

# Optimum Şartlarda Tanelik Mısır Üretiminde Radyasyon Verilerine Dayalı Ulaşılabilecek Maksimum Ürün Miktarı Belirleme: Konya Örneği

Muhammet KARAŞAHİN\*

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi Çumra Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, Çumra, Konya, Türkiye

\* Sorumlu Yazar  
mkarasahin@selcuk.edu.tr

Yayın Bilgisi:  
Geliş tarihi: 29.09.2021  
Kabul Tarihi: 17.01.2022

Anahtar kelimeler: Mısır, radyasyon, verim

Keywords: Corn, radiation, yield

## Özet

Tanelik mısır üretiminde yeni geliştirilen hibrit çeşitlerin genetik verim potansiyelleri 4000 kg da<sup>-1</sup> olarak kabul edilmektedir. Ülkemizin tanelik mısır verimi ortalaması ise 941 kg da<sup>-1</sup> dir. Bitkisel üretimde genetik verim potansiyeline yakın ürün alabilmek için ulaşılabilir maksimum ürün (hedef) miktarının doğru belirlenmesi gerekmektedir. Hedef ürün miktarını vejetasyon süresince yakalanan toplam fotosentetik aktif ışık (IPAR) miktarı, yakalanan ışığın kimyasal enerjiye (kuru maddeye) dönüştürülme etkinliği (RUE) ve hasat indeksi değerleri (HI) belirlemektedir. Fotosentetik aktif radyasyon (PAR) miktarını coğrafi konum, zaman, bağıl nem, basınç, optikal derinlik ve aerosol konsantrasyonu gibi atmosferik koşullar etkilemektedir. RUE ve HI değerleri yetiştirilen çeşitlerin kanopi yapısı, yaprak alanı indeksi, hasat indeksi, erkenci, geçici oluşu gibi genetik özellikleri, PAR şiddeti, sıcaklık, nem, yağış, toprak koşulları gibi iklim ve çevre değerleri, bitki sıklıkları, sulama, gübreleme, hastalık ve zararlılarla mücadele gibi yetiştirme uygulamaları ile hesaplamada yakalanan veya absorbe edilen toplam ışık değerlerinin kullanımına göre farklılık göstermektedir. Teorik olarak stres koşullarının olmadığı optimum yetiştirme koşullarında mısır bitkisi için ulaşılabilir maksimum potansiyel RUE değerleri 5.5 g MJ<sup>-1</sup> olarak belirtilmektedir. Mısır için 0.5 HI değeri ortalama olarak kabul edilmektedir. Radyasyon verilerine göre Konya ilinde tanelik mısır üretiminde teorik olarak ulaşılabilir maksimum verim 2822 kg da<sup>-1</sup> olarak hesap edilmiştir. Hesaplanan bu verim miktarına ulaşabilmek için bitki tarafından topraktan kaldırılacak besin elementi miktarları doğru olarak belirlenmeli ve toprak analizleri doğru olarak yorumlanmalıdır. Bitki gelişimi ve topraktan kaldırılan bitki besin elementi miktarları takip edilerek doğru zamanda ve doğru miktarda sulama suyu ile birlikte gübre uygulanmalıdır.

## Determining The Attainable Maximum Grain Yield Amount Based on Radiation Data in Corn Production Under Optimum Growing Conditions: The Case of Konya

### Abstract

Genetic yield potential of newly developed hybrid varieties in grain corn production is accepted as 4000 kg da<sup>-1</sup>. The average grain corn yield of our country is 941 kg da<sup>-1</sup>. In order to obtain products close to the genetic yield potential in plant production, the maximum amount of yield (target) that can be reached must be determined correctly. The total amount of intercepted photosynthetically active radiation (IPAR) during the vegetation period, the efficiency of using the captured radiation into chemical energy (dry matter) (RUE) and the harvest index values (HI) determine the target yield amount. Atmospheric conditions such as geographic location, time, relative humidity, pressure, optical depth and aerosol concentration affect the amount of photosynthetically active radiation (PAR). RUE and HI values differ according to the genetic characteristics of cultivars such as canopy structure, leaf area index, harvest index, early and late maturity period, climate and environment conditions such as PAR intensity, temperature, humidity, precipitation, soil condition, cultivation practices such as plant densities, irrigation, fertilization, disease and pest control, and the use of intercepted or absorbed total radiation values in the calculation. Theoretically, the maximum potential RUE values that can be reached for maize plant under optimum growing conditions without stress conditions are stated as 5.5 g MJ<sup>-1</sup>. For maize, an HI value of 0.5 is considered average. According to the radiation data, the maximum yield that can be reached theoretically in corn grain production in Konya was calculated as 2822 kg da<sup>-1</sup>. In order to reach this calculated yield amount, the amount of nutrients to be removed from the soil by the plant should be determined correctly and soil analyzes should be interpreted correctly. Fertilizer should be applied at the right time and with the right amount of irrigation water by monitoring the plant growth and the amount of plant nutrients removed from the soil.

## 1. Giriş

Geliştirilmiş yeni hibrid tanelik mısır çeşitleri, yaklaşık 4 ton/da genetik verim potansiyeline sahiptir. Bu potansiyelin ortaya çıkarılması; iklim (ışık ve sıcaklık, yağış ve nem, rüzgar, CO<sub>2</sub>), toprak (strüktür ve tekstürü, organik madde miktarı, mineral madde içeriği, pH (antagonizm), EC) ve yetiştirme teknikleri (toprak hazırlığı, ekim zamanı ve bitki sıklığı, yabancı ot mücadelesi, su yönetimi, fertigasyon, hastalık ve zararlılarla mücadele) gibi faktörlerin birlikte etkilerine göre değişmektedir (Karaşahin, 2021).

Atmosferi ve yeryüzünü ısıtan en önemli enerji kaynağı güneştir. Güneşten yeryüzüne bir dakikada gelen enerjinin, insanların bütün kaynaklarını çalıştırarak bir yılda elde edebileceği enerjiye eşit olduğu düşünülürse, güneş enerjisinin büyüklüğü daha iyi anlaşılabilir. Bütün canlılar ve meteorolojik olaylar doğrudan doğruya veya dolaylı olarak güneş enerjisine bağlı gelişirler. Bitkilerin fotosentez yapabilmeleri, gıda üretimi ve hayatın tümü güneşten gelen enerjiye bağlıdır. Güneşten gelen ışınlar "radyasyon" (ışınım) denir. İyonosfer tabakasına giren ışığın yoğunluğu 1.39 kW m<sup>-2</sup>dir. Dalga boyları ise 225-3200 nm arasındadır. Bu ışınların bir kısmı görünen, bir kısmı da görünmeyen ışınlardır. Dalga boyu ile ışık enerjisi ters orantılıdır. Bitkilerin fizyolojik olarak yararlandıkları 400-700 nm arasında dalga boyunda ışınlardır.

Görünen veya görünmeyen ışınlar atmosfer içine girdiği andan itibaren dağılıp birbirinden ayrılırlar, cisimlere çarpınca yansır kırılır ve dalga uzunluklarına göre atmosfer içinde yutulup emilirler. Sonunda yine uzaya dönerler. Yer yuvarlağı güneşin yaydığı enerjinin ancak iki milyonda birini alır ki, bu da büyük bir enerjidir. Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin küçük bir kısmı bitkiler tarafından tutulmakta, fotosentez yoluyla besin enerjisine çevrilmiştir (Yalçın ve ark., 2005).

Işık bütün canlılarda olduğu gibi, bitkiler için de gerekli bir yaşam kaynağıdır. Bitkiler için gerekli olan ışık azaldığı veya çoğaldığı zaman zararlı etkiler yapar. Işık bitkilerde; klorofil oluşumuna, stomaların açılıp kapanmasına, fotosentez olayına, transpirasyonun şiddetine, hormon oluşumuna, bitkilerin hareketine, bitki yapısının değişimine, bitkilerde çiçek ve yaprak veriminin yükselmesine, kardeşlenmenin artmasına etkili olmaktadır. Bulutluluk genellikle güneşlenmeyi azaltan bir etkidir. Çünkü bulut, güneş ışınlarının toprak yüzeyine ulaşmasını engellemekte ve sıcaklığı düşürmektedir (Asar ve ark., 2007).

Yeşil bitkiler güneş enerjisi sayesinde havanın karbondioksitini indirgeyerek organik

madde yaparlar. Canlıların dış ortamdaki aldıkları inorganik maddelerden gelişmeleri için zorunlu olan organik maddeleri yapmalarına "özümleme" (asimilasyon) denir. Bu işi kendileri yapan ve başka canlılardan organik maddeye gereksinim duymayan canlılar ototrof olarak tanımlanır. Tüm yeşil bitkiler bu yeteneğe sahiptir. Yeşil bitkilerin güneş enerjisini kullanarak inorganik maddelerden organik besin maddesi yapmasına "fotosentez" denir (Asar ve ark., 2007).

Bitkiler içinde, mantarlar dışında kalan bütün bitkiler, fotosentez, solunum ve terleme gibi temel fizyolojik olayları yönlendiren enzim ve hormonlar ile başta klorofil olmak üzere antosiyanin gibi renk pigmentlerinin oluşumu için ışığa ihtiyaç duymaktadırlar. Bunların dışında ışık, bitkilerde, çimlenme, yumru oluşumu, çiçeklenme, cinsiyetin belirlenmesi gibi değişik olaylar üzerinde de etkili olmaktadır. Bitki yetiştiriciliğinde ışığın süresi ve niteliğinin yanında yoğunluğunun da büyük önemi vardır. Işık intensitesi (yoğunluğu), belirli bir alanda belirli bir sürede gelen ışık miktarını ifade eder ve birimi "Lüx" tür (Özcan, 2020).

Fotosentezin meydana gelmesinde ışık yanında, klorofil, sıcaklık ve su etkili olmaktadır. Yapraklar, bitkilerin besin üretim merkezleridir. Bitki yapraklarını oluşturan hücrelerin içinde kloroplast denilen çok küçük yapılar bulunmaktadır. Bu yapıların içindeki yeşil renkli boyar madde (pigment) olan klorofil maddesinin görevi ışığı yakalamaktır. Kloroplastlar güneş ışınlarını bir panel gibi toplayıp, kollektör gibi enerjiye dönüştürerek besin üretirler. Üretilen besin, yapraklardan bitkinin beslenmesi gereken diğer bölümlerine gönderilmektedir (Özcan, 2020).

Işık bitkilerde stomaların açılmasına hücre zarlarının geçirgenliğinin artmasına neden olmaktadır. Bu olay ışıklandırma süresi ve yoğunluk ile doğru orantılıdır. Bitkilerin büyük bir çoğunluğunda gündüzleri stomalar açık iken geceleri kapanmakta, böylelikle gece saatlerindeki terleme azalmaktadır (Özcan, 2020). Işık, bitki gelişiminde absorbe edilebilen en küçük parçacık anlamındaki foton ya da kuantum şeklinde tanımlanır. Fotonların enerji içeriği dalga boyları (ışık renk spektrumu) ile ters orantılıdır. Işık şiddeti arttıkça fotosentez hızı da artar. Ancak ışık şiddeti belli bir değeri geçtikten sonra sabit kalır. Her bitkinin ışık ihtiyacı oldukça değişkendir. Bitkilerin gelişmeleri için gerekli olan ışık yoğunluğundan daha fazlasına maruz kalmaları sonucunda fotosentezde meydana gelen verim kaybına fotoinhibisyon denir (Maxwell ve Johnson, 2000). Fotoinhibisyon olayı bitkilerin büyümesi üzerinde durdurucu etki yapmaktadır. Işığın süresi fotoperiyodizm olarak adlandırılır ve gün uzunluğu ile bitki metabolizması arasında kuvvetli bir ilişki

vardır (Dalchau ve ark., 2010; Greenup ve ark., 2009; Sönmez, 2019). Yüksek ışık şartlarında güneş bitkileri fotosentez kapasitelerini tedricen arttırabilmektedirler.

Bitkisel üretimde genetik verim potansiyeline yakın ürün alabilmek için ulaşılabilecek maksimum ürün miktarının doğru belirlenmesi gerekmektedir. Bu makalede tanelik mısır üretiminde radyasyon verilerine dayalı hedef ürün miktarını belirlemede Konya örneği verilerek literatür ışığında hesaplama yapılmıştır.

## 2. Tanelik Mısır Üretiminde Verimi Etkileyen Fotosentetik Unsurlar

Fotosentez kapasitesi ve etkinliği bitkisel üretimde doğrudan verimi belirlemektedir. Bitkisel üretimde verim potansiyelini yakalanan fotosentetik aktif ışık (IPAR) miktarı, yakalanan ışığın kimyasal enerjiye (kuru maddeye) dönüştürülme etkinliği (RUE) ve hasat indeksi değerleri (HI) belirlemektedir (Araus ve ark., 2001; Morales ve ark., 2020).

Tane Verimi = IPAR x RUE x HI (Şekil 1).



Şekil 1. Verimi etkileyen fotosentetik unsurlar

### 2.1. Bitki Kanopisi Tarafından Yakalanan Işık Miktarı

Bitkiler yaprakları üzerine düşen ışığı ya absorbe ederler ya yansıtırlar veya geçirirler. Bunun derecesi ışığın dalga boyuna, yaprağın yapısına ve pozisyonuna bağlıdır. Yaprak tüyleri ışığın yansıtılmasına neden olur. Kızıl ötesi ışınların %70'i genelde yapraklar tarafından yansıtılabilir. Halbuki görünen ışığın (400-700nm) %6-12'si ve ultraviyole ışığın yalnızca %3'ü yapraklar tarafından yansıtılabilir. Görünür ışınlar içerisinde en fazla yansıtılan ise yeşil ışınlardır (%10-20), en az yansıtılan ise kırmızı ışınlardır (%3-10). Kloroplast pigmentleri görünen ışınları (400-700nm) absorbe eder. İnce yapraklar ışığı daha çok geçirirler. Bir bitkinin ışık absorpsiyon yeterliliği birim yaprak alanında bulunan klorofil miktarına bağlıdır.

Işık spektrumunun mavi ve kırmızı bölgelerinde ışık absorpsiyonu ve fotosentez hızı en yüksek seviyededir. Kırmızı ışığın bitkilerde fotosentez, bitki büyümesi, çiçeklenme ve bitkilerin besin içeriği üzerinde etkileri vardır. Mavi ışık;

fotosentez, fototropizma, gövde uzaması ve fide büyümesi, stoma hareketleri ve bitkilerin besin içeriğinde etkili olmaktadır (Massa ve ark., 2008; Kopsell ve ark., 2015).

İnsan gözü 400-735 nm arasındaki dalga boyuna sahip ışıkları görebiliyorken; bitkilerin fotosentetik spektrum aralığı 400-700 nm' dir. Bu aralığa ise PAR (photosynthetic active radiation; fotosentetik aktif radyasyon) denir (Sönmez, 2019), (Şekil 2).

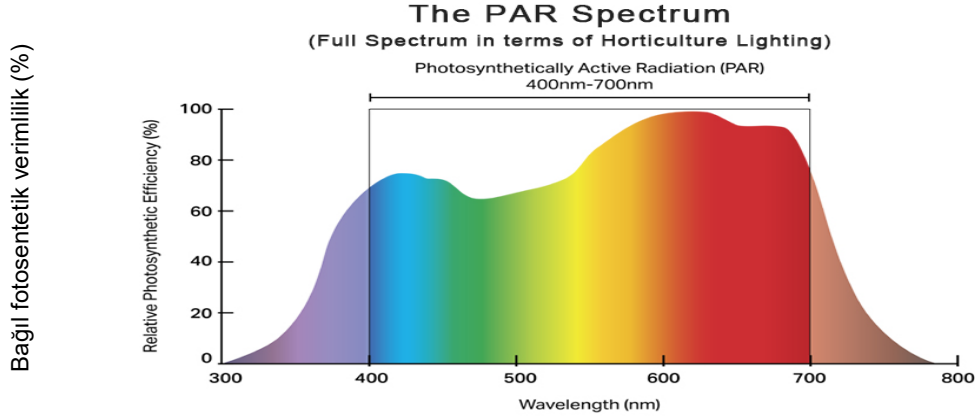
Fotosentez, kırmızı ve mor dalga boylarında hızlı, yeşil ışıkta ise minimum hızdadır. Işığın şiddeti havadaki bulutlara ve rakıma göre değişir. Deniz seviyesinde ve 30° zenith açısında fotosentetik aktif radyasyonun toplam güneş radyasyonuna oranı 0.44 olarak belirlenmiştir. Farklı lokasyon ve yükseltilerde yapılan hesaplamalarda 0.44 ile 0.54 arasında değerler elde edilmiştir (Tsubo ve Walker, 2005). Pratik uygulamalar için bu oranın 0.50 olarak alınması tavsiye edilmektedir (Garcia-Rodriguez ve ark., 2020).

Bitkisel üretimde biyotik ve abiyotik stres şartları yoksa verim doğrudan bitki tarafından

absorbe edilen ışık miktarına bağlıdır (Kiniry ve ark., 1989; Sinclair ve Muchow, 1999). Absorbe edilen ışık miktarı ise bitkinin yaprak alanı indeksi ve yaprak açıları ile ilişkilidir. Yaprak açısına göre, bitki kanopileri erektofil, plagiofil ve planofil kanopi olmak üzere üç ana tipte sınıflandırılabilir. Yaprakların çoğunun dikey açıları 60°'den daha büyükse erektofil konopi, yaprakların açısı çoğunlukla yatay yani 35°'den küçük olduğunda ise

planofil kanopi olarak tanımlamıştır. Erektofil kanopiler göreceli olarak daha iyi ışık penetrasyonuna izin verdikleri için kanopinin fotosentetik verimliliğini artırmaktadırlar.

Mısır yapraklarının nispi fotosentetik potansiyelinin, kanopinin üst kısmında orta kısımdaki yapraklara göre iki kat, kanopinin alt kısmındaki yapraklara göre ise beş kat daha büyük



Şekil 2. Fotosentetik aktif radyasyon (PAR) spektrumu ([www.vanqled.com](http://www.vanqled.com))

Bitki yaprak gelişimini ve yaşlanmasını etkileyen faktörlerin verim üzerine önemli etkileri bulunmaktadır. Bitki kanopileri tarafından absorbe edilen ışık miktarı yaprak alan indeksi ile doğru orantılıdır.

Yaprak alan indeksi; birim toprak alanı başına düşen yaprak alanı olup, ışık tutma oranı ve ışık tutma etkinliği ile birlikte bitkilerin fotosentetik verimliliklerini belirlemede kullanılan önemli bir göstergedir. Çevre koşulları ve kültürel uygulamalar bitkilerin fotosentetik verimliliklerini etkilemektedir (Hunt, 1982).

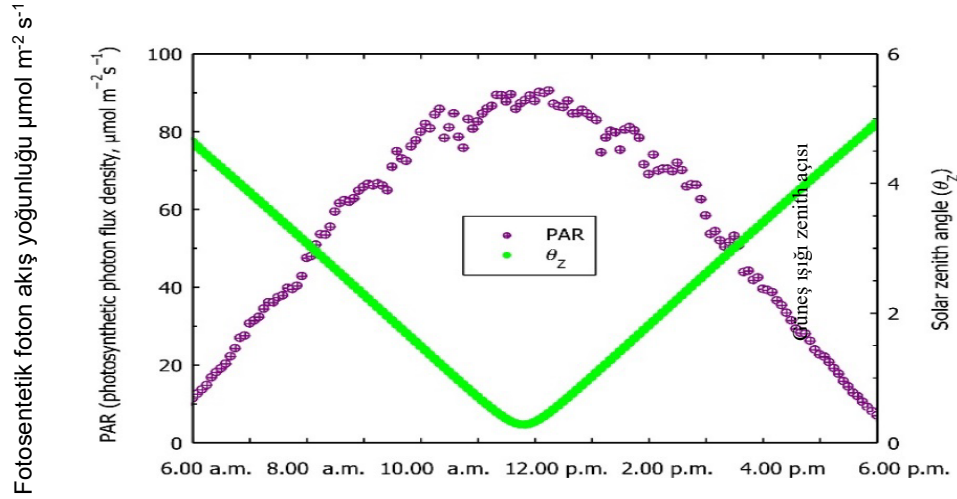
Bitki tarafından yakalanan ışık miktarının tespitinde;

$IPAR = (1 - I / I_0)$  formülü kullanılmaktadır (Andrade ve ark., 1992).

IPAR: Yakalanan fotosentetik aktif ışık radyasyonu, I: Bitki kanopisinin altından, toprak yüzeyinden ölçülen PAR,  $I_0$ : Bitki kanopisi üzerinden ölçülen PAR

Erken ekim vejetasyon süresini uzatacağı için toplam PAR miktarını artıracaktır. Bu sebeple yerel iklim ve çevre şartlarına uygun çeşitlerin seçimi yüksek verim elde etmede önem arz etmektedir. Daraltılmış sıra aralığı ekim modeli ile yabancı ot gelişimleri baskı altına alınmakta ve toprak yüzeyinden su buharlaşması azaltılmakta aynı zamanda bitki kanopisi tarafından daha fazla ışık yakalanmaktadır. Yetiştiricilikte özellikle erken dönemde ideal sulama ile bitki yaprak alanı artırılacağı için daha çok miktarda PAR absorbe edilecektir (Sharratt ve McWilliams, 2005; Drouet ve Kiniry, 2008).

Fotosentetik aktif radyasyon (PAR) miktarını coğrafi konum, zaman (Şekil 3), hava yoğunluğu, su buharı, bulutluluk, optikal derinlik ve aerosol konsantrasyon gibi atmosferik koşullar etkilemektedir coğrafi konum, hava olayları ve zamana göre değişkenlik göstermektedir (Kukal ve İrmak, 2020).



Şekil 3. Saatlik (öğleden önce ve sonra) fotosentetik aktif radyasyon (PAR) miktarları (Deo ve ark., 2019).

Earl ve Davis (2003) kuraklık stresinin IPAR, RUE ve HI değerleri üzerine etkilerinin önemli olduğunu ve bu değerlerdeki azalmanın ciddi verim kayıplarına neden olduğunu belirtmişlerdir. Ekim sonrası öğle saatlerinde haftada bir kere yapılan ölçümlerde 0-30 gün arasında 0-0.17, 31-50 gün arasında 0.18-0.70, 51-75 gün arasında 0.71-0.92, 76-105 gün arasında 0.91-0.86, 106-135 gün arasında 0.85-0.83 IPAR oranı değerlerini elde etmişlerdir.

Singer ve ark. (2011) IPAR ölçümlerinde 31 hektar mısır tarlasına 50-75m aralıklarla yerleştirdikleri 8 sensörden 60 sn'de bir veri almışlar ve bu verileri 30 dakikada bir ortalamasını alarak kaydetmişlerdir. Anlık ölçümlerle daha güvenilir değerlere ulaştıklarını belirtmişlerdir. Ekim sonrası yapmış oldukları ölçümlerde 0-30 gün arasında 0-0.14, 31-50 gün arasında 0.15-0.68, 51-75 gün arasında 0.69-0.96, 76-105 gün arasında 0.95-0.92, 106-135 gün arasında 0.91-0.86 IPAR oranı

değerlerini elde etmişlerdir. Puntel (2012) farklı dozda (kontrol 0, 90 ve 225 kg ha<sup>-1</sup>) azot uygulamaları yaparak bunların IPAR değerleri üzerine etkilerini araştırmış ve en yüksek değerlere yüksek azot dozu uygulamalarından elde ettiğini belirtmiştir. Kukal ve Irmak (2020) IPAR ölçümlerinde sürekli ve haftalık elde edilen verilerin doğruluğunu araştırmışlardır. Sürekli yapılan ölçümlerde sensörlerden dakikalık veri almışlar ve bunların 15 dakikalık ortalamasını kaydetmişlerdir. Sürekli yapılan ölçümlerden elde edilen verilerin daha güvenli olduğunu belirtmişlerdir. Radyasyon kullanım etkinliği (RUE) hesaplamalarında kullanılan yakalanan fotosentetik aktif radyasyon (IPAR) verileri ile absorbe edilen fotosentetik aktif radyasyon (APAR) verileri arasında %12'leri bulan farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir. Bunun sebebi bitki kanopisi ve toprak yüzeyi tarafından yansıtılan ışık miktarlarının APAR değerlerinin ölçülmesinde dikkate alınmamasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 1b. Tanelik mısır üretim periyodunda bitki kanopisi tarafından yakalanan ışık oranları

Ekim sonrası gün	Gelişim dönemi	Gallo ve ark. (1993)	Kanton ve Dennett (2000)	Lindquist ve ark. (2005)	Liu ve ark. (2017)	Mahesh ve ark. (2015)	Tsubo (2000)
Yıl		1983	2000-2001	1998-1999	2013-2015	1986-1987	1998-2000
Yer		Purdue/USA	Shinfield/UK	Nebraska/USA	Shandong/China	Minnesota/USA	South Africa
Konum		40°28'N 87°0'W	51°25'N 0°56'W	40°26'N 97°36'W	35°15'N 115°25'E	17°19'N 78°23'E	29°01'S 26°09'E
0-30	V0-V6	0-0.28	0-0.10	0-0.17	0-0.10	0-0.40	0-0.16
31-50	V7-V10	0.27-0.55	0.11-0.35	0.18-0.75	0.11-0.80	0.41-0.75	0.17-0.73
51-75	V11-R1	0.56-0.97	0.36-0.70	0.76-0.98	0.81-0.94	0.76-0.92	0.74-0.94
76-105	R2-R3	0.96-0.92	0.71-0.85	0.97-0.95	0.93-0.85	0.91-0.88	0.93-0.85
106-135	R4-R6	0.91-0.86	0.84-0.78	0.94-0.90	-	0.87-0.80	0.84-0.80



Çizelge 1a ve 1b'de yer alan araştırmalarda elde edilen IPAR oranı değerleri arasındaki farklılıkların yetiştirilen çeşit özellikleri, bitki sıklıkları, iklim ve toprak koşulları, sulama, gübreleme, hastalık ve zararlılarla mücadele gibi yetiştirme uygulamaları ile kullanılan sensör ve ölçüm tekniklerinden kaynaklandığı varsayılmaktadır.

## 2.2. Radyasyon Kullanım Etkinliği

Bitki tarafından üretilen kuru madde miktarının yakalanan fotosentetik aktif radyasyon miktarına oranlanmasına "**radyasyon kullanım etkinliği**" (RUE) denilmektedir (Gallagher ve Biscoe, 1978). Bitkilerin fotosentez kapasiteleri fotosentetik aktif radyasyon yakalama kabiliyetleri ve yakaladıkları bu ışık enerjisini etkin olarak karbon asimilasyonunda kullanımları ile ilgilidir. Bitki fizyologları tarafından bu iki unsur IPAR ve RUE olarak isimlendirilmektedir (Monteith, 1972). Biyolojik ve çevresel kısıtlamaların yokluğunda mısır kanopisinin oluşturacağı yaprak alanı indeksi değerlerini öncelikle bitki sıklıkları ve çeşitlerin yaprak yapıları ile vejetatif periyod döneminde yeterli su ve bitki besin elementi varlığı belirlemektedir (Maddonni ve ark., 2001).

Mısır radyasyon kullanım etkinliği üzerine yapılmış bazı araştırmalar Çizelge 2'de verilmiştir. Teorik olarak su, sıcaklık ve besin elementi vb. stres koşullarının olmadığı ve bitki kanopisi tarafından gelen solar radyasyonun büyük çoğunluğunun yakalanabildiği şartlarda mısır bitkisi için 14, 16 ve 18 quanta mol<sup>-1</sup> IPAR değerlerinde ulaşılacak maksimum potansiyel RUE değerleri sırasıyla 5.5, 4.6 ve 4 g MJ<sup>-1</sup> olarak belirtilirken, 14, 16 ve 18 quanta mol<sup>-1</sup> APAR değerlerinde ulaşılacak maksimum potansiyel RUE değerleri sırasıyla 5.8, 4.9 ve 4.2 g MJ<sup>-1</sup> olarak belirtilmektedir (Loomis ve Amthor, 1999). Mısırın genetik verim potansiyeli yeterli sulama, gübreleme ve optimum bitki sıklığı uygulamalarında ortaya çıkarılabilmektedir (Singh ve Singh, 2006). Bu verim artışı yaprak çıkış hızının ve yaprak alanının artışı ile daha fazla PAR yakalanması ile izah edilmektedir (Mahesh ve ark., 2015). Toplam biyomasa ile bitki çıkışından fizyolojik oluma kadar elde edilen toplam PAR değerleri ile doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Yüksek verim elde etmek için optimum yetiştirme tekniklerini uygulamanın yanında yüksek miktarda PAR yakalama ve yakalanan bu ışığın yüksek oranda taneye dönüştürülmesi gerekmektedir (Hossain ve ark., 2014). Yaprak azot miktarı radyasyon kullanım etkinliğini belirleyici önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Bitkilerde genellikle çiçeklenme sonrası RUE göreceli olarak azalmaktadır (Bonelli ve ark., 2020). Kiniry ve ark. (1989) 1987 yılında Teksas'ta yürüttüğü çalışmada üç farklı bitki sıklığında 3.9, 6.4 ve 10.4 bitki m<sup>-2</sup> sırasıyla 2.1, 3.9 ve 3.4 g MJ<sup>-1</sup> RUE değerleri elde

ettiğini belirtmiştir. Otegui ve ark. (1995) 1991 ve 1992 yıllarında dört farklı mısır çeşidini dört farklı (Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım) ekim tarihlerinde 8 bitki m<sup>-2</sup> sıklıkta su ve bitki besin elementi stresi oluşturmadan yetiştirmişler ve koçan püskülü çıkış dönemi öncesi 4.14 g MJ<sup>-1</sup> RUE değerlerine ulaşırlarken, koçan püskülü çıkış döneminden sonra 2.45 g MJ<sup>-1</sup> RUE değerleri elde ettiklerini belirtmişlerdir. Linquist ve ark. (2005) 1998 ve 2002 yılları arasında optimum çevre koşullarında 8.9 bitki m<sup>-2</sup> sıklıkta yetiştirdikleri Pioneer 33A14 hibrit mısır çeşidinde ekimden 148 gün sonra fizyolojik oluma ulaşmışlar ve en yüksek 3.8 g MJ<sup>-1</sup> RUE değerlerini tespit etmişlerdir. Torres (2012) Amerika'nın Oklahoma bölgesinde 2010 yılında üç farklı bitki sıklığı (4.94, 7.41 ve 9.8 bitki m<sup>-2</sup>) ve iki farklı kanopi yapısına sahip (yatay ve dikey yaprak yapılı), hibrit mısır çeşitlerinde RUE değerlerini belirlediği çalışmada yatay bitki kanopsinde en yüksek 3.55 g MJ<sup>-1</sup> RUE değerlerine ulaşırken, dikey bitki kanopsinde 3.64 g MJ<sup>-1</sup> RUE değerlerine ulaştığını belirtmiştir. Bitki sıklıkları ortalamaları olarak düşük, orta ve yüksek bitki sıklıklarında sırasıyla, 3.38, 3.18 ve 1.91 g MJ<sup>-1</sup> RUE değerleri elde ettiğini belirtmiştir. Zhao ve ark. (2015) dört farklı hibrit mısır çeşidini Çin'in Siping şehrinde 2010 ve 2011 yıllarında, 6 bitki m<sup>-2</sup> sıklıkta yetiştirmişler tepe püskülü çıkışı dönemi öncesinde en yüksek 2.7 MJ<sup>-1</sup> RUE değerlerine ulaşırlarken, tepe püskülü çıkışı döneminden sonra en düşük 1.6 MJ<sup>-1</sup> RUE değerleri elde ettiklerini belirtmişlerdir. Hao ve ark. (2016) iki farklı mısır çeşidini iki farklı sulama programında (tam sulama ve %50 su kısıtı) iki yıl yetiştirerek RUE değerlerini araştırmışlardır. Tam sulama programında 2013 yılında çeşitler arasında 4.28 ve 4.84 g MJ<sup>-1</sup> RUE değerleri elde ederlerken, 2014 yılında 3.48 ve 3.71 g MJ<sup>-1</sup> RUE değerleri elde etmişler ve bu iki yıl arasındaki farkı 2013 yılı ile 2014 yılı arasında günlük ortalama IPAR değerleri arasındaki farklılıkla izah etmişlerdir sırasıyla 20.9 ve 23.6 MJ m<sup>-2</sup>. Benzer konularda yapılan diğer araştırmalarda da günlük IPAR değerlerinde 1 MJ m<sup>-2</sup> artışın RUE değerlerini 0.20 g MJ<sup>-1</sup> azalttığı belirtilmektedir (Kiniry ve ark., 1989; Muchow, 1994; Massignam ve ark., 2009; Hao ve ark., 2016). Gou ve ark. (2017) 2013 ve 2014 yıllarında Hollanda'nın Wageningen bölgesinde yürüttükleri çalışmada mısır için sırasıyla, 3.21 ve 3.15 g MJ<sup>-1</sup> RUE değerlerine ulaşmışlardır. Bonelli ve Andrade (2020), mısır bitkisinde farklı yaprak alanı indeksi ve PAR değerlerinde ulaşılacak maksimum RUE değerlerini modelleme yaparak hesap etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre 15.2 MJ m<sup>-2</sup> günlük PAR değerlerinde 3.0, 4.9 ve 6.5 yaprak alanı indeksi değerleri için ulaşılacak maksimum RUE değerlerini sırasıyla 3.94, 4.11 ve 4.15 g MJ<sup>-1</sup>, 11.4 MJ m<sup>-2</sup> günlük PAR değerlerinde 3.0, 4.9 ve 6.5 yaprak alanı indeksi değerleri için sırasıyla 4.28, 4.46 ve 4.55 g MJ<sup>-1</sup> ve 7.6 MJ m<sup>-2</sup> günlük PAR değerlerinde 3.0, 4.9 ve 6.5 yaprak

alanı indeksi değerleri için sırasıyla 4.59, 4.84 ve 4.98 g MJ<sup>-1</sup> olarak açıklamışlardır. Kukal ve Irmak (2020) 2016 ve 2017 yıllarında iki farklı (80 ve 113 gün) olum grubuna ait mısır çeşidini toprakaltı sulama yöntemi ile optimum sulama ve gübreleme koşullarında Nebraska'da yetiştirerek sürekli yaptıkları ölçümlerle IPAR ve APAR değerlerini belirleyerek RUE değerlerini hesap etmişlerdir. APAR değerlerine göre 80 ve 110 günlük mısır çeşitlerinde sırasıyla 5.21 ve 5.37 g MJ<sup>-1</sup> RUE değerlerine ulaşırlarken, IPAR değerlerine göre ise sırasıyla 4.82 ve 5.10 g MJ<sup>-1</sup> RUE değerlerine ulaşmışlardır.

Çizelge 2'de yer alan araştırmalarda elde edilen RUE değerleri arasındaki farklılıkların yetiştirilen çeşitlerin kanopi yapısı, yaprak alanı indeksi, hasat indeksi, erkenci, geçici oluşu gibi genetik özellikleri, PAR şiddeti, sıcaklık, nem, yağış, toprak koşulları gibi iklim ve çevre değerleri, bitki sıklıkları, sulama, gübreleme, hastalık ve zararlılarla mücadele gibi yetiştirme uygulamaları ile hesaplamada yakalanan veya absorbe edilen toplam ışık değerlerinin kullanımından kaynaklandığı varsayılmaktadır.

**Çizelge 2.** Mısır radyasyon kullanım etkinliği üzerine yapılmış bazı araştırmalar

Kaynak	Radyasyon kullanım etkinliği (g MJ <sup>-1</sup> )	Kaynak	Radyasyon kullanım etkinliği (g MJ <sup>-1</sup> )
Kiniry ve ark. (1989)	2.1-3.9	Zhao ve ark. (2015)	1.6-2.7
Otegui ve ark. (1995)	2.45-4.14	Hao ve ark. (2016)	3.48-4.84
Loomis ve Amthor (1999)	4.0-5.8	Gou ve ark. (2017)	3.15-3.21
Lindquist ve ark. (2005)	3.74-3.84	Bonelli ve Andrade (2020)	3.94-4.98
Torres (2012)	1.91-3.64	Kukal ve Irmak (2020)	4.82-5.37

### 2.3. Hasat İndeksi

Birim alandan elde edilen tane veriminin toprak üstü kuru madde miktarına oranı "**hasat indeksi**" (HI) olarak tanımlanmaktadır (Lucas, 1981; Beadle, 1985). Hasat indeksi mısır üretiminde tane verimi üzerine etki eden önemli bir faktördür. Kuşçu ve Demir (2012) Bursa koşullarında tam ve üç farklı oranda (%75, 50 ve 25) kısıntılı sulama koşullarının mısır üzerine etkilerini araştırdığı çalışmada 2008 yılında 0.35 ile 0.60 HI değerleri elde ederken, 2009 yılında 0.48 ile 0.69 arası HI değerleri elde etmiştir. Tollenaar ve Lee (2011) su kısıtı olmayan şartlarda iki farklı mısır çeşidi üzerine yaptıkları araştırmada 0.55 ile 0.59 arası HI değerleri elde etmişlerdir. Arous ve ark. (2012) yapmış oldukları çalışmada optimum sulama koşullarında mısırın HI değerlerinin 0.40 ile 0.55 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Djaman ve ark. (2013) Nebraska'da kısıtlı ve tam sulama koşullarında mısır üzerine yaptıkları araştırmada sırasıyla 0.49 ve 0.54 HI değerleri elde etmişlerdir. Roth ve ark. (2013) kuzeybatı Hindistan'da optimum yetiştirme koşullarında üç farklı (P1151HR, P1162HR ve P1184HR) hibrit mısır çeşidinde 0.58 ile 0.60 arasında değişen HI değerleri elde etmişlerdir. Mısır bitkisinde bitkinin biomas ağırlığı artışı ile birlikte HI değerleri de artış göstermektedir (Ismail, 1983).

Hasat indeksi değerleri çeşidin genetik özelliği, sıcaklık, karbondioksit miktarı, yağış gibi

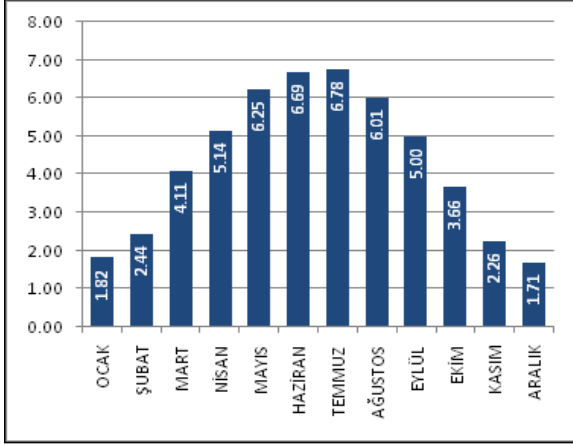
çevre koşulları, bitki sıklığı, bitki besin elementi yeterliliği, yakalanan PAR miktarı, sulama yönetimi, yabancı ot rekabeti, hastalık ve zararlılarla mücadele gibi uygulamalardan etkilenmekte bu sebeple HI değeri ile ilgili yapılan çalışmalarda elde edilen değerler farklılık göstermektedir (Potarzycki ve Grzebisz, 2009; Ion ve ark., 2015; Khan ve ark., 2017; Tokatlidis ve Remountakis, 2020). Genel olarak mısır HI değerleri üzerine yapılan araştırmalarda elde edilen sonuçlara göre ortalama olarak 0.50 HI değeri almak doğru bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir.

### 3. Konya İlinde Tanelik Mısır Üretiminde Radyasyon Verilerine Dayalı Ulaşılabilecek Maksimum Ürün Miktarı Belirleme

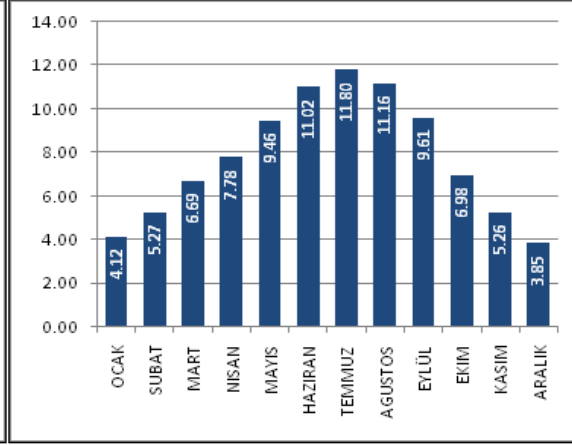
Bitkisel üretimde verim potansiyelini yakalanan toplam fotosentetik aktif ışık (IPAR) miktarı, yakalanan ışığın kimyasal enerjiye (kuru maddeye) dönüştürülme etkinliği (RUE) ve hasat indeksi değerleri (HI) belirlemektedir (Arous ve ark., 2001; Morales ve ark., 2020).

Tane Verimi = IPAR x RUE x HI

Konya ilinde 1997 ile 2008 yılları arasında ölçülmüş verilerin ortalaması olarak güneşlenme süreleri ve global radyasyon değerleri Şekil 4 ve 5'te verilmektedir. Bu veriler ışığında aylık radyasyon değerleri hesap edilmiştir (Çizelge 3).



Şekil 4. Konya global radyasyon değerleri (kWh m<sup>-2</sup> - gün) (Anonim, 2012)



Şekil 5. Konya güneşlenme süreleri (saat) (Anonim, 2012)

Hesaplama sonucu elde edilen aylık radyasyon değerlerinin %50'si PAR değeri olarak alınmıştır. Tanelik mısır üretiminde çıkıştan fizyolojik olum dönemine kadar geçen sürede yakalanan aktif fotosentetik ışık (IPAR) oranları bu konuda daha önce yapılmış Çizelge 1a ve 1b'de belirtilen araştırmalarda elde edilen değerlerin ortalaması alınarak hesap edilmiştir. Teorik olarak stres koşullarının olmadığı optimum yetiştirme koşullarında mısır bitkisi için ulaşılacak maksimum potansiyel RUE değerleri 5.5 g MJ<sup>-1</sup> olarak belirtilmektedir (Loomis ve Amthor, 1999). Mısırın hasat indeksi değerlerini belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda elde edilen değerlerin

ortalaması olarak hasat indeksi değeri olarak 0.5 alınmıştır. Bu bilgiler ışığında elde edilen verilere göre Konya ilinde tanelik mısır üretiminde teorik olarak ulaşılacak maksimum verim 2822 kg da<sup>-1</sup> olarak hesap edilmiştir. Çizelge 3'ün incelenmesinden anlaşılacağı üzere mayıs ayı IPAR değerleri oldukça düşüktür. Erken ekim veya bitki sıra arası daraltılarak bu değerlerde artış sağlanabilirse elde edilecek tane verimi değerleri daha da yükselecektir. Üretim sezonu boyunca yaşanacak stres koşulları veya uygun olmayan yetiştirme teknikleri sonucu ise hesap edilen bu verim değerlerinde azalmalar yaşanacaktır.

Çizelge 3. Konya ili radyasyon verilerine göre elde edilebilecek maksimum tanelik mısır verim hesabı

Aylar	Günlük radyasyon (kWh m <sup>-2</sup> - gün)	Aylık radyasyon (kWh m <sup>-2</sup> - gün)	PAR R*%50	F: extinction coefficient	IPAR kWh m <sup>-2</sup> - ay)	IPAR x3.6: MJ	Tane verimi (kg da <sup>-1</sup> ) : IPAR x RUE x HI : 1026.3 x 5.5 x 0.5
Mayıs	6.25	62.5	31.3	0.10	3.13	11.27	
Haziran	6.69	200.7	100.3	0.50	50.15	180.54	Teorik maksimum
Temmuz	6.78	203.4	101.7	0.83	84.41	303.88	mısır
Ağustos	6.01	180.3	90.1	0.92	82.89	298.40	RUE: 5.5 g MJ <sup>-1</sup>
Eylül	5.00	150.0	75.0	0.86	64.50	232.20	Loomis ve Amthor (1999)
<b>Toplam</b>		<b>796.9</b>	<b>398.4</b>		<b>302.87</b>	<b>1026.3</b>	<b>2822 kg da<sup>-1</sup></b>

### 3. Sonuç

Ülkemizde tanelik mısır üretiminde elde edilen verim ortalaması hibrit çeşitlerin genetik verim potansiyellerinin yaklaşık dörtte biri kadardır. Genetik verim potansiyeline yakın ürün alabilmek için ulaşılacak maksimum ürün miktarının doğru belirlenmesi gerekmektedir. Hedef ürün miktarını vejetasyon süresince yakalanan toplam fotosentetik aktif ışık (IPAR) miktarı, yakalanan ışığın kimyasal enerjiye (kuru maddeye) dönüştürülme etkinliği (RUE) ve hasat indeksi değerleri (HI) belirlemektedir. Teorik olarak stres koşullarının olmadığı optimum yetiştirme

koşullarında mısır bitkisi için ulaşılacak maksimum potansiyel RUE değerleri 5.5 g MJ<sup>-1</sup> olarak belirtilmektedir. Mısır için 0.5 HI değeri ortalama olarak kabul edilmektedir. Uzun yıllar ortalaması radyasyon verilerine göre Konya ilinde tanelik mısır üretiminde teorik olarak ulaşılacak maksimum verim 2822 kg da<sup>-1</sup> olarak hesap edilmiştir. Hesaplanan bu verim miktarına ulaşabilmek için bitki tarafından topraktan kaldırılacak besin elementi miktarları doğru olarak belirlenmeli ve toprak analizleri doğru olarak yorumlanmalıdır. Bitki gelişimi ve topraktan kaldırılan bitki besin elementi miktarları takip



edilerek doğru zamanda ve doğru miktarda sulama suyu ile birlikte gübre uygulanmalıdır.

## Kaynakça

- Andrade, F.H., Uhart, S.A., Agruissain, G.G., Ruiz, R.A. (1992). Radiation use efficiency of maize grown in a cool area. *Field Crops Res.*, 28(4), 345–354. DOI: 10.1016/0378-4290(92)90020-A.
- Anonim, (2012). *Konya'da yenilenebilir enerji kaynakları malzeme üretilebilirlik araştırması*. <http://www.konyadayatirim.gov.tr/images/dosya/Jeotermal%20Enerji%20%20Konya%E2%80%99da%20Yenilenebilir%20Enerji%20Kaynaklar%C4%B1%20Malzeme%20%C3%9Cretilebilirlik.pdf>
- Araus, J.L., Tapia, L., Alegre, L., Casadesus, J., Bort, J. (2001). *Recent Tools for the Screening of Physiological Traits Determining Yield*. (Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio, J.I., McNab, A. Eds). Application of Physiology in Wheat Breeding. Mexico, CIMMYT.
- Araus, J.L., Serret, M.D., Edmeades, G.O. (2012). Phenotyping maize for adaptation to drought. *Front. Physiol.*, 3: 305. DOI: 10.3389/fphys.2012.00305.
- Asar, M., Yalçın, S., Yücel, G., Nadaroğlu, Y., Erciyas, H. (2007). *Zirai Meteoroloji*. Çevre ve Orman Bakanlığı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Beadle, C.L. (1985). *Plant Growth Analysis. Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis*. (Edit by Coombs, J., Hall, D.O., Kong, S.P., Scurlock J.M.O.) Chapter 2, 20–25.
- Bonelli, L.E., Andrade, F.H. (2020). Maize radiation use efficiency response to optimally distributed foliar nitrogen-content depends on canopy leaf-area index. *Field Crops Research*, 247: 1-8. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.107557.
- Bonelli, L.E., Cerudo, A., Pico, L.B.O., Di Matteo, J.A., Monzon, J.P., Rizzalli, R.H., Andrade, F.H. (2020). Does the photo-thermal environment limit post-flowering maize growth? *Field Crops Research*, 252(1), 1-10. DOI: 10.1016/j.fcr.2020.107805.
- Dalchau, N., Hubbard, K.E., Robertson, F.C., Hotta, C.T., Briggs, H.M., Stan, G.B., Gonçalves, J.M., Webb, A.A. (2010). Correct biological timing in arabidopsis requires multiple light-signaling pathways, proceedings. *National Academy of Sciences, USA*, 107(29), 13171-13176. DOI: 10.1073/pnas.1001429107.
- Deo, R.C., Downs, N.J., Adamowski, J.F., Parisi, A.V. (2019). Adaptive neuro-fuzzy inference system integrated with solar zenith angle for forecasting subtropical photosynthetically active radiation. *Food Energy Secur*, 8(1), 145-151. DOI: 10.1002/fes3.151.
- Djaman, K., Irmak, S., Rathje, W., Martin, R., Derrel, L., Eisenhauer, D.E. (2013). Maize evapotranspiration, yield production functions, biomass, grain yield, harvest index, and yield response factors under full and limited irrigation. *Biological Systems Engineering, Papers and Publications*, 407. 56(2), 373-393. DOI: 10.13031/2013.42676.
- Drouet, J.L., Kiniry, J.R. (2008). Does spatial arrangement of 3D plants affect light transmission and extinction coefficient within maize crops?. *Field Crops Research*, 107(1), 62–69. DOI: 10.1016/j.fcr.2007.12.015.
- Earl, H.J., Davis, R.F. (2003) Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agron. J.*, 95(3), 688–696. DOI: 10.2134/agronj2003.6880.
- Edwards, J.T., Purcell, L.C., Vories, E.D. (2005). Light interception and yield potential of short-season maize (*Zea mays* L.) hybrids in the Midsouth. *Agron. J.*, 97(1), 225-234. DOI: 10.2134/agronj2005.0225a.
- Gallagher, J. N., Biscoe, P.V. (1978). Radiation absorption, growth and yield of cereals. *J. Agric. Sci.*, 91(1), 47-60. DOI: 10.1017/S0021859600056616.
- Gallo, K.P., Craig, S.T., Daughtry, C.S.T., Weigand, C.L. (1993). Errors in measuring absorbed radiation and computing crop radiation use efficiency. *Agron. J.*, 85(6), 1222–1228. DOI: 10.2134/agronj1993.00021962008500060024x.
- Garcia-Rodriguez, A., Garcia-Rodriguez, S., Diez-Mediavilla, M., Tristan, C.A. (2020). Photosynthetic active radiation, Solar Irradiance and the CIE Standard Sky Classification. *Appl. Sci.*, 10(22), 8007. DOI: 10.3390/app10228007.
- Gou, F., Van Ittersum, M.K., Simon, E., Leffelaar, P.A., Van der Putten, Peter, E.L., Zhang, L., Van der Werf, W. (2017). Intercropping wheat and maize increases total radiation interception and wheat RUE but lowers maize RUE. *Eur. J. Agron.*, 84: 125-139. DOI: 10.1016/j.eja.2016.10.014.
- Greenup, A., Peacock, W.J., Dennis, E.S., Trevaskis, B. (2009). The molecular biology of seasonal flowering-responses in arabidopsis and the cereals. *Annals of Botany*, 103(8): 1165-72. DOI: 10.1093/aob/mcp063.
- Guiducci, M., Antognoni, A., Benincasa, P. (1992). Effect of water availability on leaf movement, light interception and light utilisation efficiency in several field crops. *Rivista di Agronomia*, 27: 392-397.
- Hao, B., Xue, Q., Marek, T.H., Jessup, K.E., Hou, X., Xu, W., Bynum, E.D., Bean, B.W. (2016). Radiation-use efficiency, biomass production, and grain yield in two maize hybrids differing in drought tolerance. *J. Agro Crop Sci.*, 202(4), 269–280. DOI: 10.1111/jac.12154.
- Hossain, M.M., Rumi, M.S., Nahar, B.S., Batan, M.A. (2014). Radiation use efficiency in different row orientation of maize (*Zea mays* L.). *J. Environ. Sci. & Natural Resources*, 7(1), 41-46. DOI: 10.3329/jesnr.v7i1.22142.
- Hunt, R. (1982). *Plant Growth Curves: The functional approach to plant growth analysis*. Edward Arnold Limited. 248 pp. London.
- Ion, V., Georgeta, D., Marin, D., Georgeta, T., Ioan, N., Alecu, A., Gheorghe, B., Daniel, S. (2015). Harvest index at maize in different growing conditions. *Romanian Biotechnological Letters*, 20(6), 15-20.
- Ismail, A.M.A. (1993). A critical analysis of harvest index. *Qatar Univ. Sci. J.*, 13(2), 253- 263.
- Kanton, R.A.L., Dennett, M.D. (2000). Radiation capture and use as affected by morphologically contrasting maize/pea in sole and intercropping. *West African Journal of Applied Ecology*, 13(1), 1-8. DOI: 10.4314/wajae.v13i1.40585.

- Karaşahin, M. (2021). *Sürdürülebilir ve Hassas Tanelik Mısır Üretimi*. Nobel Bilimsel Eserler, Ankara. [https://www.nobelyayin.com/surdurulebilir-ve-hassas-tanelik-misir-uretimi\\_16865.html](https://www.nobelyayin.com/surdurulebilir-ve-hassas-tanelik-misir-uretimi_16865.html)
- Khan, S., Khan, A., Jalal, F., Khan, M., Khan, H. (2017). Dry matter partitioning and harvest index of maize crop as influenced by integration of sheep manure and urea fertilizer. *Adv. Crop Sci. Tech.*, 6(4), 276. DOI: 10.19045/bspab.2017.600149.
- Kiniry, J.R., Jones, C.A., Blanchet, R., O' Toole, J.C., Cabelguenne, M., Spanel, D.A. (1989). Radiation use efficiency in biomass accumulation prior to grain filling in five grain crop species. *Field Crops Research*, 20(1), 51-64. DOI: 10.1016/0378-4290(89)90023-3.
- Kopsell, D.A., Sams, C.E., Morrow, R.C. (2015). Blue wave lengths from led lighting increase nutritionally important metabolites in specialty crops. *Hortscience*, 50(9), 1285-1288. DOI: 10.21273/HORTSCI.50.9.1285.
- Kukal, M.S., Irmak, S. (2020). Light interactions, use and efficiency in row crop canopies under optimal growth conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 284: 107-887. DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.107887.
- Kuşçu, H., Demir, A.O. (2012). Responses of maize to full and limited irrigation at different plant growth stages *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(2), 15-27.
- Lindquist, J.L., Arkebauer, T.J., Walters, D.T., Cassman, K.G., Dobermann, A. (2005). Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agron. J.* 97(1), 70-72. DOI: 10.2134/agronj2005.0072.
- Liu, X., Rahman, T., Yang, F., Song, C., Yong, T., Liu, J. (2017). PAR interception and utilization in different maize and soybean intercropping patterns. *PLoS ONE*, 12(1), 169218. DOI: 10.1371/journal.pone.0169218.
- Loomis, R.S., Amthor, J.S. (1999). Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. *Crop Sci.* 39(6), 1584-1596. DOI: 10.2135/cropsci1999.3961584x.
- Lucas, E. (1981). The growth of two maize varieties in farmers, plots located at two contiguous ecological zones in Nigeria. *J. Agric. Sci. Camb.*, 97(1), 125-134. DOI: 10.1017/S0021859600035942.
- Maddoni, G.A., Otegui, M.E., Cirilo, A.G. (2001). Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. *Field Crops Research*, 71(3), 183-193. DOI: 10.1016/S0378-4290(01)00158-7.
- Mahesh, N., Rani, P.L., Sreenivas, G., Madhavi, A. (2015). Resource use efficiency of kharif maize under varied plant densities and nitrogen levels in Telangana State, India. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 4(7), 632-639.
- Massa, G.D., Kim, H.H., Wheeler, R.M., Mitchell, C.A. (2008). Plant productivity in response to led lighting. *HortScience*, 43(7), 1951-1956. DOI: 10.21273/HORTSCI.43.7.1951.
- Massignam, A.M., Chapman, S.C., Hammer, G.L., Fukai, S. (2009). Physiological determinants of maize and sunflower grain yield as affected by nitrogen supply. *Field Crops Res.* 113(3), 256-267. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.06.001.
- Maxwell, K., Johnson, G.N. (2000). Chlorophyll fluorescence a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659-668. DOI: 10.1093/jexbot/51.345.659.
- Monteith, J.L. (1972). Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *J. Appl. Ecol.* 9(3), 747-766. DOI: 10.2307/2401901.
- Morales, F., Maria, A., Dorra, F., Gonzalez-Torralba, J., Angie, L. Gamez, A.S., David, S., Sinda, B.M., Miguel, G., Iker, A. (2020). Photosynthetic metabolism under stressful growth conditions as a bases for crop breeding and yield improvement. *Plants*, 9(1), 88. DOI: 10.3390/plants9010088.
- Muchow, R.C. (1994). Effect of nitrogen on yield determination in irrigated maize in tropical and subtropical environments. *Field Crops Res.* 38(1), 1-13. DOI: 10.1016/0378-4290(94)90027-2.
- Otegui, M.E., Nicolini, M.G., Ruiz, R.A., Dobbs, P.A. (1995). Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agron. J.*, 87(1), 29-33. DOI: 10.2134/agronj1995.00021962008700010006x.
- Özcan, M. (2020). *Ekoloji Ders Notu*. <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/muozcan/126205/Ekoloji%20Ders%20Notu-2020.pdf>.
- Potarzycki, J., Grzebisz, W. (2009). Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. *Plant Soil Environ.*, 55(12), 519-527.
- Puntel, L.A. (2012). *Field characterization of maize photosynthesis response to light and leaf area index under different nitrogen levels: a modeling approach*. Graduate Theses and Dissertations. 12673.
- Roth, J.A., Ciampitti, I.A., Vyn, T.J. (2013). Physiological evaluations of recent drought-tolerant maize hybrids at varying stress levels. *Agron. J.*, 105(4), 1129-1141. DOI: 10.2134/agronj2013.0066.
- Sharratt, B.S., McWilliams, D.A. (2005). Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn. *Agron. J.*, 97(4), 1129-1135. DOI: 10.2134/agronj2004.0292.
- Sinclair, T.R., Muchow, R.C. (1999). Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*, 65: 215-265. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60914-1.
- Singer, J.W., Meek, D.W., Sauer, T.J., Prueger, J.H., Hatfield, J.L. (2011). Variability of light interception and radiation in maize and soybeans. *Field Crops Res.*, 121(1), 147-152. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.12.007.
- Singh, D., Singh, S.M. (2006). Response of early maturing maize (*Zea mays*) hybrids to applied nutrients and plant densities under agro-climatic conditions of Udaipur in Rajasthan. *Indian J. Agron.*, 76(6): 372-374.
- Sönmez, E. (2019). *Tuz stresi altındaki mısır (Zea mays L.) bitkisinde potasyum uygulamalarının fizyolojik ve biyokimyasal etkisinin araştırılması*. (Yüksek lisans tezi). Sakarya Ü. Fen Bil. Enst., 133 s. Sakarya.
- Tokatlidis, I.S., Remountakis E. (2020). The impacts of interplant variation on above ground biomass, grain yield, and harvest index in maize. *International Journal of Plant Production*, 14: 57-65. DOI: 10.1007/s42106-019-00067-3.

- Tollenaar, M., Lee, E.A. (2011). Strategies for enhancing grain yield in maize. *Plant Breed. Rev.*, 34: 37-82.
- Torres, G.M. (2012). *Precision planting of maize (Zea mays L.)*. (Thesis of Doctor of Philosophy). Oklahoma State University, Oklahoma.
- Tsubo, M. (2000). *Radiation interception and use in a maize and bean intercropping system*. (Doctor of Philosophy). In the Faculty of Natural and Agricultural Sciences, Department of Agrometeorology at University of the Orange Free State, Bloemfontein.
- Tsubo, M., Walker, S. (2005). Relationships between photosynthetically active radiation and clearness index at Bloemfontein, South Africa. *Theor. Appl. Climatol.*, 80: 17–25.
- Vina, A., Gitelson, A.A. (2005). New developments in the remote estimation of the fraction of absorbed photosynthetically active radiation in crops. *Geophysical Research Letters*, 32(17), L17403. DOI: 10.1029/2005GL023647.
- Yalçın, G., Demircan, M., Ulupınar, Y., Bulut, E. (2005). *Klimatoloji-I*. Çevre ve Orman Bakanlığı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Yayın No: 2005/1.
- Zhao, J., Lin, X., Gretchen, F., Sassenrath, S.D., Shuo, L., Xiaochao, C., Fanjun, C., Guohua, M. (2011). Radiation interception and use efficiency contributes to higher yields of newer maize hybrids in Northeast China. *Agronomy Journal*, 107(4), 1473-1480. DOI: 10.2134/agronj14.0510.