

**HALOFİT VE KSEROFİT
BİTKİLERDEKİ KÖK ANATOMİK
ADAPTASYONLARI**

Su ve tuz stresi sonucu bitkilerin kök anatomisinde görülebilecek bazı adaptasyonları örneklerle açıklamaya çalışalım:

Örnek olarak Pakistan'ın tuzcul alanlarında doğal olarak yayılış gösteren ve tuza toleranslı bir tür olan ***Cynodon Dactylon* (L.) Pers.** populasyonu, kök anatomik modifikasyonları için değerlendirilebilir.

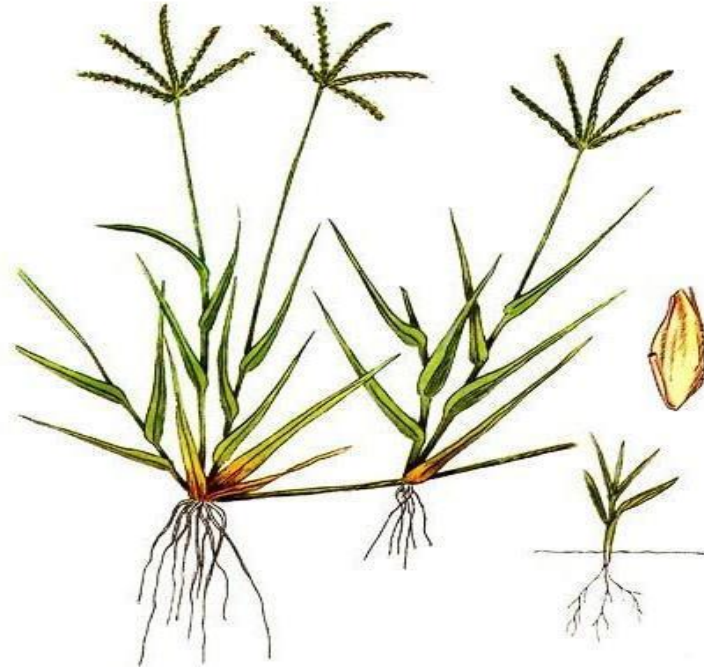


Bu amaçla tuzlu olmayan topraklardan toplanan örneklerin kök anatomik özellikleri, tuzlu alanlardan toplanan örneklerin kök anatomik özellikleri ile karşılaştırılmıştır.

Bitki bünyesindeki morfolojik ve anatomik modifikasyonlar, tuz stresinin zararlı etkilerini en aza indirebilir.

Tuza dayanıklı türler, sukkulentliğin artışı (hem kök hem de gövde), kalın bir kutikula tabakası ve mum depolama artışı, tuz salgılayan trikomlar ve bezler, kalın ve çok tabakalı epidermis, iyi gelişmiş bir kaspari bandı ve iyi gelişmiş bir kök endodermisi gibi özellikler belli başlı anatomik adaptasyonlardandır.

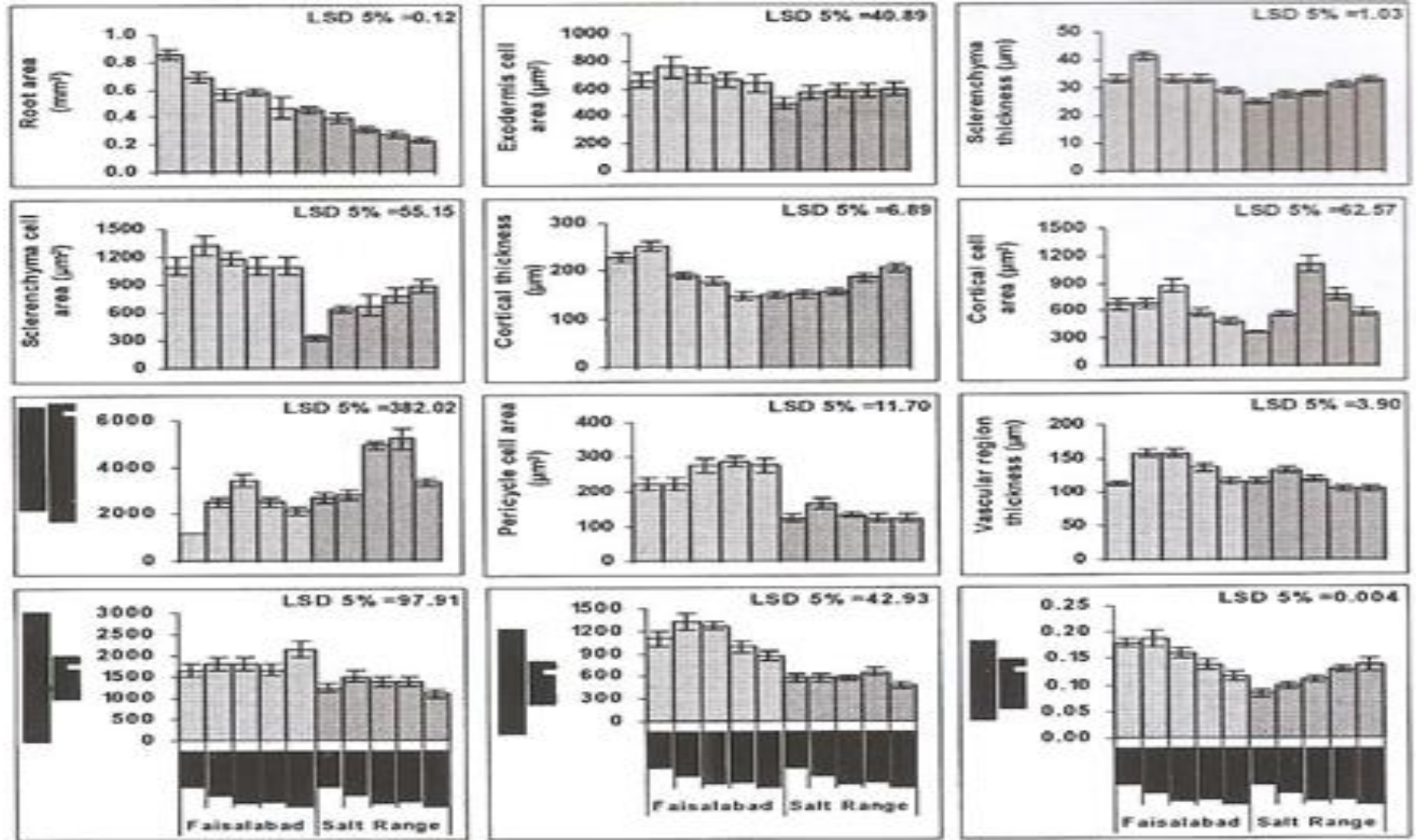
C. dactylon (L) Pers. tropikal ve sıcak ılıman alanlarda bol miktarda dağılış gösteren bir türdür ve türün doğal populasyonları, toprak sıcaklıklarına, tuzluluk ve kuraklığa tolerans açısından önemli genetik varyasyonlara sahip olabilir.



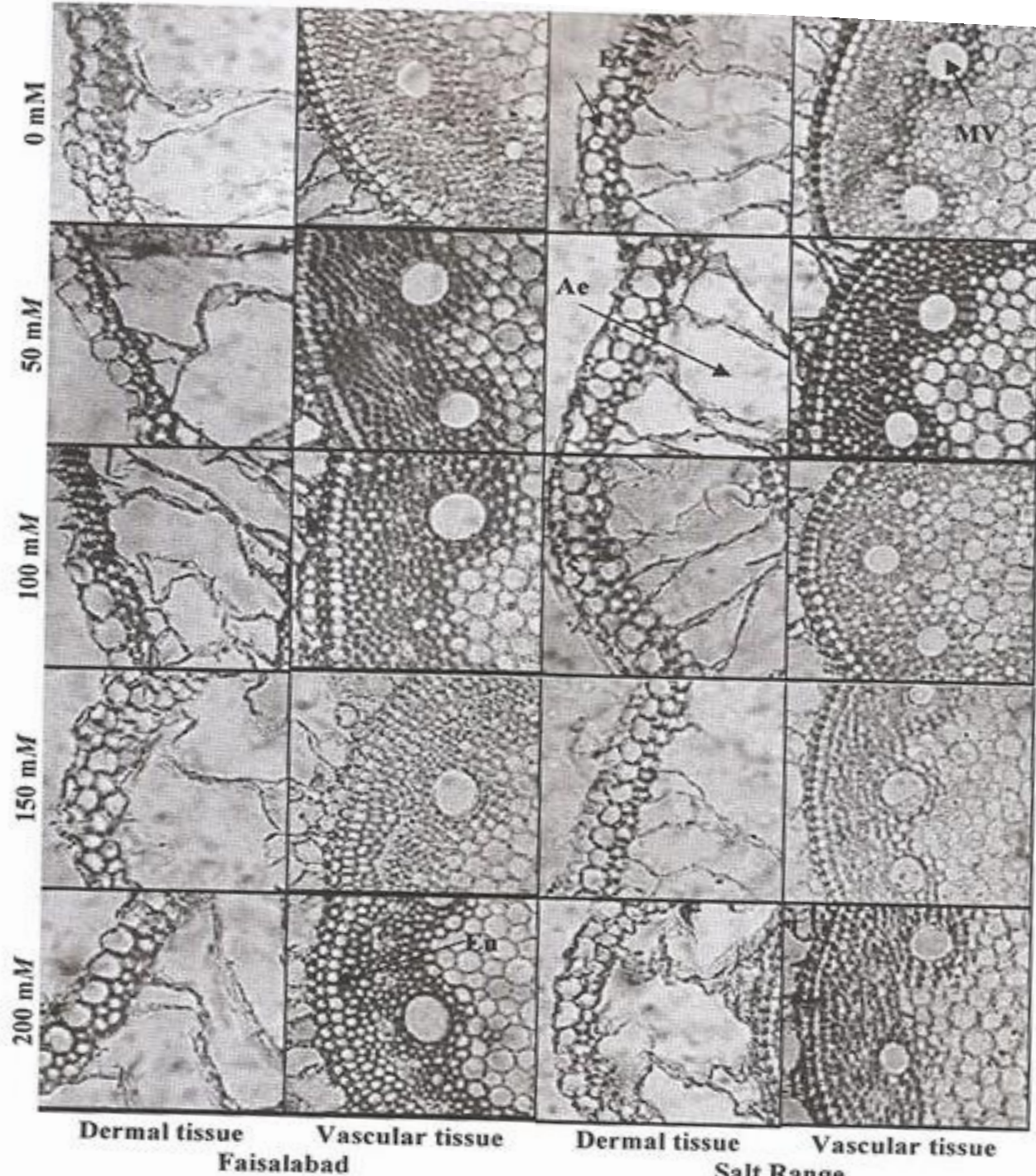
Fizyolojik adaptasyonlar, tuz stresi karşısında bitkilerin uyum gösterme mekanizmasında kritik olmasına rağmen, yüksek tuzluluk şartları altında anatomik modifikasyonlar da son derece önemlidir. Bu tür yapısal değişiklikler kesinlikle strese tolerans göstermede fizyolojik özellikler ile birlikte önemli bir rol oynar ve ayrıca yüksek tuzluluktan etkilenmiş toprakta tuza dayanıklı populasyonların hayatta kalmasında önemli bir rol üstlenebilir.

Yapılan bu araştırma, **kök alanının** tuz konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak azaldığını ortaya koymaktadır.

Tuzluluktaki artışla, **sklerenkima kalınlığının** ve **sklerenkima hücre alanının** ise arttığı tespit edilmiştir.



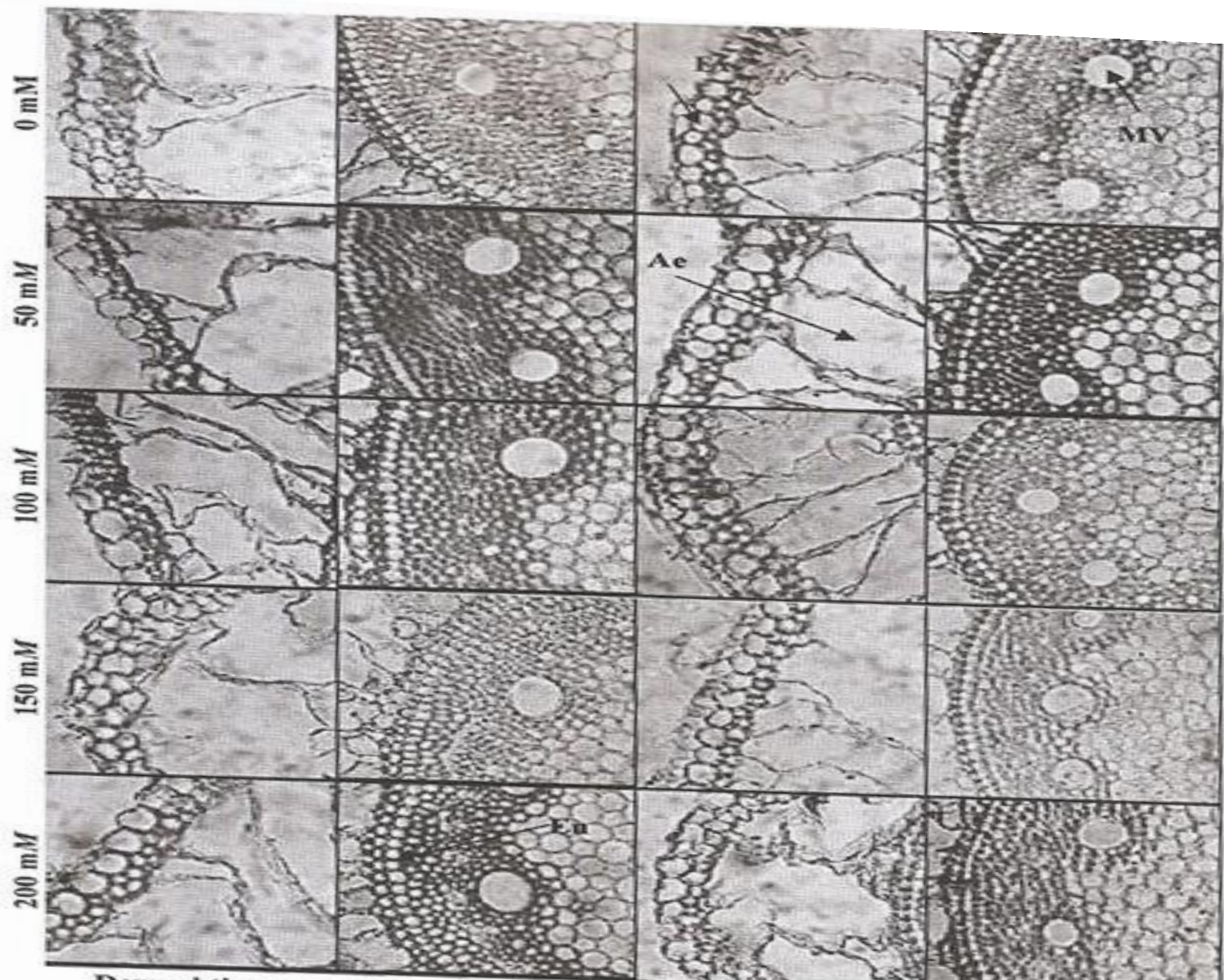
Şekil 1. Farklı tuz seviyeleri altında *Cynodon dactylon*'un kök anatomik özellikleri (ortalama ± standart hata; n=12).



Şekil 2. Farklı tuz seviyelerine tabi tutulan *C.dactylon* ekotiplerinde kök enine kesitleri
 Ae=aerenkima,
 En=endodermis,
 Ex=eksodermis,
 MV=metaksilem

Tuzluluğun artması *C. dactylon*'un korteks kalınlığında genellikle bir azalma ile sonuçlanmıştır. Korteks hücre alanı ise, 100 mM NaCl'ye kadar artış göstermiş ve tuz seviyelerindeki daha fazla artış ile azalma eğiliminde olmuştur.

Endodermis kalınlığı, her iki popülasyonda da orta tuz seviyesine kadar yükselmiş, ancak en yüksek tuz rejimi, bu karakterde belirgin bir düşüşe neden olmuştur.



Dermal tissue

Vascular tissue

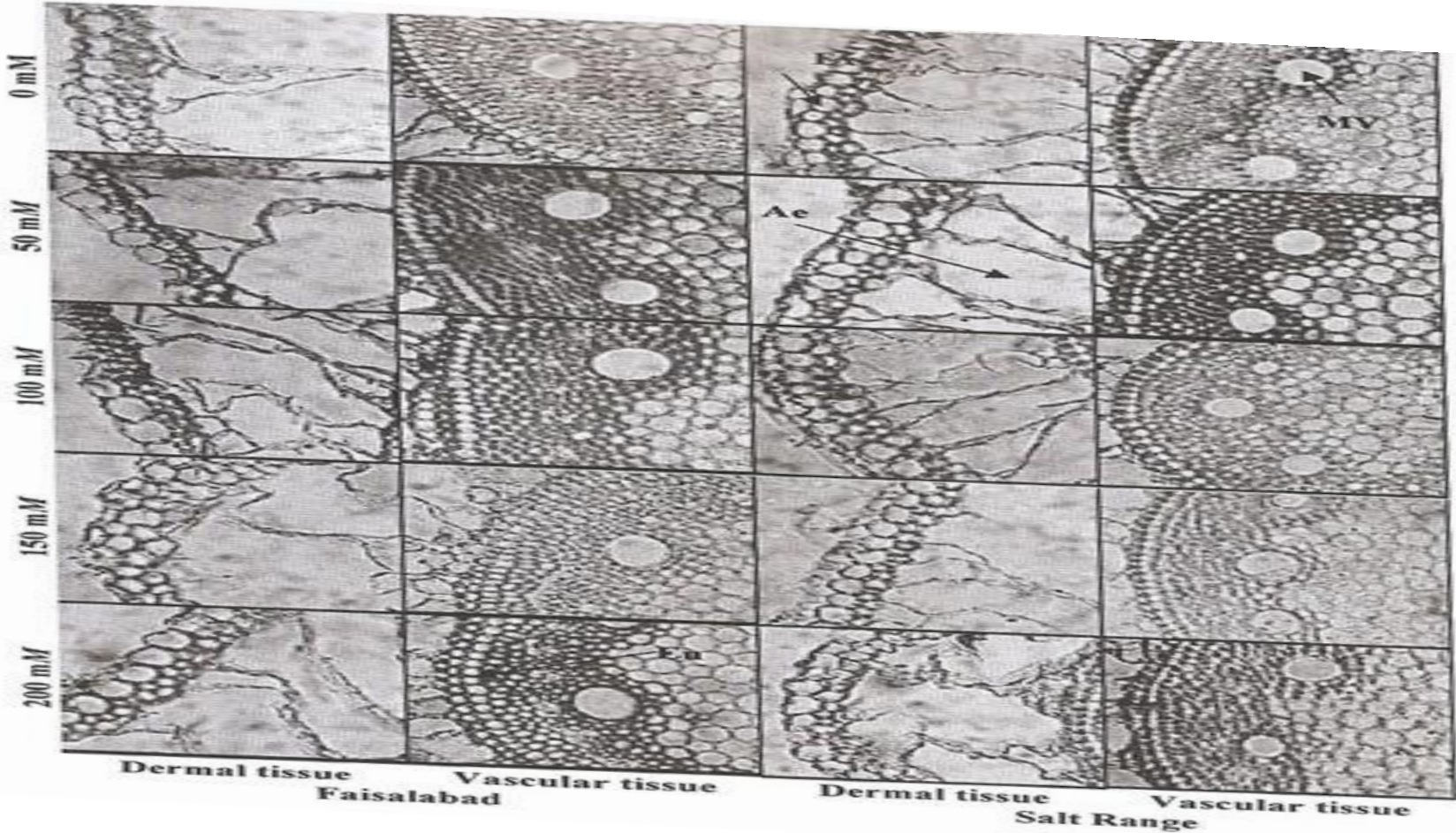
Dermal tissue

Vascular tissue

Epicalobed

Bu araştırmada, periskl hücre alanı en az etkilenen özelliklerden biridir. Tuzlu olmayan bölgede yayılış gösteren populasyonunda, daha yüksek tuz seviyeleri, yani 100 mM ve daha fazla tuz konsantrasyonları, ancak tuzlu alan populasyonunda, sadece 100 mM NaCl seviyesinde bir miktar artış gözlenmiştir.

Her iki populasyonda da, tuz seviyelerindeki artışa bağlı olarak vasküler bölge kalınlığında benzer bir yanıt görülmüştür (Şekil 1 ve 2). Düşük tuz seviyelerinde bile yani 50 ve 100 mM NaCl'de bu özellikte bir artış gözlenmiştir.



Değişken tuz seviyelerinde her iki popülasyondaki *C. dactylon*'un metaksilem trake alanında bir artış gözlemlenmiştir.

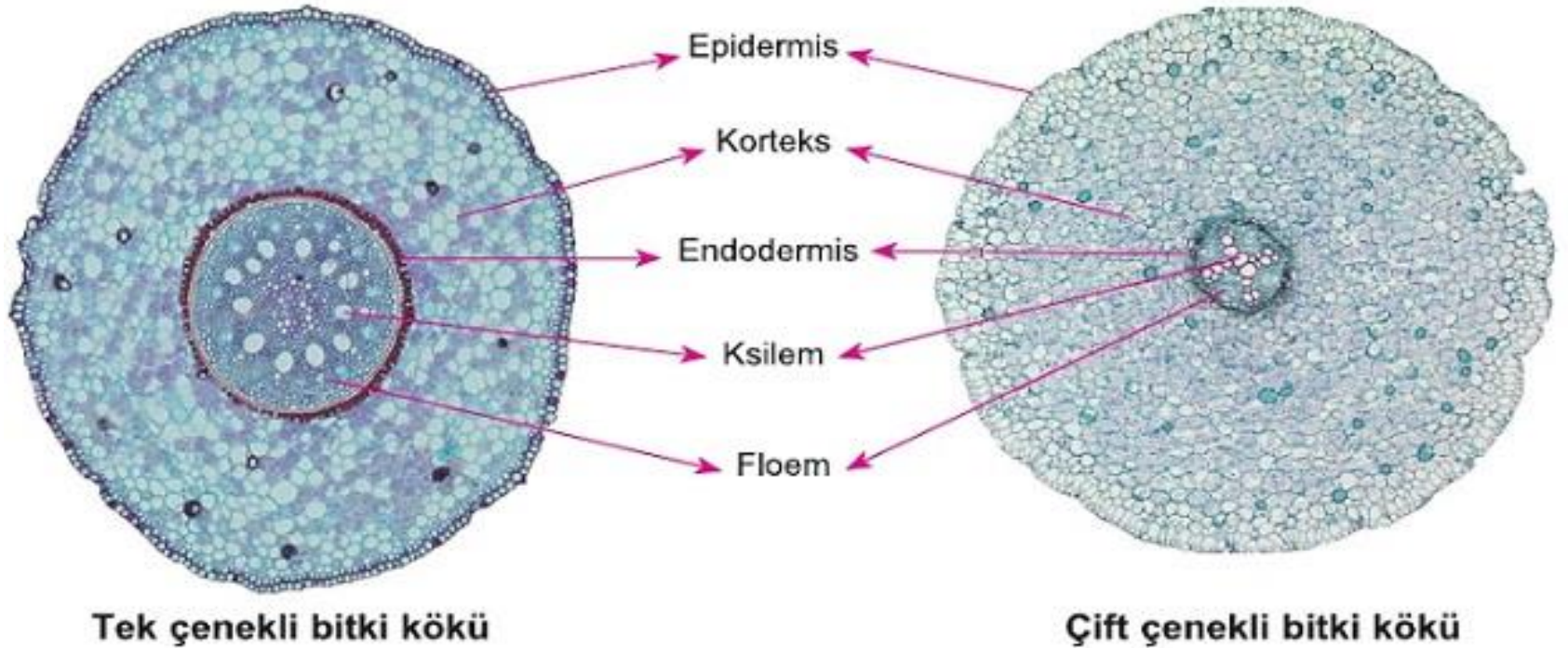
Floem alanının da artan tuzluğa bağı olarak *Cynodon dactylon* da azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 1 ve 2).



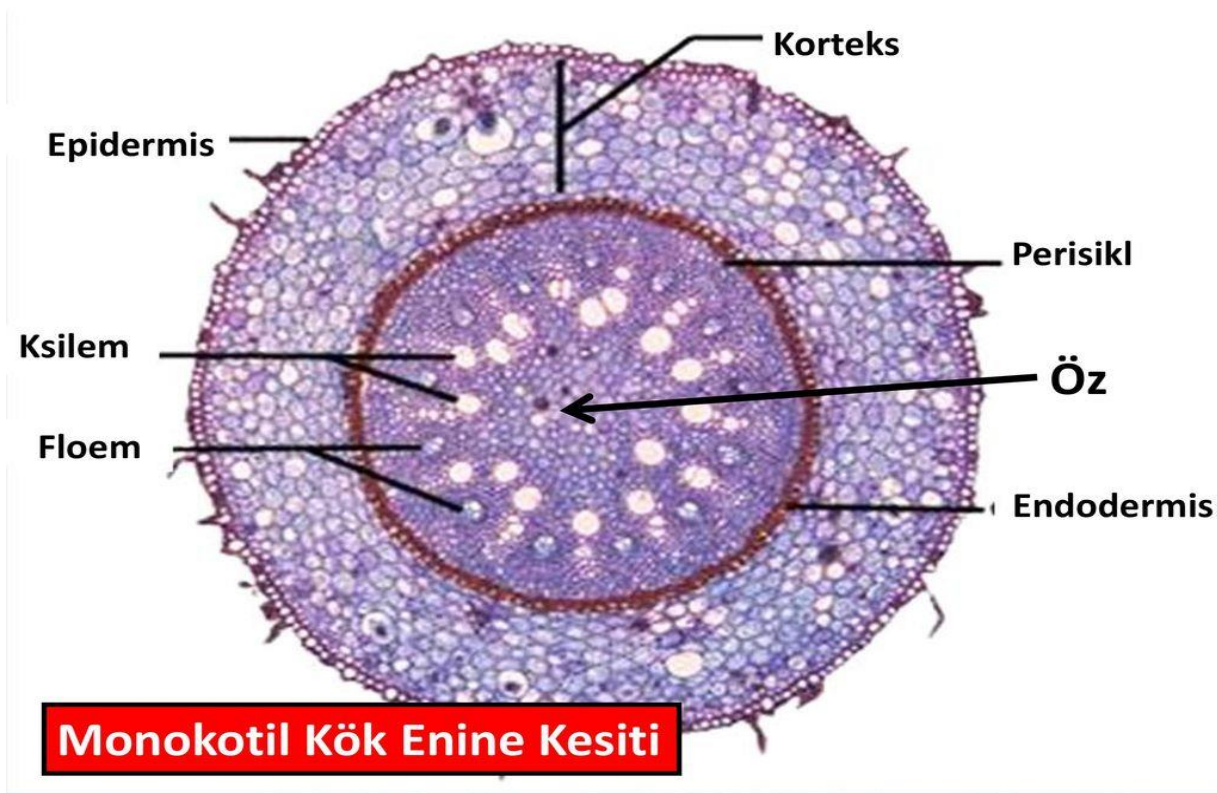
Tuz stresi uygulanmasına bağlı olarak genel olarak *C. dactylon*'daki öz bölgesi alanı artmıştır (şekil 1 ve 2).

- Tuzluluğun kök hipodermisi ve endodermisin mantarlaşmasını harekete geçirdiği bilinmektedir. Tuza toleranslı türler çoğunlukla endodermisin kalın iç teğetsel duvarları ve korteks parankimasına ait odunlaşmış duvarlarla karakterizedir . Bu veriler, tuza dayanıklı popülasyonda odunlaşmış sklerenkimanın belirgin olduğu bu çalışmanın sonuçları ile uyumludur.

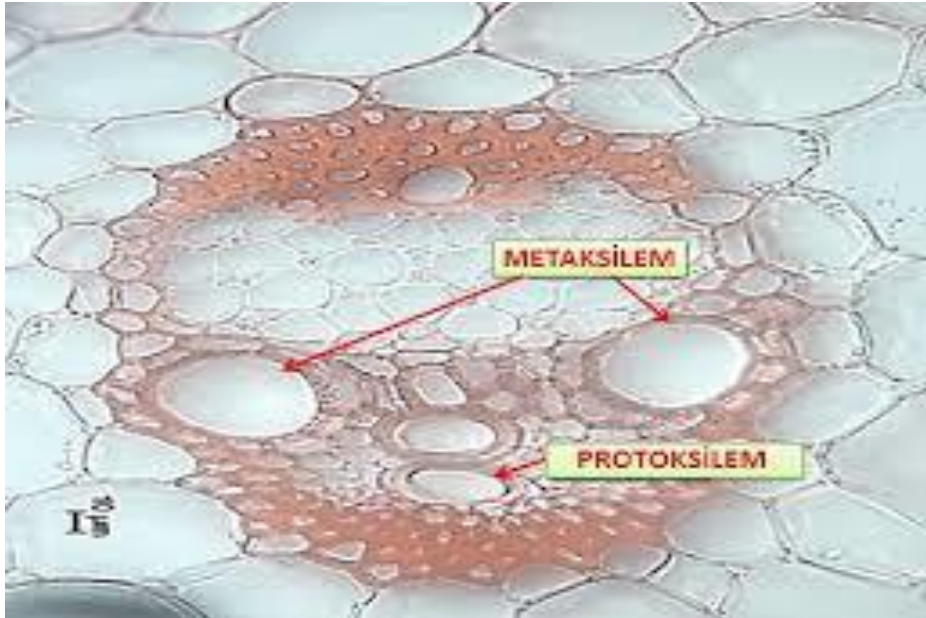
- Hem korteks hem de özdeki parankimatik hücreler, tuzlu alandan toplanan populasyonunda artmıştır.
- Bu dokuların, elverişsiz nem koşulları altında önemli olan depolama kapasitesini kesinlikle artırabileceği düşünülmektedir.



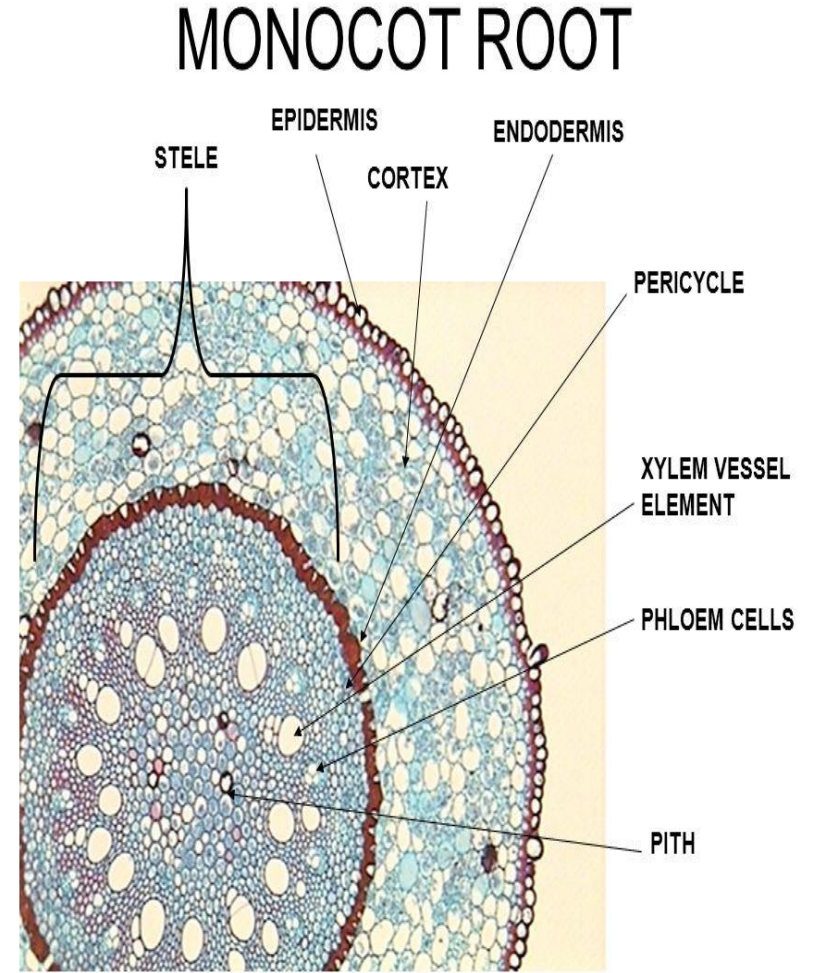
Buğdayda da tuzluluk altında korteks hücre alanı ve öz bölgelerinde bir artış olduğu bildirilmiştir. İyi gelişmiş bir parankima, tuzcul bitki gibi tuza dayanıklı türlerin karakteristik bir özelliğidir.



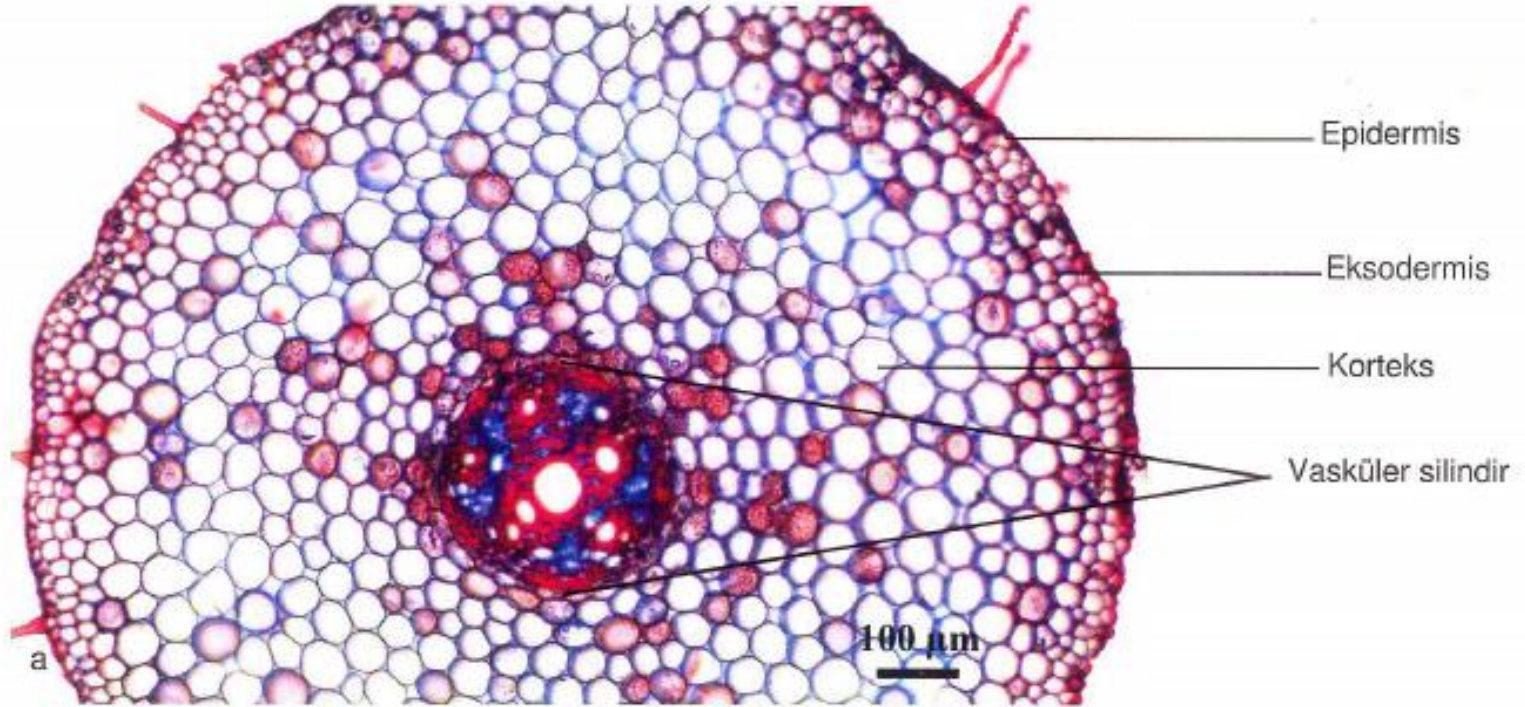
- Tuzlu alan populasyonundaki artmış metaksilem alanı ve floem alanının ise belki de, özellikle olumsuz tuz koşulları altında, su ve fotosentatların iletilmesinde önemli rol oynadığı ve tuz stresine karşı geliştirilmiş önemli kök adaptasyon mekanizmalarından biri olduğu düşünülmektedir.



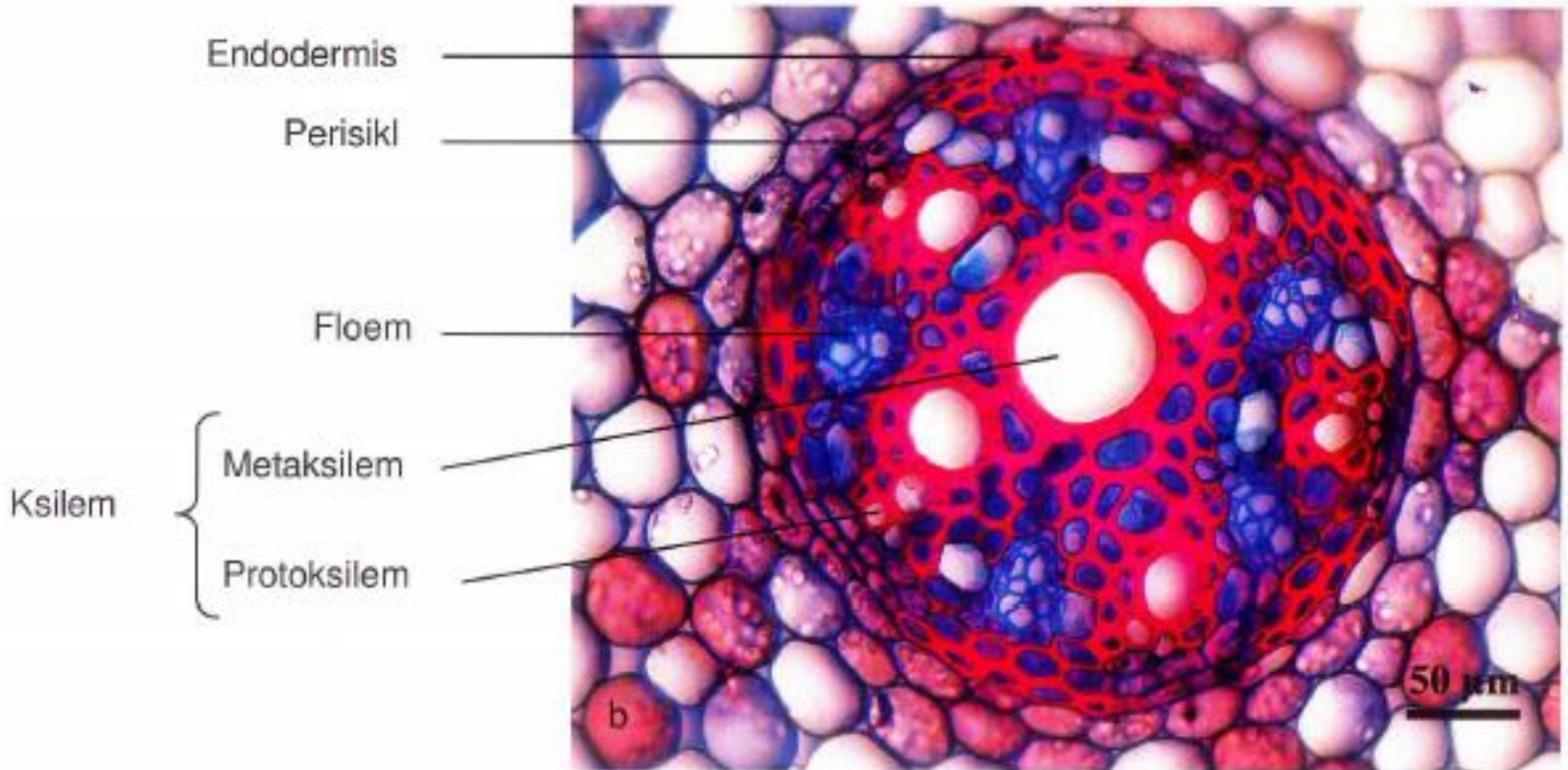
- Halofitik veya tuza dayanıklı türler genellikle kalın epidermise sahiptir ve bu, sınırlı nem mevcudiyeti sırasında su kaybına karşı etkili bir mekanizma olarak hizmet eder. Bu araştırmada da, epidermal hücre alanının artmış olması su kaybının önlenmesi açısından son derece önemlidir.



- Tuz stresi altında kökte artmış korteks hücre alanı, daha iyi bir depolama kapasitesi için fizyolojik kuraklık altındaki bitkiler için kritik bir öneme sahip olabilir.



- Artan tuz stresine bağlı olarak, vaskular bölge alanındaki artışın da etkili su alımı için daha iyi bir adaptasyon mekanizması olabileceği düşünülmektedir.



- Sonuç olarak, görüldüğü gibi tuz alanından toplanan tuza dayanıklı ekotip, tuzlu ortamlarda daha iyi hayatta kalabilmek için çok özel kök anatomik adaptasyonları geliştirmiştir.

- Kök yüzeyinde su kaybını önlemek için artan ekzodermis ve sklerenkima, su ve diğer besinlerin akışını önlemek için kalınlaşmış bir endodermis, daha iyi su depolamayı sağlamak için artan bir korteks bölgesi ve öz parankimasındaki artış en önemli adaptasyonel özelliklerdir.

Halofit bitkilerdeki kök anatomisinde görülen adaptasyon mekanizmalarını açıklayabileceğimiz diğer örnekler, Zygophyllaceae familyasına ait *Zygophyllum album* ve *Nitraria retusa* da görülen değişikliklerdir.



Nitraria retusa



Zygopyllum album

Kıyı bölgelerde yaşayan bitkiler, bu koşullar altında sadece normal yaşam fonksiyonlarını sağlamak için değil, aynı zamanda strese adaptasyon için çeşitli mekanizmalar ve bazı özellikler geliştirmiştir. Bu mekanizma ve özellikler, olumsuz koşullar altında gelişmelerine yardımcı olur ve genellikle bitkilerdeki morfoanatomik değişiklikleri kapsar.

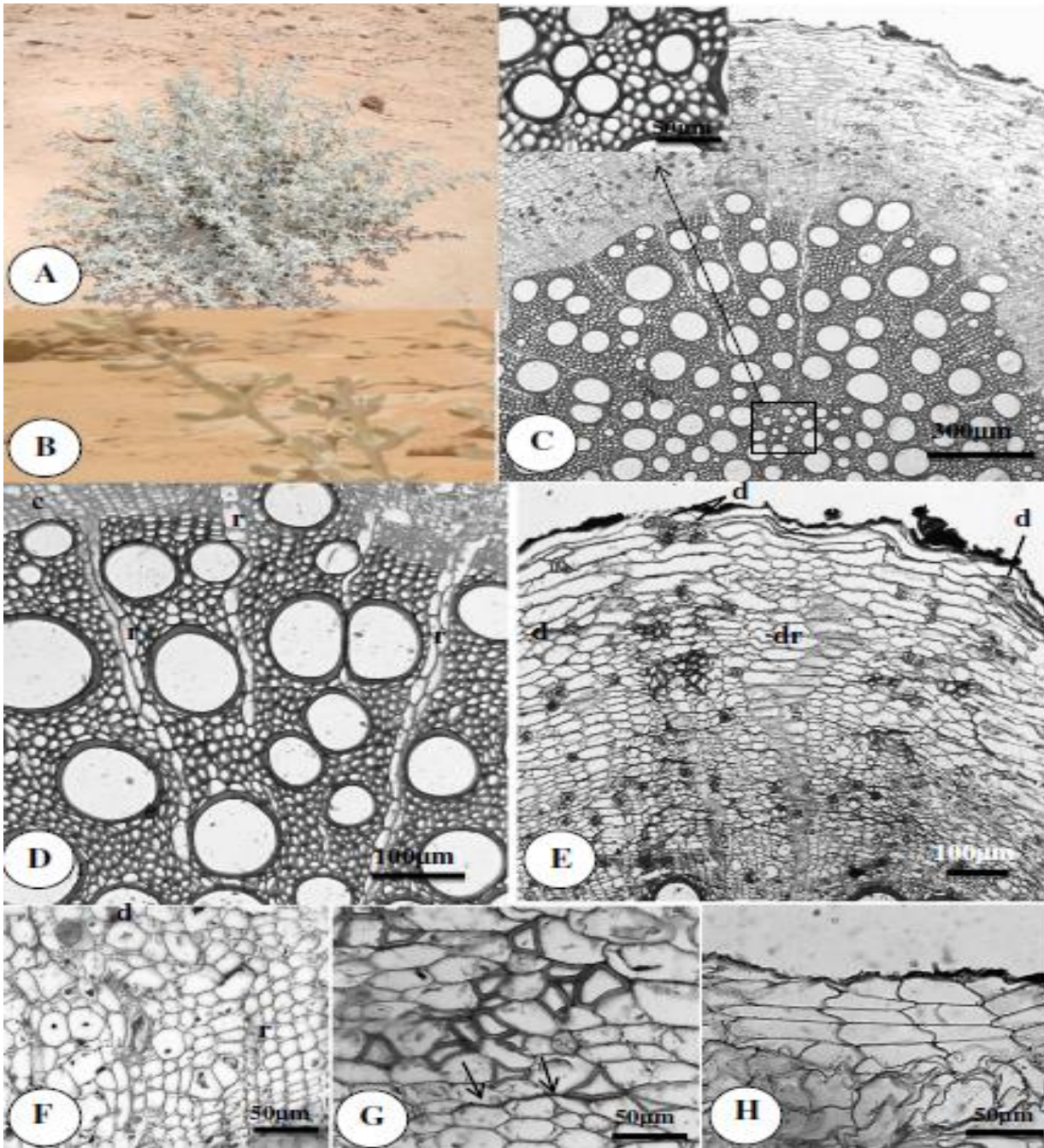
- *Z. album* (Zygophyllaceae), dallanmış gövdeli, karşılıklı dizilmiş bifoliolat sukkulent yapraklı, çok yıllık bitkidir ve tıbbi olarak kullanılmaktadır.



- *Z. album* 'un yaşlı kökü üç bölgeden oluşur: periderm, perisikl ve vasküler dokular (Şekil 1C).
- Primer ksilem kökün merkezinde bulunur, öz gelişmez. (Şekil 1C). Sekonder ksilem, tek başına ya da nadiren çiftler halinde yayılış gösteren çok sayıda trakelerden oluşur. Çoğu trakenin çapı 130 ila 250 μm arasında değişir. Ayrıca, çapları 27 ila 91 μm arasında olanları da vardır. Trakeler ligninleşmiş hücrelerden oluşmaktadır. Sekonder ksilem (Şekil 1C ve D) ve sekonder floeme (Şekil 1C) katılan tek ya da çift tabakalı ışınlar da gözlenmektedir.

- Floem, ince çeperli parankimaya gömülmüş arkadaş hücreleri ile kalburlu borulardan oluşmaktadır(Şekil 1F). Floemde fonksiyonel ya da fonksiyonel olmayan birkaç tane druz gözlenmiştir (Şekil 1F ve G). Etkin olmayan floemde, birkaç tane ligninleşmiş hücre gözlenmektedir, bunlar ya tek tek bulunurlar ya da 2-8 hücreden oluşan gruplar şeklinde bulunmaktadırlar (Şekil 1F ve G).

Vasküler kambiyum ve türevleri sekonder floem ve sekonder ksilem arasında meydana gelmiştir (Şekil 1E). Perisikl türevlerinin en dış tabakası mantar kambiyumu tarafından oluşturulan peridermi oluşturur (Şekil 1E ve H). Periderm dışa doğru 7-9 tabakalı, süberinleşmiş duvarlı fellemler ve içe doğru bir hücre tabakasından oluşan fellodermadan oluşur (Şekil 1H).



Şekil 1 A, B. *Zygophyllum album* bitkisinin genel morfolojisi C. Yaşlı bir kökten alınan enine kesit, D. Sekonder ksilemin yapısı. E. Kökün dış kısmı. Koyu lekeler druzları göstermektedir F. Fonksiyonel floem. G. Lifler ve kalbur hücreleri (oklar). H. Periderm tabakaları. d, druz dr, ışın.

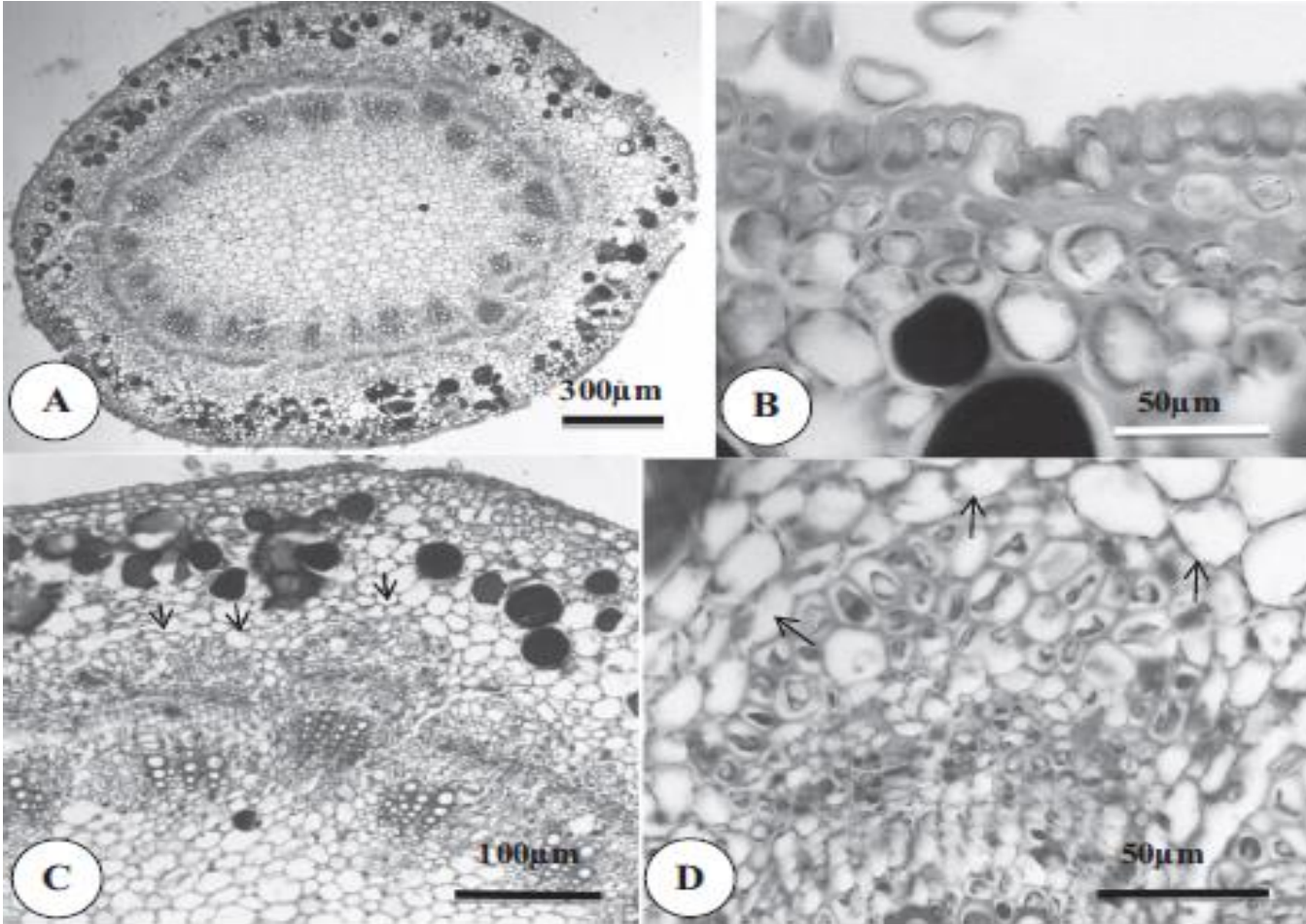
N. retusa ise , çok dallı 1-2 m. boyunda dikenli bir çalıdır ve yapraklar apekte basit, alternatif, etli ve çentikli dişlidir, stipuller ise küçüktür.

Nitraria türleri, kumluk alanlarda yayılış gösterir ve hayvanların otlamasında ve kirletilmiş toprakların tekrar kazanılmasında indikatör bir bitkidir. Aynı zamanda yakıt olarak kullanılır ve meyveleri, kuşlar ve yöre sakinleri tarafından tüketilir. Tıbbi bir bitki olarak da kullanılmaktadır.



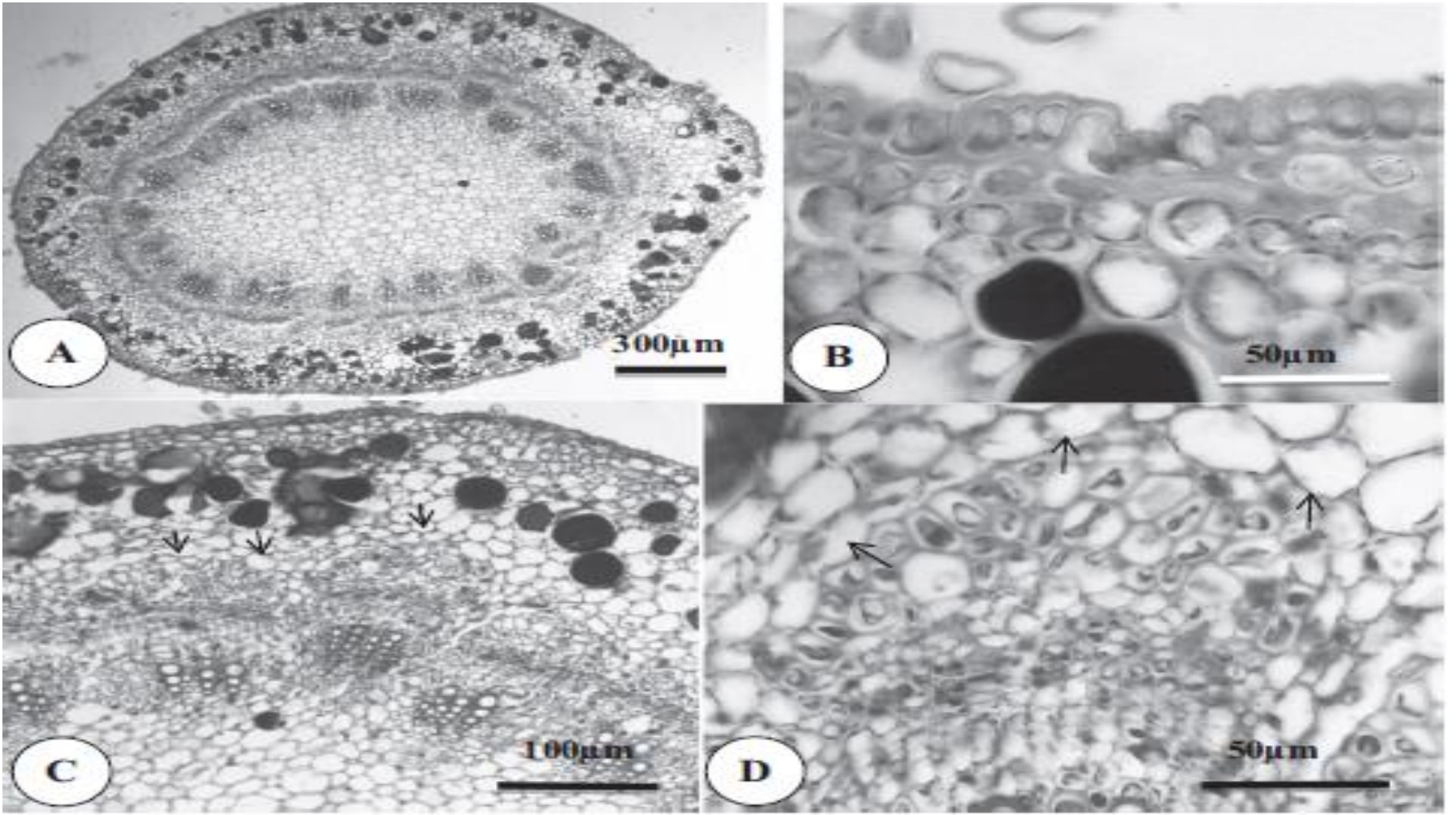
Nitraria retusa

- *N. retusa*'nın yaşı kökleri de, üç bölgeden oluşur:
- periderm, perisiklik ve vasküler dokular (Şekil 2C).
- Primer ksilem kökün merkezinde oluşur (Şekil 2D).



Şekil 2 A. *N. retusa*'nın genç kökünden alınan enine kesit, B. Kalın kütikül tabakası ve epidermal hücreler. C. Korteks ve iletim demetlerinin yapısı. D. Floemin yapısı. C, D'deki nişasta tabakasına dikkat edin (oklar).

Sekonder ksilem, tek başına ya da nadiren çiftler halinde yayılış gösteren çok sayıda trakeden oluşur (Şekil 2C ve E). Çoğu trakenin çapı 30 ila 91 μm arasında değişir. Ayrıca çapları 9.5 - 22 μm olanları da vardır. Trakeler ligninleşmiş hücrelere gömülüdür. Sekonder ksilem ve sekonder floeme katılan tek, çift veya üç tabakalı ışınlar gözlenmiştir (Şekil 2E). Floem, ince çeperli parankimaya gömülmüş arkadaş hücreleri ile kalburlu borulardan oluşur.



Şekil 2 A. *N. retusa*'nın genç kökünden alınan enine kesit, yapısını ortaya çıkarmaktadır. B. Kalın kütikül tabaka ve gömülü stoma ile epidermal hücreler. C. Korteks ve iletim demetlerinin yapısı. D. Floemin yapısı.

- Yapılan araştırma, *Zygophyllum* ve *Nitraria*'nın yaşlı köklerinin sekonder ksilemine ligninleşmiş hücrelerin gömüldüğünü göstermektedir.
- Bu olay, embolizmden su iletim kanallarının korunmasına yardımcı olan bir mekanizmadır. Lignin hücre duvarlarına dirençlik kazandırmaktadır. Bu direnç, halofitlerin yüksek ozmotik basınc ile mücadele etmesinde önemli bir olay olabilir.
- Bu olay kökün, bitki ve aşırı tuzlu ortam arasında mücadele etmesini sağlayan en önemli olaylardan biridir.

- Ayrıca, yaşlı kökün büyük bir kısmında ligninleşmiş hücrelerin görülmesi bu organların sertliği için önemli olabilir. Ayrıca diğer bitkilerle yapılan çalışmalar da, trakelerin çevresinde liflerin varlığının kavitasyon direncine katkıda bulunduğunu kanıtlamaktadır.

Diğer taraftan kökün en dış tabakasında bulunan fellem, su emilimini geciktirebilir. Böylece, tuzlar köke güçlükle ulaşırlar fakat ulaştıkları zaman bile katedebilecekleri çok fazla alan vardır.

Böylece bitkinin geri kalan kısma su ulaşması gecikmiş olur. Kök yüzeyinde bu genişleme, tuzun git gide seyrelmesine ve bitkiye daha az zarar vermesine yol açar.

- Genel olarak, birçok kserofit kalın kütikül tabakasına ve kalın dış periklinal epidermal hücre duvarlarına sahiptir. Kalın kütikül tabakasının varlığı, *Zygophyllum* ve *Nitraria*'nın gövdelerinin ve yapraklarının epidermisini de kaplar ve bu bitkilerin kısıtlı nem koşullarına daha iyi adaptasyonu sağlanır.

Üstelik epidermisten kaynaklanan yüksek trikom yoğunluğunun eşlik ettiği gömülü stomalar, stresli bir habitatta su kaybını en aza indirmek için önemli adaptasyon mekanizmalarındandır .

- Bu araştırmalar, *Nitraria*'da kökün floem parankimasında biriken pek çok nişasta granülünün bulunduğunu göstermiştir.
- Bu nişaşta tanelerinin de, tuza toleranslı bitkilerde ozmotik ayarlama da önemli bir rol oynayabileceği düşünülmektedir.

Bu sonuçlar, ayrıca vasküler silindirin etrafında bulunan mekanik doku ve sklerenkimanın, bitkiyi kuraklığa karşı koruduğunu ortaya koyan diğer bulguları da desteklemektedir.

- Sonuçlar, *Z. album*'un kökündeki druzların (kalsiyum oksalat kristalleri) sayısının da arttığını göstermiştir.
- Kalsiyum iyonlarının da farklı şekillerde artan tuz toleransı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu özellik, kserofitik adaptasyonun tipik bir özelliğidir.