştır. En düşük aktif Fe değeri (20 mg/kg) kontrol koşullarında elde edilirken, en yüksek değere (37 mg/kg), uygulamanın en yüksek dozunda (Fe4) ulaşılmıştır. Bitkinin aktif Fe değerlerinde kontrole göre elde edilen artış oranı % 85 olarak belirlenmiştir (Çizelge 3). Demirin artan dozlarına bağlı olarak klorofil a değerlerinde belli bir artış görülmekle birlikte, elde edilen artış oranlarının istatistiksel anlamda önemli olmadığı belirlenmiştir. Buna karşılık, klorofil b ve toplam klorofil değerleri demir artışına paralel olarak artmıştır. Her iki klorofil değeri için en düşük miktarlar kontrol gurubundaki bitkilerden elde edilirken, en yüksek değerlerin F4 dozundan elde edildiği görülmüştür (Çizelge 3). Kontrol gurubu ile Fe uygulaması yapılan bitki yapraklarında ölçülen SPAD değerleri arasında anlamlı derecede farklılık belirlenmiş, fakat Fe dozlarının kendi aralarındaki etkisi benzer bulunmuştur (Çizelge 3).

Çizelge 4'te incelenen parametrelerin birbirleri arasındaki ilişkiler verilmiştir. Belirtilen çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı üzere bitki kuru ağırlığı ve toplam Fe ile diğer parametreler arasında olumlu veya olumsuz bir ilişki gözlenmemiştir. Buna karşılık, aktif Fe ile klorofil b ve toplam klorofil, klorofil a ile toplam klorofil, klorofil b ile toplam klorofil ve SPAD ve toplam klorofil ile SPAD değerleri arasında farklı önemlilik derecelerinde olmak üzere pozitif ilişkiler belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. İncelenen özellikler arasındaki korelasyonlar

Özellikler	Toplam Fe	Aktif Fe	Klorofil a	Klorofil b	Toplam Klorofil	SPAD
Kuru ağırlık	öd	öd	öd	öd	öd	öd
Toplam Fe		öd	öd	öd	öd	öd
Aktif Fe			öd	0.78***	0.66***	0.47*
Klorofil a				öd	0.60***	öd
Klorofil b					0.86***	0.61***
Toplam Klorofil						0.71***

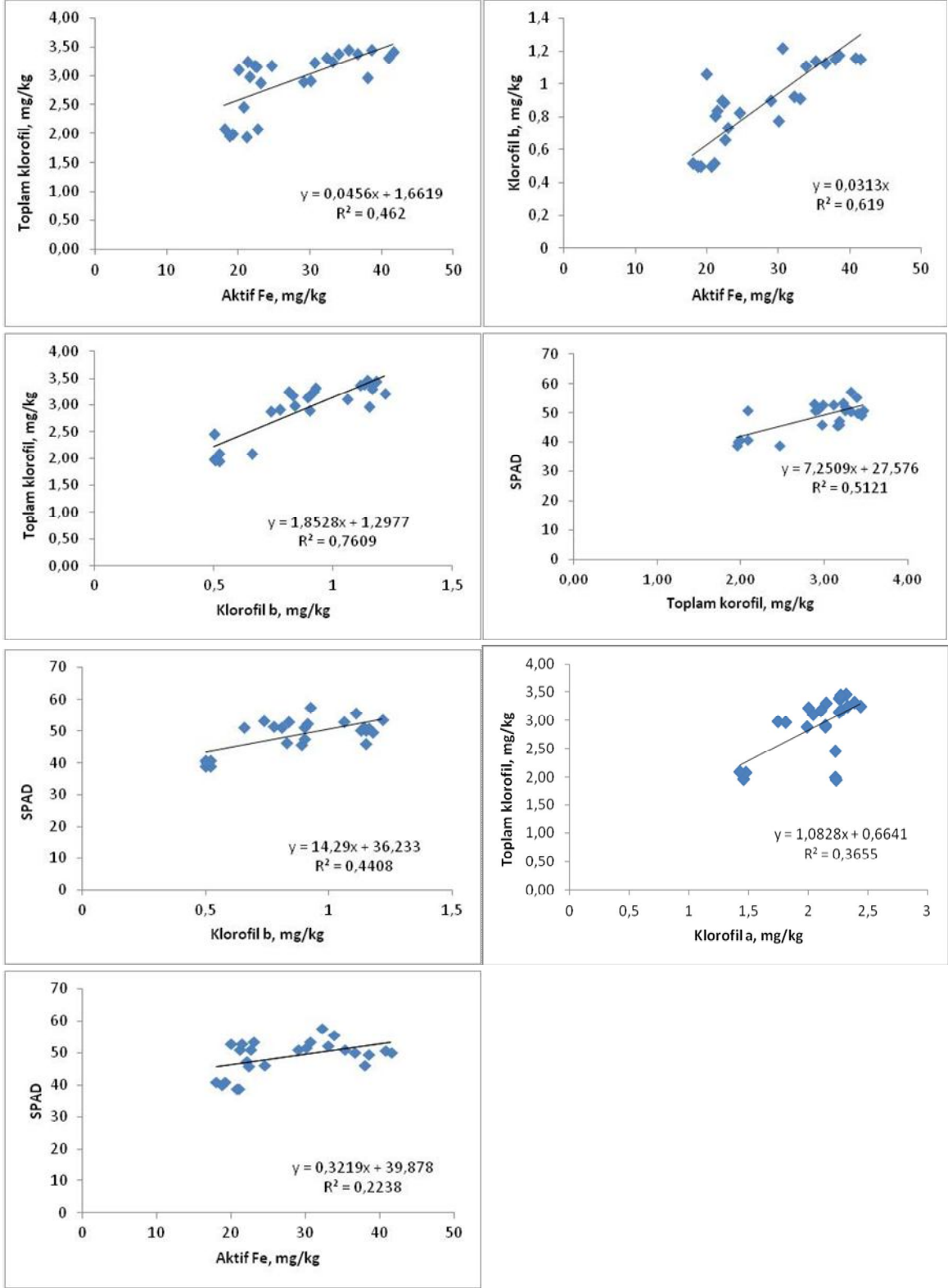
öd:önemli değil, \*P<0.05, \*\*P<0.01, \*\*\*P<0.001 düzeylerinde önemli

Elde edilen veriler ve aralarındaki ilişkilerin incelenmesinden de anlaşılacağı üzere, toplam Fe miktarıyla incelenen parametrelerle arasında önemli bir korelasyon bulunamazken, aktif demir miktarıyla klorofil a hariç diğer parametreler arasında önemli pozitif ilişkiler belirlenmiştir (Çizelge 4, Şekil 1). Bu durum, daha önce yapılan çalışmalarda da belirtildiği üzere, bitki gelişimi ve bitkinin çeşitli biyokimyasal süreçlerinde toplam demirden öte aktif demirin rol almasıyla ilişkilendirilebilir (Marschner 1995). Buradan çıkan sonuca göre, bitkinin klorofil içeriği ve SPAD değeri üzerinde, toplam demirden öte aktif demirin daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Demir uygulamalarına bağlı bitki gelişiminde belli bir artış sağlanmıştır. Bu durum, beklenen bir olgudur. Çünkü kontrol koşullarında yetiştirilen bitkilere demir uygulamasının yapılmamış olması, Fe'nin yer aldığı birçok fizyolojik işlevin yerine getirilemeyeceği ve sonuçta bitki gelişiminin olumsuz etkilenmesi sonucunu doğuracaktır. Bu durum, temel bitki besleme bilgilerinde de belirtildiği üzere minimum yasasıyla da bağdaştırılabilir (Karaman 2012).

Uygulamanın her dozu için bitkide belirlenen toplam Fe düzeyleri Jones ve ark. (1991) tarafından domates için belirtilen yeter düzeyler (60-300 ppm) arasında yer almıştır. Bu duruma kontrol (Fe0) koşullarında yetiştirilen bitkilerin Fe düzeyleri de dahildir. Hiç Fe uygulaması yapılmamış olmasına rağmen, kontrol koşullarındaki bitkilerin de yeter seviyede Fe içeriyor olması, denemede kullanılan domates tohumlarının, bitkinin belli bir gelişme dönemine kadar yetecek düzeyde Fe içermesiyle ilişkilendirilebilir. Bitkideki aktif Fe miktarları ile toplam Fe arasında Fe uygulamasının Fe2 dozuna kadar belli bir paralellik göstermiş olmasına rağmen, bu dozdan sonraki Fe uygulamalarında bu paralellik kaybolmuştur. Toplam Fe miktarı Fe2 dozundan sonra düşüş göstermiş olmakla beraber aktif Fe miktarı

artmaya devam etmiştir. Bunun sonucu olarak yaprakların Toplam Fe içerikleriyle aktif Fe içerikleri arasında önemli bir ilişki ortaya çıkmamıştır.



Şekil 1. Aktif Fe, klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve SPAD değerleri arasındaki ilişkiler

## Kaynaklar

- Alcaez CF, Martinez-Sanchez, F, Sevilla F, Hellin E (1986). Influence of ferredoxin levels on nitrate reductase activity in iron deficient lemon trees. *J. Plant Nutrition* 9:1405-1413.
- De Kock PC, Inkson RHE (1979). Active Iron in Plant Leaves. *Annals of Botany*, 43: 737-740
- De Kock PC (1981). Iron Nutrition under Condition of Stress. *Journal of Plant Nutrition*, 3: 13-521
- Erdal İ, Aşkın MA, Kucukyumuk Z, Yıldırım A, Yıldırım F (2008). Rootstock has an important role on Iron nutrition of Apple trees. *World Journal of Agricultural Sciences*. 4 (2), 173-177
- Jones Jr, Wolf JB, Milis HA (1991). *Plant Analysis Handbook*. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-macro Publishing, Inc. 183 Paradise Blvd, Suite 108, p. 213, Georgia 30607, USA.
- Karaman MR (2012). *Bitki Besleme. Gübretleş Rehber Kitaplar Dizisi: 2*
- Ksouri R, Gharsalli M, Lachaal M (2002). Quick Diagnosis of Iron Induced Chlorosis in Vines (*Vitis vinifera* L.). *Hort. Abst.*, 72(6): 5239.
- Marschner H (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, San Diego, USA.
- Peryea FJ, Kammereck R (1997). Use of Minolta SPAD-502 Chlorophyll Meter to Quantify the Effectiveness of Mid-Summer Trunk Injection of Iron on Chlorotic Pear Trees. *Journal of Plant Nutrition*, 20: 1457-1463.
- Roemheld V, Marschner H (1991). Functions of Micronutrients in Plants. In: *Micronutrients in Agriculture*, Mortvedt, J.J (Ed.). Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin, pp: 297-328
- Sonneveld C, Straver N (1994). *Nutrient Solutions for Vegetables and Flowers Grown in Water or Substrates (10th Edn.)*. Serie: Voedingsoplossingen Glastuinbouw, No 8, 45pp. P.B.G. Naaldwijk-P.B.G. Aalsmeer, The Netherlands
- Takkar PN, Kaur, NP (1984). HCl Method for Fe<sup>2+</sup> Estimation to Resolve Iron Chlorosis in Plant J. *Nutr.* 7 (1-5), 81-30.
- Withan FH, Blaydes DF, Devlin RM (1971). *Experiments in Plant Physiology*. pp 55-58. Von Nostrand Reinhold Co., New York.