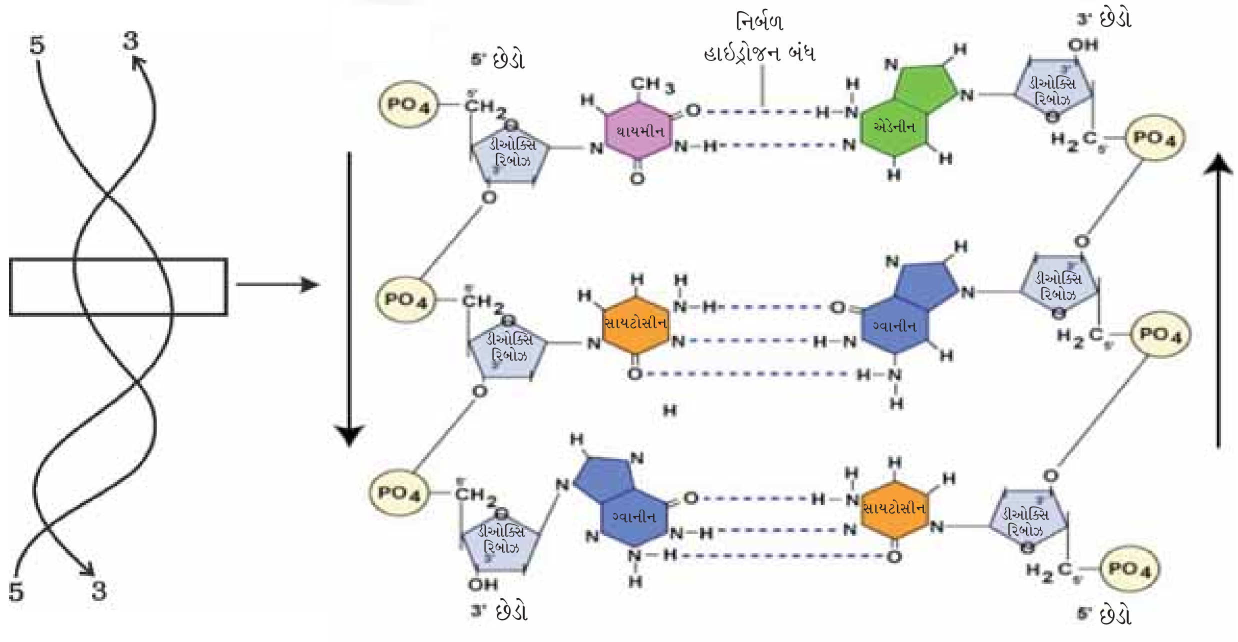
**ચતુર્થક સંરચના** કહે છે. પુખ્ત મનુષ્યમાં હિમોગ્લોબીન ચાર પેટા ખંડોનો બનેલ હોય છે. તેમાંથી બે એકબીજાને સમાન હોય છે. આથી બે પેટા એકમ $\alpha$ અને બે પેટા એકમ $\beta$ પ્રકારના હોય છે. જે એકબીજા સાથે જોડાઈને મનુષ્યનું હિમોગ્લોબીન (Hb) બનાવે છે.

## 9.8 પોલિમરમાં મોનોમરને જોડતા બંધોનાં પ્રકાર (Nature of bond linking monomers in a polymer)

કોઈ પણ પોલિપેપ્ટાઇડ કે પ્રોટીનમાં એમિનો ઍસિડ્સ **પેપ્ટાઇડ બંધ** વડે જોડાયેલા હોય છે જે એક એમિનો ઍસિડના કાર્બોક્સિલ (–COOH) સમૂહ અને તેના પછીના બીજા એમિનો ઍસિડના એમિનો ($-NH_2$) સમૂહ વચ્ચે પાણીના અણુના નીકળવાથી જોડાય છે. (આ પ્રક્રિયાને નિર્જલીકરણ કહે છે). એક પોલિસેકેરાઇડમાં મોનોસેકેરાઇડ્સ **ગ્લાયકોસિડિક બંધ**થી જોડાયેલા હોય છે. આ બંધ પણ નિર્જલીકરણ ક્રિયા વડે રચાય છે. આ બંધ પાસ પાસેના બે મોનોસેકેરાઇડ્સના કાર્બન પરમાણુઓ વચ્ચે રચાય છે. ન્યુક્લિઇક ઍસિડમાં એક ન્યુક્લિઓટાઇડના એક શર્કરાના 3'-કાર્બન અને તેના પછીની ન્યુક્લિઓટાઇડના શર્કરાના 5'-કાર્બનના ફૉસ્ફેટ સમૂહ વચ્ચે રચાય છે. ફૉસ્ફેટ તેમજ શર્કરાના હાઇડ્રોક્સિલ સમૂહની વચ્ચેનો આ બંધ એસ્ટર બંધ હોય છે. એસ્ટર બંધ બન્ને બાજુ રચાતો હોવાથી તેને ફૉસ્ફોડાયએસ્ટર બંધ કહે છે. (આકૃતિ 9.5).

ન્યુક્લિઇક ઍસિડ જુદા જુદા પ્રકારની દ્વિતીયક સંરચના વડે પ્રદર્શિત થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે વોટ્સન ક્રિકનું પ્રખ્યાત મૉડલ DNAની દ્વિતીયક સંરચનાને પ્રદર્શિત કરે છે. આ મૉડલથી સ્પષ્ટ થાય છે કે DNA એક બેવડી કુંતલમય રચના સ્વરૂપ જોવા મળે છે. પોલિન્યુક્લિઓટાઇડની બંને શૃંખલાઓ એકબીજાને પ્રતિસમાંતર હોય છે. એટલે કે એકબીજાની વિરુદ્ધ દિશાઓમાં હોય છે. તેની મુખ્ય ધરી શર્કરા-ફૉસ્ફેટ-શર્કરા શૃંખલાથી બનેલ હોય છે. નાઇટ્રોજન બેઇઝ ઓછેવત્તા અંશે મુખ્ય ભાગને લંબ અક્ષે પણ અંદરની




**આકૃતિ 9.5 :** DNAનું દ્વિતિય બંધારણ પ્રદર્શિત કરતું ચિત્ર

તરફ એક શૃંખલાના A અને G બેઇઝ બીજી શૃંખલાના T અને C બેઇઝ સાથે પૂરક જોડીઓ બનાવે છે. A અને T વચ્ચે બે હાઇડ્રોજન બંધ જ્યારે G અને C વચ્ચે ત્રણ હાઇડ્રોજન બંધ રચાયેલા હોય છે. પ્રત્યેક શૃંખલા એક કુંતલીય નિસરણી જેવી દેખાય છે. કુંતલના પ્રત્યેક પગથિયાં બેઇઝ જોડીના બનેલા હોય છે. કુંતલના પ્રત્યેક પગથિયાં બીજા પગથિયાંથી $36^{0}$ના ખૂણા પર વળેલા હોય છે. કુંતલ શૃંખલાના એક પૂર્ણ કુંતલમાં દસ પગથિયાં એટલે કે દસ નાઇટ્રોજન બેઇઝ જોડ આવેલ છે. આ રીતે તમે DNAનું રેખાચિત્ર બનાવવાનો પ્રયત્ન કરી શકો છો એક પૂર્ણ કુંતલની લંબાઈ 34 $A^{\circ}$ હોય છે, જ્યારે બે પાસ-પાસેના બેઇઝ જોડીની વચ્ચેનું અંતર 3.4 $A^{\circ}$ હોય છે. ઉપરોક્ત વર્ણવેલ વિશિષ્ટ DNAને B-DNA કહેવાય છે. ઉપલા ધોરણમાં તમને બતાવવામાં આવશે કે એક ડઝનથી પણ વધારે DNAના સ્વરૂપો હોય છે, જેનું નામકરણ સંરચનાત્મક વિશેષતાના આધારે અંગ્રેજી આલ્ફાબેટ અક્ષરો આધારે કરવામાં આવેલ છે.

## 9.9 શરીર ઘટકોની ગતિક અવસ્થા ચયાપચયની સંકલ્પના (Dynamic state of body constituents – concept of metabolism)

આપણે અત્યાર સુધી જે અભ્યાસ કર્યો છે તેના અનુસંધાનમાં સજીવ પછી તે સાધારણ બૅક્ટેરિયલ કોષ હોય, પ્રજીવ, વનસ્પતિ કે પ્રાણી હોય આ બધા હજારો કાર્બનિક રસાયણોથી બનેલા હોય છે. આ રસાયણો કે જૈવઅણુઓ એક નિશ્ચિત સાંદ્રતામાં જોવા મળે છે. (તેને મોલ્સ/કોષ અથવા મોલ્સ/લિટર સ્વરૂપે રજૂ થાય છે). સંશોધન દ્વારા એક મુખ્ય જાણકારી પ્રાપ્ત થઈ તે અનુસાર જૈવઅણુઓમાં **અદલા-બદલી** થતી રહે છે. એનો અર્થ એ થાય છે કે તે સતત બીજા નવા જૈવઅણુઓમાં પરિવર્તિત થતા રહે છે અને બીજા જૈવઅણુઓના જોડાવાથી બનતા રહે છે. સજીવોમાં આ નિર્માણ અને વિખંડન રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ દ્વારા સતત થયા કરે છે. આ બધી જ રાસાયણિક ક્રિયાઓને **ચયાપચય** કહે છે. બધી ચયાપચયિક પ્રક્રિયાઓ દ્વારા જૈવઅણુઓનું રૂપાંતરણ થતું રહે છે. કેટલાક ચયાપચયિક રૂપાંતરણના ઉદાહરણ જેમ કે એમિનો ઍસિડમાંથી $CO_2$ના દૂર થયા બાદ એમિનો ઍસિડનું એમાઇનમાં રૂપાંતર થવું; ન્યુક્લિઓટાઇડના બંધારણીય ઘટકોમાંથી એમિનો સમૂહનું દૂર થવું, ડાયસેકેરાઇડ્સમાંથી ગ્લાયકોસિડિક બંધનું હાઇડ્રોલિસીસ થવું વગેરે. આ પ્રકારે હજારો ઉદાહરણનું લિસ્ટ બનાવી શકાય. મુખ્યત્વે આ ચયાપચયિક પ્રક્રિયાઓ એકલી થતી નથી પરંતુ હંમેશાં અન્ય બીજી પ્રક્રિયાઓથી તે જોડાયેલ હોય છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો ચયાપચયકોનું એકબીજામાં પરિવર્તન એકબીજા સાથે જોડાયેલ પ્રક્રિયાઓની શૃંખલાઓ દ્વારા થાય છે. જેને ચયાપચય પથ કહે છે. આ ચયાપચય પથ શહેરના વાહનવ્યવહારના ટ્રાફિક વ્યવસ્થા જેવો હોય છે. આ પથ કાં તો રેખીય અથવા વર્તુળાકાર હોય છે. આ પથ એકબીજાથી આડા-અવળા વાહનવ્યવહારના સંગમ જેવો દેખાય છે. ચયાપચયકો વાહનવ્યવહારના ટ્રાફિક જેવા એક નિશ્ચિત વેગે અને દિશામાં ચયાપચય પથ પર ગતિ કરે છે. આ ચયાપચયકોનાં વહનને શરીર ઘટકોની ગતિક અવસ્થા કહે છે. સૌથી મહત્ત્વનું એ છે કે એકબીજાથી જોડાયેલ આ ચયાપચયિક ટ્રાફિક અત્યંત સરળ ગતિ દ્વારા કોઈ પણ દુર્ઘટના વગર સ્વસ્થ અવસ્થા બનાવી રાખવા માટે હોય છે. આ ચયાપચયિક પ્રક્રિયાઓની બીજી વિશિષ્ટતા એ છે કે તેઓની પ્રત્યેક રાસાયણિક ક્રિયા **ઉત્પ્રેરિત પ્રક્રિયાઓ** છે. જીવનતંત્રમાં કોઈ પણ ચયાપચયિક રૂપાંતરણ ઉત્પ્રેરક વગર પૂર્ણ થતું નથી. $CO_2$નું પાણીમાં ઓગળવું એ એક ભૌતિક પ્રક્રિયા છે. ઉત્પ્રેરક કે જે કોઈ પણ ચયાપચયિક રૂપાંતરણની ગતિ વધારે છે તે પણ એક પ્રોટીન હોય છે. એવા પ્રોટીન કે જેમાં ઉત્પ્રેરણ(ઉદ્દીપન)ની ક્ષમતા હોય છે તેને **ઉત્સેચક** કહેવાય છે.

## 9.10 જીવનનો ચયાપચયિક આધાર (Metabolic basis for living)

ચયાપચય પથ દ્વારા સામાન્ય ઘટકોમાંથી જટિલ ઘટકો (જેવા કે ઍસિટિક ઍસિડમાંથી કોલેસ્ટેરોલનું બનવું). તેમજ જટિલ પદાર્થોમાંથી સરળ પદાર્થો(જેવા કે કંકાલ સ્નાયુમાં ગ્લુકોઝમાંથી લેક્ટિક ઍસિડ)નું નિર્માણ થતું રહે છે. પ્રથમ પ્રકારની પ્રક્રિયાને જૈવ સંશ્લેષણ પથ કે **ચય પથ** કહે છે. બીજી પ્રક્રિયામાં વિખંડન થતુ હોવાથી તેને **અપચય પથ** કહે છે. ચય પથમાં શક્તિ વપરાય છે. એમિનો ઍસિડમાંથી પ્રોટીનના નિર્માણમાં શક્તિની આવશ્યકતા રહે છે. જ્યારે બીજી તરફ અપચય પથ દ્વારા શક્તિ મુક્ત થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે જ્યારે કંકાલ સ્નાયુમાં જ્યારે ગ્લુકોઝ લેક્ટિક ઍસિડમાં વિઘટિત થાય છે ત્યારે શક્તિ મુક્ત થાય છે. આ ચયાપચય પથ જેના દ્વારા ગ્લુકોઝમાંથી લેક્ટિક ઍસિડનું નિર્માણ થાય છે, તે 10 ચયાપચયિક ચરણોમાં પૂર્ણ થાય છે, જેને ગ્લાયકોલિસીસ કહે છે. સજીવોમાં પોષક દ્રવ્યોના અવનત થવાથી મુક્ત થતી આ શક્તિ રાસાયણિક બંધના સ્વરૂપે સંચિત થયેલી હોય છે. આ બંધ શક્તિ જ્યારે અને જ્યાં આવશ્યક સજીવતંત્રોમાં શક્તિ (ઊર્જા) ચલણનું મહત્ત્વપૂર્ણ સ્વરૂપ રાસાયણિક બંધના સ્વરૂપે રહેલી શક્તિ છે. જેને **ઍડિનોસાઇન ટ્રાય ફૉસ્ફેટ (ATP)** કહે છે.

સજીવો તેમની શક્તિ કેવી રીતે પ્રાપ્ત કરે છે ? તેમાં કયા પ્રકારની યોજના વિકાસ પામી તેઓ કયા સ્વરૂપે અને કેવી રીતે આ શક્તિનો સંચય કરે છે ? તેઓ શક્તિને કાર્યમાં કેવી રીતે ફેરવે છે ? તમે આ બધી જ બાબતોને ઉપલા ધોરણમાં એક નવી શાખામાં અભ્યાસ કરશો જેને ''જૈવ શક્તિ વિજ્ઞાન'' કહે છે.

## 9.11 જીવંત અવસ્થા (The Living State)

આ સ્તરે તમે સમજી ગયા હશો કે સજીવોમાં તેમની જરૂરિયાત અનુસાર એક નિશ્ચિત સાંદ્રતામાં હજારો રાસાયણિક સંયોજનો જોવા મળે છે. જેને ચયાપચયકો કે જૈવઅણુઓ કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે સામાન્ય સ્વસ્થ વ્યક્તિના રુધિરમાં શર્કરાની માત્રા 4.5 થી 5.0 મિલિમોલ (mM) જ્યારે અંતઃસ્રાવની માત્રા નેનોગ્રામ પ્રતિ મિલિલિટર હોય છે. સૌથી મહત્ત્વનું તથ્ય એ છે કે જૈવિક તંત્રમાં બધા સજીવ એક સ્થિર અવસ્થામાં જોવા મળે છે, જેમાં બધા જૈવઅણુઓની એક નિશ્ચિત માત્રા હોય છે. તે જૈવઅણુ એક ચયાપચયિક પ્રવાહમાં હોય છે. કોઈ પણ રાસાયણિક કે ભૌતિક પ્રક્રિયા સ્વતઃ સંતુલન પ્રાપ્ત કરે છે. સ્થિર અવસ્થા એ અસંતુલિત હોય છે. ભૌતિક સિદ્ધાંતના અનુસાર કોઈ પણ તંત્ર સંતુલનમાં કાર્ય કરી શકતું નથી, જેમ કે સજીવ હંમેશાં કાર્ય કરે છે. તેમનામાં ક્યારે પણ સંતુલનની સ્થિતિ હોઈ શકતી નથી. **અર્થાત્ જીવંત અવસ્થા એક અસંતુલિત સ્થાયી અવસ્થા હોય છે. જેનાથી કાર્ય કરી શકે છે.** જૈવિક પ્રક્રિયા સતત એવો પ્રયત્ન છે જેમાં સંતુલનથી બચી શકાય તે માટે હંમેશાં શક્તિની આવશ્યકતા રહે છે. ચયાપચય એ એવી પ્રક્રિયા છે જેમાં શક્તિ પ્રાપ્ત થાય છે. એટલે કે જીવંત અવસ્થા કે ચયાપચય એક બીજાના પર્યાયવાચી હોય છે. ચયાપચય વગર જીવંત અવસ્થા પ્રાપ્ત ન થઈ શકે.

## 9.12 ઉત્સેચકો (Enzymes)

લગભગ તમામ ઉત્સેચકો પ્રોટીન હોય છે. કેટલાક ન્યુક્લિઇક ઍસિડ ઉત્સેચકની જેમ વર્તે છે તેને રિબોઝાઈમ્સ કહે છે. કોઈ પણ ઉત્સેચકને રેખીય ચિત્ર દ્વારા રજૂ કરી શકાય છે. ઉત્સેચકમાં પણ પ્રોટીન જેવી પ્રાથમિક સંરચના જોવા મળે છે. જે એમિનો ઍસિડની શૃંખલાથી બનેલ હોય છે. પ્રોટીનની જેમ ઉત્સેચકમાં પણ દ્વિતીયક અને તૃતીયક સંરચના જોવા મળે છે. જ્યારે તમે તૃતીય સંરચના(આકૃતિ 9.4 b)ને જોશો તો ખ્યાલ આવશે કે પ્રોટીન શૃંખલાનો મુખ્ય (આધાર) ભાગ તેની ઉપર સ્વયં કુંતલિત થયેલો હોય છે અને શૃંખલા સ્વયં આડી-અવળી ગોઠવાયેલ હોય છે, જેથી ઘણા બધા ખાંચા કે ગુહા બની શકે છે આવી વિશિષ્ટ ગુહાને સક્રિય સ્થાન કહે છે. ઉત્સેચકના સક્રિય સ્થાન કે જે ખાંચા કે ગુહા સ્વરૂપે છે તેમાં પ્રક્રિયક આવીને ગોઠવાય છે. આ પ્રકારે ઉત્સેચક સક્રિય સ્થાન દ્વારા પ્રક્રિયાઓને ઊંચા દરે ઉત્પ્રેરિત કરે છે. ઉત્સેચક ઉત્પ્રેરક અકાર્બનિક ઉત્પ્રેરક કરતાં ઘણા બધા પ્રકારે જુદાં પડે છે. પરંતુ એક મહત્ત્વનો ભેદ રજૂ કરવો જરૂરી છે. અકાર્બનિક ઉત્પ્રેરક ઊંચા તાપમાન અને દબાણ પર કુશળતાપૂર્વક કામ કરે છે. જ્યારે ઉત્સેચકો ઊંચા તાપમાન ($40^{o}$ થી વધારે) પર ક્ષતિગ્રસ્ત થઈ જાય છે. સામાન્ય રીતે ઊંચા તાપમાને (જેમ કે ગરમ કુંડ કે સલ્ફરનાં ઝરણામાં) જોવા મળતા સજીવોમાંથી મેળવવામાં આવતા ઉત્સેચકો સ્થિર હોય છે અને તેમની ઉત્પ્રેરક શક્તિ ઊંચા તાપમાને ($80^{o}$C થી $90^{o}$C સુધી) પણ સ્થિર રહે છે. ઉપરના ઉત્સેચકો જે થર્મોફિલિક (ઉષ્માનુરાગી) સજીવોમાંથી અલગ તારવવામાં આવ્યા છે તે ઊષ્મા સ્થાયી હોય છે તે તેની વિશિષ્ટતા છે.

### 9.12.1 રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ (Chemical Reactions)

ઉત્સેચક શું છે ? તેના પહેલા એ સમજી લેવું જરૂરી છે કે રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ શું છે ? રાસાયણિક સંયોજનોમાં બે પ્રકારના પરિવર્તન હોય છે. એક ભૌતિક પરિવર્તન જેમાં બંધના તૂટ્યા વગર સંયોજનના આકારમાં રૂપાંતરણ થાય છે. અન્ય ભૌતિક પ્રક્રિયામાં દ્રવ્યની અવસ્થામાં પરિવર્તન થાય છે. જેમ કે બરફનું ઓગળીને પાણીમાં પરિવર્તન પામવું અથવા તો પાણીનું વરાળમાં ફેરવાવું. આ પણ ભૌતિક પ્રક્રિયાઓ છે. રૂપાંતરણ સમયે બંધોનું તૂટવું કે નવા બંધોનું નિર્માણ થવું એ જ રાસાયણિક પ્રક્રિયા છે. ઉદાહરણ તરીકે :

$$Ba(OH)_2 + H_2SO_4 \longrightarrow BaSO_4 + 2H_2O$$

આ એક અકાર્બનિક રાસાયણિક પ્રક્રિયા છે. તેવી જ રીતે સ્ટાર્ચના જળવિભાજનથી ગ્લુકોઝનું નિર્માણ થવું. આ એક કાર્બનિક રાસાયણિક પ્રક્રિયા છે. ભૌતિક કે રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓના દરનો સીધો સંબંધ એકમ સમયમાં બનતી નીપજો સાથે હોય છે તેને આ રીતે રજૂ કરી શકાય.

$$\text{દર} = \frac{\delta p}{\delta t}$$

જો દિશા નક્કી હોય તો આ દરને વેગ પણ કહે છે. ભૌતિક તેમજ રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓનો દર અન્ય કારકો સાથે તાપમાન દ્વારા પણ પ્રભાવિત હોય છે. એક સર્વસ્વીકૃત નિયમ અનુસાર પ્રત્યેક $10^{o}$C તાપમાનના વધવાથી કે ઘટવાથી પ્રક્રિયાઓનો દર ક્રમશઃ બમણો કે અડધો થઈ જાય છે. ઉત્પ્રેરિત (ઉદ્દીપ્ત) પ્રક્રિયાઓ અનુત્પ્રેરિત પ્રક્રિયાઓની સરખામણીમાં ઊંચા દરથી પૂર્ણ થાય છે. જ્યારે કોઈ ઉત્સેચક દ્વારા થતી ઉત્પ્રેરિત પ્રક્રિયાઓનો દર અનુત્પ્રેરિત પ્રક્રિયા દ્વારા પૂર્ણ થનારી પ્રક્રિયાઓથી ઘણો વધારે હોય છે.

ઉદાહરણ તરીકે,

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | + | $H_2O$ | $\xrightleftharpoons{\text{કાર્બોનિક એનહાઈડ્રેઝ}}$ | $H_2CO_3$ |
| કાર્બન ડાયૉક્સાઈડ | | પાણી | | કાર્બોનિક ઍસિડ |

આ પ્રક્રિયા ઉત્પ્રેરકની ગેરહાજરીમાં ખૂબ જ મંદગતિથી થાય છે, જેમાં એક કલાકમાં કાર્બનિક ઍસિડના 200 અણુઓનું નિર્માણ થાય છે. પરંતુ ઉપરની પ્રક્રિયા કોષરસમાં હાજર ઉત્સેચક, કાર્બોનિક એનહાઈડ્રેઝની હાજરીમાં તીવ્ર ગતિથી પૂર્ણ થાય છે જેમાં કાર્બોનિક ઍસિડનાં 600,000 અણુ પ્રતિ સેકન્ડમાં બને છે. ઉત્સેચકે આ પ્રક્રિયાનો વેગ 10 મિલિયન ગણો વધારે કરી દીધો. ઉત્સેચકની આ શક્તિ હકીકતમાં અકલ્પનીય લાગે છે.

હજારો પ્રકારના ઉત્સેચકો હોય છે જે વિશેષ પ્રકારની રાસાયણિક કે ચયાપચયિક પ્રક્રિયાઓને ઉત્પ્રેરિત કરે છે. બહુચરણીય રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓમાં જ્યાં પ્રત્યેક ચરણ એક જ જટિલ ઉત્સેચક કે જુદા જુદા પ્રકારના ઉત્સેચકોથી ઉત્પ્રેરિત થાય છે તો તેને ચયાપચયિક પથ કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે :

$$\text{ગ્લુકોઝ} \rightarrow 2 \text{ પાયરૂવિક ઍસિડ}$$

$$C_6H_{12}O_6 + O_2 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 2H_2O$$

ગ્લુકોઝમાંથી પાયરૂવિક ઍસિડનું નિર્માણ થવું તે એક રાસાયણિક પથ દ્વારા થાય છે. જેમાં 10 જુદા જુદા પ્રકારના ઉત્સેચક ચયાપચયિક પ્રક્રિયાઓને ઉત્પ્રેરિત કરે છે. જ્યારે તમે પ્રકરણ-14માં શ્વસનનો અભ્યાસ કરશો ત્યારે ઉપરોક્ત પ્રક્રિયાઓના વિશે જાણવા મળશે. આ તબક્કે તમારે જાણી લેવું જોઈએ કે એક જ ચયાપચયિક પથ એક કે બે કે તેથી વધુ પ્રક્રિયાઓ દ્વારા જુદા પ્રકારના ચયાપચયિક અંત્ય ઉત્પાદનો બનાવે છે. આપણા કંકાલ સ્નાયુમાં અજારક સ્થિતિમાં લેક્ટિક ઍસિડનું નિર્માણ થાય છે. જ્યારે સામાન્ય જારક સ્થિતિમાં પાયરૂવિક ઍસિડનું નિર્માણ થાય છે. યીસ્ટમાં આથવણ પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉપરના પથ દ્વારા ઈથેનોલ(આલ્કોહોલ)નું નિર્માણ થાય છે. જુદી જુદી દિશાઓમાં જુદા જુદા પ્રકારના ઉત્પાદનોનું નિર્માણ શક્ય છે.

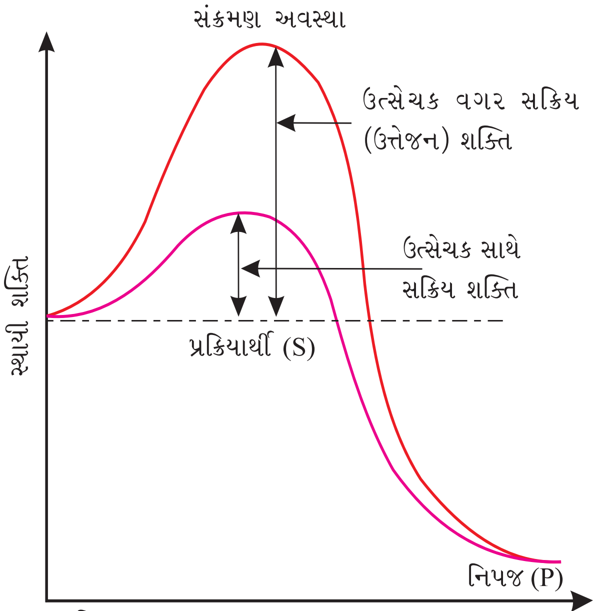
### 9.12.2 ઉત્સેચકો દ્વારા ઊંચા દરથી રાસાયણિક રૂપાંતરણ કેવી રીતે થાય છે ?
### (How do enzymes bring about such high rates of chemical conversions ?)

આને સમજવા માટે ઉત્સેચક વિશે વિસ્તૃત અભ્યાસ કરવો પડશે. સક્રિય સ્થાનના વિશે આપણે પહેલા અભ્યાસ કરી ચૂક્યા છીએ. રાસાયણિક કે ચયાપચયિક રૂપાંતરણો એક પ્રક્રિયા હોય છે જેમાં રસાયણનું નીપજમાં રૂપાંતરણ થાય છે. તેને પ્રક્રિયક (S) કહે છે. જ્યારે ઉત્સેચક એક સક્રિય સ્થાન સાથે એક ત્રિ-પરિમાણ સંરચના ધરાવતું પ્રોટીન છે, જે એક પ્રક્રિયક (S)ને નીપજ (P)માં ફેરવે છે. સાંકેતિક સ્વરૂપે તેને નીચે મુજબ વર્ણવી શકાય.

$$S \rightarrow P$$

$$\text{પ્રક્રિયક} \rightarrow \text{નીપજ}$$

પ્રક્રિયાર્થી (S) ઉત્સેચકના સક્રિય સ્થાન જે તિરાડ કે ખાંચા (ગુહા) સ્વરૂપે હોય છે તેની સાથે જોડાય છે. પ્રક્રિયાર્થી સક્રિય સ્થાન તરફ પ્રસરણ પામે છે. આ પ્રકારે આવશ્યક ઉત્સેચક પ્રક્રિયાર્થી સંકુલ(ES Complex)નું નિર્માણ થાય છે. E (એન્ઝાઈમ) ઉત્સેચકને રજૂ કરે છે. આ સંકુલનું નિર્માણ




**આકૃતિ 9.6 :** સક્રિય શક્તિની સંકલ્પના (પ્રક્રિયાની પ્રગતિ)

એ એક ક્ષણિક સમયની ઘટના છે. પ્રક્રિયાર્થી ઉત્સેચકના સક્રિય સ્થાન સાથે જોડાય તે દરમિયાન પ્રક્રિયાર્થીની નવી સંરચનાનું નિર્માણ થાય છે. જેને સંક્રમણ અવસ્થા - સંરચના કહેવાય છે. તેના પછી તરત જ સ્વીકૃત બંધનું તૂટવું કે નિર્માણ પૂર્ણ થાય છે. પછી સક્રિય સ્થાન પરથી નીપજ મુક્ત થાય છે. બીજા શબ્દોમાં પ્રક્રિયાર્થીની સંરચના નીપજની સંરચનામાં ફેરવાય છે. રૂપાંતરણોનો આ પથ કથિત સંક્રમણ અવસ્થા દ્વારા થાય છે. સ્થાયી પ્રક્રિયક અને નીપજની વચ્ચે ઘણી બધી રૂપાંતરિત સંરચનાત્મક અવસ્થાઓ થઈ શકે છે. આ વાક્યનો અર્થ એ છે કે બનતી બધી જ મધ્યવર્તી સંરચનાત્મક અવસ્થા અસ્થાયી હોય છે. સ્થાયીત્વનો સંબંધ અણુની ઊર્જા (શક્તિ) અવસ્થા કે સંરચના સાથે જોડાયેલો હોય છે. જો આને ચિત્રાત્મક આલેખ દ્વારા પ્રદર્શિત કરીએ તો તે આકૃતિ 9.6 અનુસાર હોઈ શકે.

Y-અક્ષ સ્થાયી શક્તિ રજૂ કરે છે. X-અક્ષ વચગાળાની અવસ્થા દ્વારા બંધારણીય રૂપાંતરણમાં ફેરફાર સૂચવે છે. બે વસ્તુ ધ્યાનમાં રાખવા જેવી છે. પ્રક્રિયક (S) અને નીપજ (P)ના વચ્ચે શક્તિ સ્તરમાં ભિન્નતા છે. જો નીપજ પ્રક્રિયાર્થી કરતાં નીચલા સ્તરનો હોય તો પ્રક્રિયા બાહ્ય ઉષ્મીય હોય છે. આ અવસ્થામાં નીપજ નિર્માણ કાર્ય માટે શક્તિ- (ગરમી દ્વારા)ની આવશ્યક નથી. આમ છતાં, બાહ્ય ઉષ્મીય પ્રક્રિયા કે સ્વયં પ્રવર્તિત પ્રક્રિયા અથવા અંતઃ ઉષ્મીય કે શક્તિ આવશ્યક પ્રક્રિયાઓમાં પ્રક્રિયાર્થીને ઉચ્ચ શક્તિ અવસ્થા કે વચગાળાની અવસ્થામાંથી પસાર થવું પડે છે. પ્રક્રિયાર્થી અને વચગાળાની અવસ્થા વચ્ચે સરેરાશ શક્તિના તફાવતને સક્રિય (ઉત્તેજન) શક્તિ કહે છે.

ઉત્સેચક શક્તિ અવરોધને ઘટાડીને પ્રક્રિયાર્થીમાંથી નીપજના સરળ રૂપાંતરણમાં મદદ કરે છે.

### 9.12.3 ઉત્સેચકની કાર્યપદ્ધતિ (Nature of Enzyme Action)

પ્રત્યેક ઉત્સેચક (E)ના અણુમાં પ્રક્રિયક-જોડાણ-સ્થાન જોવા મળે છે. જેની સાથે પ્રક્રિયક (S) જોડાઈને ઉત્સેચક-પ્રક્રિયાર્થી-સંકુલ (E.S-Complex)નું નિર્માણ કરે છે. આ સંકુલ અત્યંત ઓછા સમય સુધી યથાવત રહે છે જે નીપજ (P) અને અપરિવર્તિત ઉત્સેચકમાં વિયોજિત થાય છે. તેની પહેલાં મધ્યવર્તી રચના ઉત્સેચક-નીપજ-સંકુલ (EP-Complex)નું નિર્માણ થાય છે.

ઉત્સેચક-પ્રક્રિયાર્થી-સંકુલ નિર્માણ થવું તે ઉત્પ્રેરણ (ઉદ્દીપન) માટે અત્યંત આવશ્યક છે.

$$E + S \rightleftharpoons \underset{\text{સંકુલ}}{ES} \longrightarrow \underset{\text{સંકુલ}}{EP} \longrightarrow E + P$$

ઉત્સેચક ક્રિયાના ઉત્પ્રેરક ચક્રને નીચેનાં ચરણોમાં વર્ણવી શકાય :

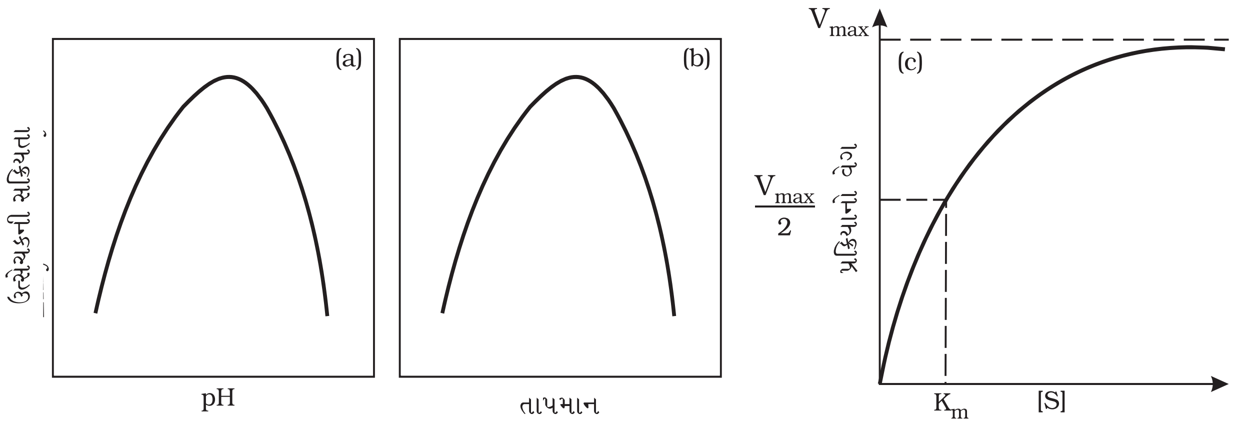
1. સૌપ્રથમ પ્રક્રિયક ઉત્સેચકના સક્રિય સ્થાને જોડાય છે.
2. ઉત્સેચક સાથે જોડાયેલ પ્રક્રિયક ઉત્સેચકના આકારમાં (સ્વરૂપમાં) બદલાવ લાવે છે. જેથી પ્રક્રિયક ઉત્સેચક સાથે મજબૂતીથી જોડાઈ જાય છે.
3. ઉત્સેચકનું સક્રિય સ્થાન હવે પ્રક્રિયકના ગાઢ સંપર્કમાં હોય છે જેના પરિણામ સ્વરૂપે પ્રક્રિયકના રાસાયણિક બંધ તૂટે છે અને નવા ઉત્સેચક-નીપજ સંકુલનું નિર્માણ થાય છે.
4. ઉત્સેચક નવનિર્મિત નીપજને મુક્ત કરે છે. મુક્ત થયેલ ઉત્સેચક અન્ય પ્રક્રિયક સાથે જોડાવા માટે તૈયાર થઈ જાય છે. આ પ્રકારે પુનઃ ઉત્સેચક ચક્રની શરૂઆત થાય છે.

### 9.12.4 ઉત્સેચકની ક્રિયાવિધિ પર અસર કરતાં પરિબળો (Factors affecting enzyme activity)

જે પરિબળો પ્રોટીનની તૃતીયક સંરચનામાં ફેરફાર પ્રેરે છે, તે ઉત્સેચકની સક્રિયતાને પણ અસર કરે છે. જેમ કે તાપમાન, pH, પ્રક્રિયકની સાંદ્રતામાં ફેરફાર અથવા કોઈ વિશિષ્ટ રસાયણનું ઉત્સેચક સાથેનું જોડાણ કે જે તેની ક્રિયાશીલતાનું નિયમન કરતું હોય.

**તાપમાન અને pH**

ઉત્સેચક સામાન્ય રીતે તાપમાન અને pHની મર્યાદિત ક્ષેત્ર વિસ્તારમાં કાર્ય કરે છે. (આકૃતિ 9.7) દરેક ઉત્સેચકની મહત્તમ ક્રિયાશીલતા એક ચોક્કસ તાપમાન અને pHના આધારે થાય છે. જેને ક્રમશઃ ઈષ્ટતમ તાપમાન અને ઈષ્ટતમ pH કહે છે. આ ઈષ્ટતમ માપથી ઉપર કે નીચે ઉત્સેચકની ક્રિયાશીલતામાં ઘટાડો થાય છે. નીચુ તાપમાન ઉત્સેચકની ક્રિયાશીલતાને નિષ્ક્રિય કરી દે છે. જ્યારે ઊંચું તાપમાન ઉત્સેચકની ક્રિયાશીલતા નષ્ટ કરી દે છે કારણ કે ગરમીથી પ્રોટીન વિનૈસર્ગીકરણ પામે છે.




**આકૃતિ 9.7 :** (a) pH (b) તાપમાન તથા (c) પ્રક્રિયાર્થીની સાંદ્રતાના ફેરફારનો ઉત્સેચકની સક્રિયતા પર પ્રભાવ

**પ્રક્રિયકની સાંદ્રતા**

પ્રક્રિયકની સાંદ્રતામાં વધારો થવાની સાથે-સાથે સૌપ્રથમ ઉત્સેચકનો પ્રક્રિયા વેગ (V) વધે છે. પ્રક્રિયા તેના મહત્તમ પ્રક્રિયા વેગને ($V_{max}$) પ્રાપ્ત કર્યા પછી પ્રક્રિયકની સાંદ્રતા વધવા છતા પણ તેમાં વધારો થતો નથી. એવું એટલા માટે થાય છે કે ઉત્સેચકના અણુઓની સંખ્યા પ્રક્રિયકના અણુઓથી ઓછી હોય છે અને પ્રક્રિયકના અણુઓ દ્વારા ઉત્સેચક સંતૃપ્ત થયા પછી ઉત્સેચકનો કોઈ પણ અણુ પ્રક્રિયકના વધારાના અણુઓ સાથે જોડાવવા માટે મુક્ત રહેતો નથી. (આકૃતિ 9.7).

કોઈ પણ ઉત્સેચકની ક્રિયાશીલતા વિશિષ્ટ રસાયણોની કે જે ઉત્સેચક સાથે જોડાય છે તેની હાજરીમાં સંવેદનશીલ હોય છે. જ્યારે કોઈ રસાયણ ઉત્સેચક સાથે જોડાય અને તેની પ્રક્રિયાને અટકાવી દે તો તેને **અવરોધન** અને તે રસાયણને **અવરોધક** કહે છે.

જ્યારે અવરોધક તેની આણ્વિક સંરચનામાં પ્રક્રિયાર્થી સાથે સમાનતા ધરાવે છે અને ઉત્સેચકની ક્રિયાશીલતાને અવરોધે છે તો તેને **'પ્રતિસ્પર્ધી (હરીફ) અવરોધક'** કહે છે.

અવરોધકની પ્રક્રિયાર્થી સાથે ગાઢ સંરચનાત્મક સમાનતાના ફળ સ્વરૂપે આ પ્રક્રિયાર્થી દ્વારા ઉત્સેચકના પ્રક્રિયાર્થી-જોડાણ-સ્થાન સાથે જોડાઈને પ્રતિસ્પર્ધા (હરિફાઈ) કરે છે. પરિણામ સ્વરૂપે પ્રક્રિયાર્થી પ્રક્રિયાર્થી-જોડાણ-સ્થાન સાથે જોડાઈ શકતાં નથી જેના ફળ સ્વરૂપે ઉત્સેચક પ્રક્રિયા મંદ (ધીમી) પડી જાય છે. ઉદાહરણ તરીકે સક્સિનિક ડિહાઇડ્રોજિનેઝનું મેલોનેટ દ્વારા અવરોધન કે જે સંરચનામાં પ્રક્રિયાર્થી સક્સિનેટ સાથે વધુ સમાનતા ધરાવે છે આવાં પ્રતિસ્પર્ધી અવરોધકોનો ઉપયોગ બૅક્ટેરિયલ રોગકારકોને નિયંત્રિત કરવા માટે થાય છે.

### 9.12.5 ઉત્સેચકોનું નામકરણ અને વર્ગીકરણ (Classification and Nomeclature of Enzymes)

હજારો ઉત્સેચકની શોધ, અલગીકરણ અને અભ્યાસ થઈ ચૂક્યો છે. ઉત્સેચકો દ્વારા જુદી જુદી પ્રક્રિયાઓના ઉત્પ્રેરકના આધારે તેને જુદા જુદા સમૂહોમાં વર્ગીકૃત કરવામાં આવ્યા છે. ઉત્સેચકોને 6 વર્ગોમાં તથા પ્રત્યેક વર્ગને 4થી 13 ઉપવર્ગોમાં વર્ગીકૃત કરવામાં આવ્યા છે, જેનું નામકરણ ચાર અક્ષરીય સંખ્યા પર આધારિત છે.

**ઑક્સિડોરિડક્ટેઝિસ / ડિહાઇડ્રોજીનેઝિસ** ઉત્સેચક કે જે બે પ્રક્રિયકો S અને S' વચ્ચે ઑક્સિડો-રિડક્શનને ઉત્પ્રેરિત કરે છે જેમ કે....

S (રિડ્યુસ) + S' (ઑક્સિડાઈઝ) ⟶ S ઑક્સિડાઈઝ + S' રિડ્યુસ.

**ટ્રાન્સફરેઝિસ :** ઉત્સેચકો પ્રક્રિયકોની એક જોડ S અને S' વચ્ચે એક સમૂહ G (હાઇડ્રોજન સિવાય)ના સ્થળાંતરણને ઉત્પ્રેરિત કરે છે જેમ કે....

$$S - G + S' \longrightarrow S + S' - G$$

**હાઈડ્રોલેઝિસ :** ઉત્સેચક એસ્ટર, ઈથર, પેપ્ટાઇડ, ગ્લાયકોસિડિક, કાર્બન-કાર્બન, કાર્બન-હેલાઇડ અથવા P–N બંધ (ફૉસ્ફરસ-નાઇટ્રોજન બંધ)નું જલવિભાજન પ્રેરે છે.

**લાયેઝિસ :** જલવિભાજન સિવાય પ્રક્રિયકોમાંથી સમૂહને દૂર કરવા માટે સંકળાયેલા ઉત્સેચકો છે. પ્રક્રિયાના ફળ સ્વરૂપે દ્વિબંધોનું નિર્માણ થાય છે.

$$\begin{matrix} X & & Y \\ | & & | \\ C & - & C \end{matrix} \longrightarrow X - Y + C = C.$$

**આઈસોમરેઝિસ :** એવા બધા જ ઉત્સેચકો કે જે પ્રકાશીય, ભૌમિતિક અથવા બંધારણીય સમઘટકોના આંતર રૂપાંતરણને ઉત્પ્રેરિત કરે છે.

**લિગેઝિસ :** ઉત્સેચક કે જે બે રસાયણોને પરસ્પર જોડાણ માટે ઉત્પ્રેરિત કરે છે, જેમ કે C–O, C–S, C–N, P–O વગેરે બંધોનું નિર્માણ સાથે સંકળાયેલા ઉત્સેચકો.

### 9.12.6 સહકારકો (Co-Factors)

ઉત્સેચક એક કે અનેક પોલિપેપ્ટાઇડ શૃંખલાઓના જોડાવાથી બને છે. છતાં પણ કેટલીક સ્થિતિમાં બિનપ્રોટીન ઘટક જેને સહકારક કહે છે તે ઉત્સેચક સાથે જોડાઈને તેને સક્રિય બનાવે છે. આ ઉદાહરણમાં ઉત્સેચકના માત્ર પ્રોટીનવાળા ભાગને એપોએન્જાઈમ કહે છે. સહકારક ત્રણ પ્રકારના હોય છે. પ્રોસ્થેટિક જૂથ, સહઉત્સેચક તથા ધાતુ આયન.

પ્રોસ્થેટિક સમૂહ કાર્બનિક રસાયણો હોય છે અને તે અન્ય સહકારકોથી સ્વરૂપમાં જુદા હોય છે કે તે એપોએન્ઝાઈમ સાથે પ્રબળ બંધથી જોડાય છે. ઉદાહરણ સ્વરૂપે ઉત્સેચક પેરોક્સાઈડેઝ અને કેટાલેઝ જે હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડને ઑક્સિજન અને પાણીમાં વિખંડન કરે છે. તેમાં હીમ પ્રોસ્થેટિક સમૂહ હોય છે જે ઉત્સેચકનો સક્રિયતા માટેનો એક ભાગ હોય છે.

સહ-ઉત્સેચક પણ કાર્બનિક રસાયણો હોય છે પરંતુ તેનું એપોએન્ઝાઈમ સાથેનું જોડાણ ક્ષણિક હોય છે જે સામાન્ય ઉત્પ્રેરણ દરમિયાન બને છે. સહ-ઉત્સેચક વિવિધ ઉત્સેચકીય ઉત્પ્રેરિત પ્રક્રિયાઓમાં સહકારક તરીકે કાર્ય કરે છે. અનેક સહ-ઉત્સેચકનું મુખ્ય રાસાયણિક ઘટક વિટામિન્સ હોય છે. ઉ. દા., સહઉત્સેચક નિકોટીનેમાઇડ એડેનાઇન ડાયન્યુક્લિઓટાઇડ (NAD) અને NADP વિટામિન નિએસીન ધરાવે છે.

ઘણા બધા ઉત્સેચકોની સક્રિયતા માટે ધાતુ-આયનની આવશ્યકતા રહેલી હોય છે. જે સક્રિય સ્થાન પર પાર્શ્વીય શૃંખલા સાથે સમન્વય બંધ (સહસંયોજક બંધ = Co-ordination bond) બનાવે છે. એ જ સમયે એક કે તેથી વધુ સમન્વય બંધ વડે પ્રક્રિયક સાથે જોડાયેલ હોય છે. ઉ. દા., પ્રોટિયોલાઈટીક ઉત્સેચક કાર્બોક્સિપેપ્ટિડેઝ સાથે ઝિંક એક સહકારક સ્વરૂપે જોડાયેલ હોય છે.

ઉત્સેચક પરથી જો સહકારકને અલગ કરવામાં આવે તો તેની ઉત્પ્રેરક ક્રિયાશીલતા સમાપ્ત થઈ જાય છે. તેનાથી સ્પષ્ટ થાય છે કે ઉત્સેચકની ઉત્પ્રેરક ક્રિયાશીલતા માટે સહકારક નિર્ણાયક ભૂમિકા ભજવે છે.

## સારાંશ

સજીવોમાં આશ્ચર્યજનક વિભિન્નતા જોવા મળે છે. તેઓનાં રાસાયણિક સંગઠન અને ચયાપચય પ્રક્રિયાઓમાં અસાધારણ સમાનતા જોવા મળે છે. સજીવ પેશીમાં તથા નિર્જીવ દ્રવ્યોમાં જોવા મળતાં તત્ત્વોના સંગઠનનું જો ગુણાત્મક પરીક્ષણ કરવામાં આવે તો તે ઘણુ સમાન હોય છે. છતાં પણ સૂક્ષ્મ પરીક્ષણ પછી એ સ્પષ્ટ છે કે જો સજીવતંત્ર અને નિર્જીવ દ્રવ્યોની તુલના કરવામાં આવે તો સજીવતંત્રમાં કાર્બન, હાઇડ્રોજન અને ઑક્સિજનની સાપેક્ષ માત્રા વધારે હોય છે. સજીવોમાં સૌથી વધુ પ્રચુર

રસાયણ પાણી જોવા મળે છે. ઓછો અણુભાર (1000 ડાલ્ટનથી ઓછો) વાળા હજારો જૈવઅણુઓ હોય છે. સજીવોમાં એમિનો ઍસિડ, મોનોસેકેરાઇડ્સ, ડાયસેકેરાઇડ્સ શર્કરા, ફેટી ઍસિડ, ગ્લિસરોલ, ન્યુક્લિઓટાઇડ્સ, ન્યુક્લિઓસાઇડ્સ અને નાઇટ્રોજન બેઇઝ્સ જેવા કાર્બનિક રસાયણો જોવા મળે છે. તેમાં 20 પ્રકારના એમિનો ઍસિડ્સ 5 પ્રકારના ન્યુક્લિઓટાઈડ્સ જોવા મળે છે. ચરબી અને તેલ ગ્લિસરાઇડ્સ હોય છે. જેમાં ફેટી ઍસિડ, ગ્લિસરોલથી એસ્ટરીકૃત થાય છે. ફૉફોલિપિડમાં ફૉસ્ફરીકૃત નાઇટ્રોજનયુક્ત સંયોજનો જોવા મળે છે.

સજીવતંત્રમાં માત્ર ત્રણ પ્રકારના મહાઅણુઓ જેવા કે પ્રોટીન, ન્યુક્લિઇક ઍસિડ અને પોલિસેકેરાઇડ્સ જોવા મળે છે. લિપિડ પટલ સાથે જોડાયેલ હોવાના કારણે બૃહદ્ આણ્વિક ભાગમાં રહે છે. જૈવ મહાઅણુ પોલિમર હોય છે. જે જુદા જુદા ઘટકોથી બને છે. પ્રોટીન એ વિષમ પોલિમર છે જે એમિનો ઍસિડ્સના જોડાણથી બને છે. ન્યુક્લિઇક ઍસિડ (DNA અને RNA) ન્યુક્લિઓટાઇડ્સના જોડાણથી બને છે. જૈવ મહાઅણુઓમાં સંરચનાના પદાનુક્રમ જેવા કે પ્રાથમિક, દ્વિતીયક, તૃતીયક અને ચતુર્થક સંરચનાઓ જોવા મળે છે. ન્યુક્લિઇક ઍસિડ જનીનદ્રવ્ય તરીકે વર્તે છે. પોલિસેકેરાઇડ્સ એ વનસ્પતિ, ફૂગમાં કોષદીવાલનો બંધારણીય ઘટક અને સંધિપાદીઓનાં બાહ્યકંકાલનો ઘટક છે. તે ઊર્જાના સંચય સ્વરૂપે પણ હોય છે જેવા કે (સ્ટાર્ચ, ગ્લાયકોજન). પ્રોટીન વિભિન્ન કોષીય કાર્યોમાં સહાય કરે છે. જેમાં કેટલાક ઉત્સેચક, એન્ટિબોડી, ગ્રાહીઅણુ, અંતઃસ્રાવ અને બીજા કેટલાક બંધારણીય પ્રોટીન હોય છે. પ્રાણી સૃષ્ટિમાં સૌથી વધુ માત્રામાં જોવા મળતું પ્રોટીન કૉલેજન અને સમગ્ર જીવાવરણમાં સૌથી વધુ માત્રામાં જોવા મળતું પ્રોટીન રૂબિસ્કો (RuBisCo) છે.

ઉત્સેચક પ્રોટીન હોય છે જે કોષમાં જૈવ રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ માટે ઉત્પ્રેરક શક્તિ હોય છે. રિબોઝાઇમ ઉત્પ્રેરિત શક્તિ ધરાવતું ન્યુક્લિઇક ઍસિડ છે. પ્રોટીનમય ઉત્સેચકની મહત્તમ ક્રિયાશીલતા માટે ઈષ્ટતમ તાપમાન, $p^H$, વગેરેની આવશ્યકતા હોય છે. ઉત્સેચક ઊંચા તાપમાને વિનૈસર્ગીકૃત થાય છે. ઉત્સેચકો સક્રિય શક્તિ સ્તરને નીચો કરે છે અને પ્રક્રિયાના દરને વધારે છે. ન્યુક્લિઇક ઍસિડ આનુવંશિક માહિતીનું વાહક હોય છે, જે માહિતીને પિતૃ પેઢીમાંથી સંતતિમાં આગળ વધારે છે.

## સ્વાધ્યાય

1. મહાઅણુઓ શું છે ? દૃષ્ટાંત આપો.
2. ગ્લાયકોસિડિક, પેપ્ટાઇડ તથા ફૉસ્ફોડાયએસ્ટર બંધોનું વર્ણન કરો.
3. પ્રોટીનની તૃતીય સંરચનાનું તાત્પર્ય શું છે ?
4. 10 એવા સૂક્ષ્મ જૈવ અણુઓને શોધો કે જે ઓછો અણુભાર ધરાવતા હોય. એવા ઉદ્યોગને શોધો કે જે આ રસાયણોનું નિર્માણ અલગીકરણ દ્વારા કરતા હોય, તેને ખરીદનાર કોણ છે ? તેની તપાસ કરો.
5. પ્રોટીનમાં પ્રાથમિક સંરચના હોય છે, જો તમારી જાણકારી માટે એવી પદ્ધતિ આપવામાં આવી હોય કે, જેમાં પ્રોટીનના બંને છેડા પર કયા એમિનો ઍસિડ છે તે જાણી શકાય તો શું તમે આ માહિતીને પ્રોટીનની શુદ્ધતા અથવા સમાંગતા સાથે જોડી શકો છો ?
6. રોગનિવારક એજન્ટ તરીકે પ્રયોગમાં ઉપયોગમાં લેવાતાં પ્રોટીનની માહિતી મેળવો અને તેની યાદી બનાવો તથા પ્રોટીનનું અન્ય પ્રયોજન જણાવો. (જેમ કે સૌંદર્ય-પ્રસાધન વગેરે.)

7. ટ્રાયગ્લિસરાઇડના બંધારણનું વર્ણન કરો.
8. શું તમે પ્રોટીનની સમજના આધારે વર્ણન કરી શકો છો કે દૂધનું દહીંમાં (કે યોગર્ટમાં) રૂપાંતરણ કેવી રીતે થાય છે ?
9. શું તમે વ્યાપારિક દૃષ્ટિથી ઉપલબ્ધ અણુમૉડલ(દડો અને લાકડી નમૂના)નો ઉપયોગ કરી જૈવ-અણુઓના મૉડલને બનાવી શકો છો ?
10. એમિનો ઍસિડને નિર્બળ બેઇઝથી અનુમાપન કરી એમિનો ઍસિડમાં (આયોનાઇઝેબલ) ક્રિયાશીલ સમૂહોની ઓળખ મેળવવાનો પ્રયત્ન કરો.
11. એલેનાઇન એમિનો ઍસિડની રચનાનું રેખાંકન દોરો.
12. ગુંદર શેનો બનેલો છે ? શું ફેવિકોલ તેનાથી અલગ છે ?
13. પ્રોટીન, ચરબી, તેલ અને એમિનો ઍસિડનું ગુણાત્મક પૃથક્કરણ / પરીક્ષણ બતાવો તથા કોઈ પણ ફળનો રસ, લાળ, પરસેવો તથા મૂત્રમાં તેઓનું પરીક્ષણ કરો.
14. તપાસ કરો કે જીવાવરણમાં બધી જ વનસ્પતિઓ દ્વારા કેટલા સેલ્યુલોઝનું નિર્માણ થાય છે ? તેની તુલના મનુષ્ય દ્વારા કુલ ઉત્પાદિત કાગળ સાથે કરો, મનુષ્ય પ્રતિવર્ષ વનસ્પતિ પદાર્થોનો વપરાશ કેટલો કરે છે ? તેમાં વનસ્પતિઓ કેટલા પ્રમાણમાં નાશ પામે છે ?
15. ઉત્સેચકોના મહત્ત્વપૂર્ણ ગુણધર્મોનું વર્ણન કરો.

# પ્રકરણ 10

# કોષચક્ર અને કોષવિભાજન (Cell cycle and Cell division)


*10.1 કોષચક્ર*

*10.2 M-તબક્કો*

*10.3 સમભાજનનું મહત્ત્વ*

*10.4 અર્ધીકરણ*

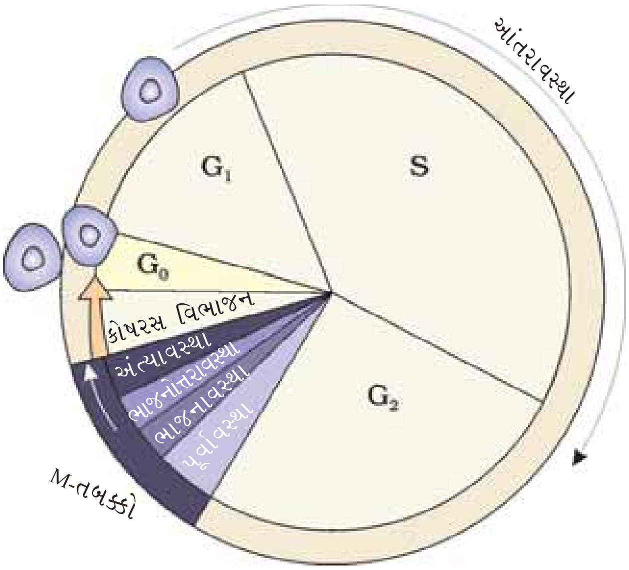
*10.5 અર્ધીકરણનું મહત્ત્વ*


શું તમે જાણો છો કે બધા સજીવો પછી સૌથી મોટા કેમ ન હોય, તેઓના જીવનની શરૂઆત એક જ કોષથી થાય છે ? તમને આશ્ચર્ય થશે કે એક કોષમાંથી આટલા મોટા સજીવનું નિર્માણ કેવી રીતે થાય છે. વૃદ્ધિ અને પ્રજનન બધા કોષોની લાક્ષણિકતા છે. તથા બધા જ સજીવોની જરૂરિયાત છે. બધા જ કોષો બે કોષોમાં વિભાજન પામીને પ્રજનન કરે છે, દરેક માતૃકોષ પ્રત્યેક વિભાજન દરમિયાન બે બાળકોષોનું નિર્માણ કરે છે. આ નવા નિર્માણ પામેલ બાળકોષો આપમેળે વૃદ્ધિ અને વિભાજન પામે છે. એક જ માતૃકોષ તથા તેની સંતતિની વૃદ્ધિ તથા વિભાજનથી નિર્માણ પામતા નવનિર્મિત કોષોની સંખ્યા વધે છે. બીજા અર્થમાં વૃદ્ધિ અને વિભાજનના આવા ચક્રો પૂર્ણ થયા બાદ એક જ કોષ લાખો કોષો ધરાવતી બંધારણીય સંરચના બનાવે છે.

## 10.1 કોષચક્ર (Cell Cycle)

કોષવિભાજન બધા જ સજીવોમાં એક ખૂબ જ મહત્ત્વપૂર્ણ પ્રક્રિયા છે. કોષવિભાજન દરમિયાન DNAનું સ્વયંજનન અને કોષવૃદ્ધિ થાય છે. આ બધી પ્રક્રિયાઓ જેમ કે કોષવિભાજન, DNA સ્વયંજનન અને કોષવૃદ્ધિ એક બીજા સાથે સંકલિત રીતે યોગ્ય કોષવિભાજન અને બાળકોષોનું માતૃકોષ જેવું જનીનસંકુલ ધરાવતા સંતતિ કોષોના નિર્માણને સૂચવે છે, કોષ તેના દ્વારા જનીનદ્રવ્યનું દ્વિગુણન, અન્ય ઘટકોનું સંશ્લેષણ અને ત્યાર પછી બે બાળકોષમાં તેનું વિભાજન પામવાના ઘટનાક્રમને **કોષચક્ર** કહે છે. છતાં પણ કોષવૃદ્ધિ (કોષરસના જથ્થામાં થતા વધારાના સંદર્ભે) એક સળંગ પ્રક્રિયા છે જેમાં DNAનું સંશ્લેષણ કોષચક્રના કોઈ એક વિશિષ્ટ તબક્કે થાય છે. કોષવિભાજન દરમિયાન દ્વિગુણિત રંગસૂત્રો (DNA) જટિલ ઘટનાક્રમ દ્વારા બાળ કોષકેન્દ્રોમાં વિતરણ પામે છે. આ બધી જ ઘટનાઓ જનીનિક નિયંત્રણ હેઠળ થાય છે.

### 10.1.1 કોષચક્રના તબક્કાઓ (Phases of Cell cycle)




**આકૃતિ 10.1 :** કોષચક્રની આકૃતિ કે જે એક કોષમાંથી બે કોષના નિર્માણનું સૂચન કરે છે.

લાક્ષણિક સુકોષકેન્દ્રી કોષચક્ર મનુષ્યના કોષને સંવર્ધન કરી સમજાવી શકાય. આ કોષો લગભગ પ્રત્યેક 24 કલાકમાં એક વાર વિભાજન પામે છે. (આકૃતિ 10.1). આ કોષચક્રનો સમયગાળો વિવિધ સજીવો અને વિવિધ પ્રકારના કોષોમાં જુદો જુદો હોય છે. દા. ત., યીસ્ટ કોષમાં એક કોષચક્ર માત્ર 90 મિનિટમાં પૂર્ણ થાય છે. કોષચક્રને બે મુખ્ય તબક્કાઓમાં વહેંચી શકાય.

1. **આંતરાવસ્થા (Interphase)**
2. **M - તબક્કો (Mitosis phase)**

વિભાજન તબક્કો (M અવસ્થા) એ અવસ્થાઓને રજૂ કરે છે કે જેમાં વાસ્તવમાં કોષવિભાજન કે સમસૂત્રીભાજન થાય છે અને આંતરાવસ્થા બે ક્રમિક M અવસ્થાઓની વચ્ચેની સ્થિતિને રજૂ કરે છે. ધ્યાનમાં રાખવા જેવી મહત્ત્વની વાત એ છે કે મનુષ્યમાં સરેરાશ કોષચક્રનો સમયગાળો 24 કલાકનો હોય છે. જેમાં કોષવિભાજન માત્ર લગભગ એક કલાકમાં પૂર્ણ થાય છે. જ્યારે કોષચક્રના કુલ સમયગાળાના 95 %થી વધારે સમય કોષ આંતરાવસ્થામાં જ પસાર કરે છે.

M-તબક્કાની શરૂઆત કોષકેન્દ્ર વિભાજન(**કેરિયોકાઈનેસીસ**)થી થાય છે, જે બાળ રંગસૂત્રનું નિર્માણ અને કોષરસ વિભાજન(**સાયટોકાઈનેસીસ**)થી અંત પામે છે. આંતરાવસ્થાને વિશ્રામી અવસ્થા પણ કહે છે, આ સમય દરમિયાન કોષ એ ક્રમબદ્ધ રીતે કોષવૃદ્ધિ અને DNA સ્વયંજનન બંનેમાંથી પસાર થઈ વિભાજન માટે તૈયાર થાય છે. આંતરાવસ્થાને બીજા ત્રણ ઉપ તબક્કાઓમાં વહેંચી શકાય છે.

- **$G_1$ તબક્કો (Gap$_1$ Phase)**
- **S-તબક્કો (Synthesis Phase)**
- **$G_2$ તબક્કો (Gap$_2$ Phase)**

$G_1$ તબક્કો સમભાજન અને DNA સ્વયંજનનની શરૂઆત વચ્ચેના મધ્યસ્થી તબક્કાને અનુસરે છે. $G_1$ અવસ્થામાં કોષ ચયાપચયિક રીતે સક્રિય હોય છે, અને સતત વૃદ્ધિ કરે છે પરંતુ DNAનું સ્વયંજનન કરતો નથી. **S-તબક્કો અથવા સંશ્લેષણ તબક્કો** આ તબક્કા દરમિયાન DNAનું સંશ્લેષણ તેમજ તેનું સ્વયંજનન થાય છે તથા આ સમય દરમિયાન પ્રત્યેક કોષમાં DNAની માત્રા બમણી થઈ જાય છે. જો DNAની શરૂઆતની માત્રા 2C હોય તો તે વધીને 4C થઈ જાય છે. છતાં પણ રંગસૂત્રોની સંખ્યામાં કોઈ પણ વધારો થતો નથી જો $G_1$ અવસ્થામાં કોષ દ્વિકીય અથવા 2n રંગસૂત્રો ધરાવતો હોય તો પણ S અવસ્થાના અંતમાં પણ તેની સંખ્યા એટલી જ રહે છે, એટલે કે 2n.

પ્રાણી કોષમાં S અવસ્થા દરમિયાન કોષકેન્દ્રમાં DNAના સ્વયંજનનની શરૂઆત થવાની સાથે તારાકેન્દ્રના કોષરસમાં દ્વિગુણનની શરૂઆત થવા લાગે છે.

વનસ્પતિ અને પ્રાણી તેમના જીવનકાળમાં કેવી રીતે વૃદ્ધિ કરે છે ? શું વનસ્પતિમાં જીવનભર બધા જ કોષો વિભાજન પામે છે ? શું તમે વિચારી શકો છો કે કેટલાક કોષો વનસ્પતિ અને પ્રાણીઓના જીવનમાં સતત વિભાજિત થતા રહેતા હોય છે ? શું તમે ઉચ્ચકક્ષાની વનસ્પતિમાં એવા કોષો ધરાવતી પેશીનું નામ અને સ્થાન બતાવી શકો છો કે જે જીવનભર વિભાજન પામ્યા કરે છે ? શું પ્રાણીઓમાં વનસ્પતિ જેવી વર્ધનશીલ પેશી આવેલી હોય છે ?

તમે ડુંગળીના મૂલાગ્રમાં જોવા મળતા કોષોમાં સમભાજનનો અભ્યાસ કરી ચૂક્યા હશો. તેના પ્રત્યેક કોષોમાં 24 રંગસૂત્રો આવેલા હોય છે. શું તમે કહી શકો છો કે $G_1$ અવસ્થા, S અને M અવસ્થા પછી કોષમાં કેટલા રંગસૂત્રો હશે ? જો કોષમાં M અવસ્થા પછી DNAની માત્રા 2C હોય તો $G_1$, S અને $G_2$ અવસ્થા પછી DNAની માત્રા કેટલી હશે ?

$G_2$ અવસ્થા દરમિયાન સમભાજનની તૈયારી સ્વરૂપે પ્રોટીનનું સંશ્લેષણ થાય છે અને કોષની વૃદ્ધિ સતત ચાલુ રહે છે.

પુખ્ત પ્રાણીઓમાં કેટલાક કોષો વિભાજન પામતા નથી (જેમ કે હૃદયના કોષો) અને બીજા અનેક કોષો ક્યારેક જ વિભાજન પામે છે એવું ત્યારે જ થાય છે જ્યારે ક્ષતિગ્રસ્થ કે મૃતકોષોના નુકસાનને કારણે બદલવાના હોય. આ કોષો કે જે ફરીથી વિભાજન પામતા નથી પરંતુ $G_1$ અવસ્થામાંથી નિકળીને નિષ્ક્રિય અવસ્થામાં પહોંચે છે. જેને કોષચક્રની **વિરામી અવસ્થા ($G_0$)** કહે છે. આ અવસ્થામાં કોષો ચયાપચયની દષ્ટિએ સક્રિય હોય છે પરંતુ વિભાજન પામતા નથી તેનું વિભાજન સજીવની આવશ્યકતા પ્રમાણે થાય છે.

પ્રાણીઓમાં સમવિભાજન માત્ર દ્વિકીય દૈહિકકોષોમાં જ થાય છે. તેનાથી વિપરિત વનસ્પતિમાં સમભાજન એકકીય અને દ્વિકીય બંને પ્રકારના કોષોમાં થાય છે. વનસ્પતિમાં સંતતિનું એકાંતરજનન(પ્રકરણ-3)ના ઉદાહરણને યાદ કરતા એવી વનસ્પતિ જાતિ અને અવસ્થાઓની ઓળખ કરો જેમાં એકકીય કોષોમાં સમભાજન જોવા મળે છે.

## 10.2 M - તબક્કો

આ કોષચક્રનો નાટકીય તબક્કો છે. જેમાં કોષના બધા ઘટકોનું મુખ્યત્વે પુનઃગઠન થાય છે. માતૃ અને બાળકોષોમાં રંગસૂત્રોની સંખ્યા સરખી રહે તો તેને સમવિભાજન કહે છે. સરળતા માટે સમભાજનને કોષકેન્દ્ર વિભાજનની ચાર અવસ્થાઓમાં વિભાજીત કરવામાં આવ્યું છે. અહીંયાં એ સમજી લેવું જરૂરી છે કે કોષવિભાજન એક સળંગ પ્રક્રિયા છે અને તેની જુદી જુદી અવસ્થાઓ સ્પષ્ટ રીતે અલગ કરવી મુશ્કેલ છે. સમભાજનને નીચેની ચાર અવસ્થામાં વિભાજીત કરવામાં આવેલ છે.

- **પૂર્વાવસ્થા**
- **ભાજનાવસ્થા (મધ્યાવસ્થા)**
- **ભાજનોત્તરાવસ્થા (પશ્ચાવસ્થા)**
- **ભાજનાન્તિમાવસ્થા (અંત્યાવસ્થા)**

### 10.2.1 પૂર્વાવસ્થા (Prophase)

પૂર્વાવસ્થા કે જે, આંતરાવસ્થાના S અને $G_2$ તબક્કાને અનુસરતી સમભાજનની પ્રથમ અવસ્થા છે. S અને $G_2$ અવસ્થામાં બનતા નવા DNAના અણુઓ એકબીજાથી જુદા હોતા નથી પરંતુ એકબીજા સાથે વીંટળાયેલા હોય છે. રંગસૂત્રીય દ્રવ્યોનાં ઘનીકરણની શરૂઆત એ જ પૂર્વાવસ્થાની ઓળખ છે. રંગસૂત્રીય ઘનીકરણની પ્રક્રિયા દરમિયાન રંગસૂત્રીય દ્રવ્યો સ્પષ્ટ થવા લાગે છે. (આકૃતિ 10.2 (a)). તારાકેન્દ્ર કે જેનું દ્વિગુણન આંતરાવસ્થાના S-તબક્કામાં થયેલ હતું તે હવે કોષના વિરુદ્ધ ધ્રુવો તરફ ખસવાની શરૂઆત કરે છે. પૂર્વાવસ્થાના અંતમાં જે મહત્ત્વપૂર્ણ ઘટનાઓ થાય છે તેની વિશિષ્ટતાઓ નીચે મુજબ છે :

- રંગસૂત્ર દ્રવ્ય ઘનીકરણ પામીને રંગસૂત્ર બનાવે છે. રંગસૂત્રો બે એકલસૂત્રો અને તેમને સાંકળતા એક સેન્ટ્રોમિયરનું બનેલ હોય છે.
- દ્વિધ્રુવિયત્રાક, સૂક્ષ્મનલિકાનું ભેગા થવું જેવી પ્રક્રિયાની શરૂઆત થાય છે. કોષનાં કોષરસમાં આવેલ આવી પ્રોટીનયુક્ત સંરચના આ પ્રક્રિયામાં મદદ કરે છે.

- પૂર્વાવસ્થાના અંતમાં જો કોષને માઇક્રોસ્કોપમાં જોવામાં આવે તો તેમાં ગોલ્ગી પ્રસાધન, અંતઃ કોષરસજાળ, કોષકેન્દ્રિકા તથા કોષકેન્દ્રપટલ જોવા મળતાં નથી.

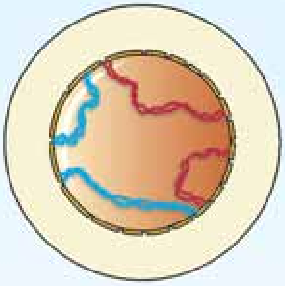
### 10.2.2 ભાજનાવસ્થા (Metaphase)

કોષકેન્દ્રપટલના સંપૂર્ણ વિઘટન થયા બાદ સમવિભાજનની બીજી અવસ્થાની શરૂઆત થાય છે. આ અવસ્થામાં રંગસૂત્રો કોષનાં કોષરસમાં ફેલાઈ જાય છે. આ અવસ્થા સુધી રંગસૂત્રોની ઘનીકરણ પ્રક્રિયા પૂર્ણ થઈ જાય છે અને માઇક્રોસ્કોપમાં તેનું સ્પષ્ટ નિરીક્ષણ કરી શકાય છે. આ એજ અવસ્થા છે કે જેમાં રંગસૂત્રોની બાહ્ય રચનાઓનો સરળતાથી અભ્યાસ કરી શકાય છે. આ તબક્કામાં રંગસૂત્રો બે એકલસૂત્રોના બનેલા હોય છે કે જે સેન્ટ્રોમિયરથી જોડાયેલ હોય છે. (આકૃતિ 10.2 (b)). સેન્ટ્રોમિયરની સપાટી પર કાઇનેટોકોર્સ નામની બિંબ જેવી રચના જોઈ શકાય છે. આ રચના સૂક્ષ્મનલિકાઓ દ્વારા બનેલ ત્રાકતંતુઓને જોડાવા માટેનું સ્થાન આ રચના (કાઇનેટોકોર્સ) છે. ત્રાકતંતુઓ રંગસૂત્રોના સેન્ટ્રોમિયર સાથે જોડાઈને રંગસૂત્રોને કોષના મધ્ય વિસ્તારમાં ગોઠવે છે. પ્રત્યેક રંગસૂત્રનું એક એકલસૂત્ર એક ધ્રુવ તરફ ત્રાકતંતુ દ્વારા પોતાના કાઇનેટોકોર્સ વડે જોડાઈ જાય છે. જ્યારે તેનું બીજું એકલસૂત્ર ત્રાકતંતુ વડે પોતાના કાઇનેટોકોર્સ સાથે વિરુદ્ધ ધ્રુવથી જોડાયેલ હોય છે. જે મધ્યાવસ્થાની ઓળખ છે. (આકૃતિ 10.2 (b)). મધ્યાવસ્થામાં જે તલ પર રંગસૂત્રો ગોઠવાય છે તેને **મધ્યાવસ્થા પટ્ટિકા અથવા ભાજનતલ** કહે છે.

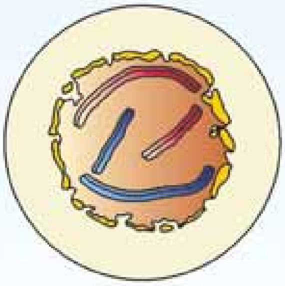
- **આ અવસ્થાની મુખ્ય વિશેષતા :**
- ત્રાકતંતુઓ રંગસૂત્રના કાઇનેટોકોર્સ વડે જોડાયેલ હોય છે.
- રંગસૂત્રો બંને ધ્રુવો પર રહેલા ત્રાકતંતુઓ દ્વારા મધ્યાવસ્થા પટ્ટિકા (વિષુવવૃત્તીય તલ) તરફ આગળ વધીને મધ્યાવસ્થા પટ્ટિકા પર ગોઠવાય છે.

### 10.2.3 ભાજનોત્તરાવસ્થા (Anaphase)

ભાજનોત્તરાવસ્થાની શરૂઆતમાં મધ્યાવસ્થા પટ્ટિકા પર ગોઠવાયેલ દરેક રંગસૂત્રોના સેન્ટ્રોમિયર ક્રમશઃ વિભાજિત થતાં રંગસૂત્રિકાઓ સ્વરૂપે છૂટા પડે છે જે કોષવિભાજન બાદ નવા બાળકોષકેન્દ્રનું રંગસૂત્ર બનશે. આ છૂટી પડેલ રંગસૂત્રિકાઓ વિરુદ્ધ ધ્રુવ તરફ સ્થાનાંતરિત થવાની શરૂઆત કરે છે. જ્યારે પ્રત્યેક રંગસૂત્ર મધ્યાવસ્થા પટ્ટિકાથી ઘણા દૂર જવા લાગે છે ત્યારે પ્રત્યેક રંગસૂત્રના સેન્ટ્રોમિયર પોતાના ધ્રુવોની બાજુ તરફ હોય છે અને તેથી રંગસૂત્રોને ધ્રુવો તરફ દોરે લઈ જાય છે અને સાથે-સાથે રંગસૂત્રોની ભુજાઓ પણ તેની પાછળ આવે છે. (આકૃતિ 10.2 (c)).



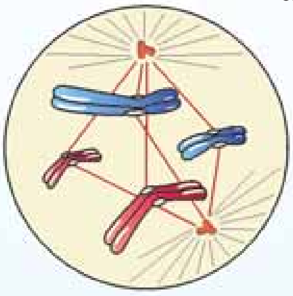
પ્રારંભિક પૂર્વાવસ્થા



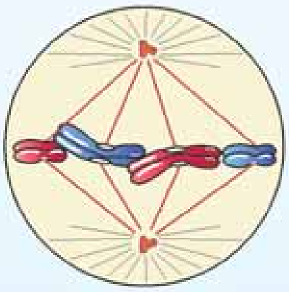
(a)

અંત્ય પૂર્વાવસ્થા

**આકૃતિ 10.2 (a) :** સમભાજનની પૂર્વાવસ્થા



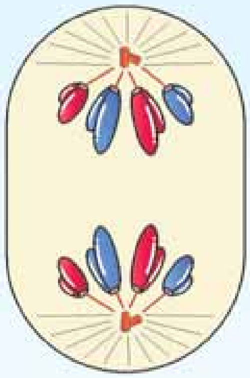
મધ્યાવસ્થા(ભાજનાવસ્થા)ની સંક્રાંતિ તરફ



(b)

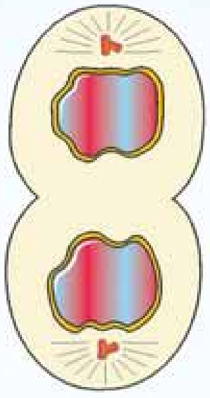
ભાજનાવસ્થા

**આકૃતિ 10.2 (b) :** સમભાજનની ભાજનાવસ્થા

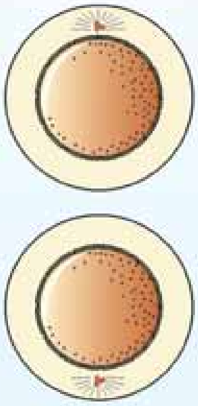


(c)
**ભાજનોત્તરાવસ્થા**

**આકૃતિ 10.2 (c) :** ભાજનોત્તરાવસ્થા



(d)
**અંત્યાવસ્થા**



(e)
**આંતરાવસ્થા**

**આકૃતિ 10.2 (c) થી (e) :** સમભાજનની અવસ્થાઓની ચિત્રાત્મક રજૂઆત

- **ભાજનોત્તરાવસ્થાની વિશિષ્ટતાઓ :**
- સેન્ટ્રોમિયરનું વિભાજન અને રંગસૂત્રિકાનું અલગીકરણ.
- રંગસૂત્રિકાઓનું વિરૂદ્ધ ધ્રુવ તરફ ખસવું.

### 10.2.4 અંત્યાવસ્થા (Telophase)

સમભાજનની અંતિમ અવસ્થાની શરૂઆતમાં એટલે કે અંત્યાવસ્થામાં રંગસૂત્રો કે જે અનુક્રમે પોતાના ધ્રુવો પર પહોંચી ગયા છે, તે વિસ્તરણ પામે છે અને પોતાની સ્વતંત્રતા ગુમાવી દે છે અને હવે તે સ્વતંત્ર રંગસૂત્ર સ્વરૂપે જોવા મળતા નથી તેના રંગસૂત્ર દ્રવ્ય બંને ધ્રુવ બાજુ એક સમૂહની જેમ એકત્રિત થઈ જાય છે. (આકૃતિ 10.2 (d)).

- અંત્યાવસ્થાની મુખ્ય વિશિષ્ટતાઓ :
- રંગસૂત્ર વિરુદ્ધ ધ્રુવો તરફ એકત્રિત થઈ જાય છે અને તે તેઓની સ્વતંત્ર ઓળખાણ ગુમાવી દે છે.
- રંગસૂત્ર સમૂહોની આજુબાજુ કોષકેન્દ્રપટલનું નિર્માણ થાય છે.
- કોષકેન્દ્રિકા, ગોલ્ગી પ્રસાધન અને ERનું પુનઃ નિર્માણ થાય છે.

### 10.2.5 કોષરસ વિભાજન (Cytokinesis)

દ્વિગુણન પામેલ રંગસૂત્રોની બાળ કોષકેન્દ્રોમાં વહેંચણી (કેરિયોકાઈનેસીસ) માત્ર દ્વારા સમભાજન પ્રક્રિયા પૂર્ણ થતી નથી, પરંતુ કોષ પોતાની જાતે કોષરસ વિભાજનથી ઓળખાતી એક બીજી પ્રક્રિયા દ્વારા બે બાળ કોષોમાં વિભાજન પામે છે, ત્યારે જ કોષવિભાજન પૂર્ણ થાય છે. (આકૃતિ 10.2 (e)).

- પ્રાણી કોષમાં વિભાજન કોષરસપટલમાં એક ઉપસંકોચન ખાંચ બને છે. જે પરિઘથી કેન્દ્ર તરફ સતત ઊંડી બનતી જાય છે અને બંને તરફની ખાંચો જ્યારે કેન્દ્રમાં એકબીજા સાથે જોડાઈ જાય છે ત્યારે કોષનો કોષરસ બે ભાગોમાં વહેંચાઈ જાય છે.
- વનસ્પતિ કોષો જે લગભગ સ્થિતિસ્થાપક કોષદીવાલથી ઘેરાયેલા હોય છે એટલે તેમાં કોષરસ વિભાજન બીજી ભિન્ન પ્રક્રિયાઓ દ્વારા પૂર્ણ થાય છે. વનસ્પતિ કોષોમાં કોષરસ વિભાજન કેન્દ્રસ્થ વિસ્તારથી શરૂ થઈને બહારની (પરિઘ) તરફ પૂર્વ સ્થિત પાર્શ્વ કોષદીવાલ સાથે જોડાઈ જાય છે. નવી કોષદીવાલનું નિર્માણ એક સાધારણ પૂર્વગામી રચનાથી પ્રારંભ થાય છે જેને **કોષપટ્ટી** કહે છે. જે બે અત્યંત નજદીક રહેલા કોષોની કોષદીવાલની વચ્ચેના મધ્યપટલને દર્શાવે છે. કોષરસ વિભાજન સમયે કોષીય અંગિકાઓ જેવી કે કણાભસૂત્ર અને રંજકકણનું બંને બાળકોષોમાં સમાન વિતરણ થઈ જાય છે. કેટલાક સજીવોમાં કોષકેન્દ્ર વિભાજન પછી કોષરસ વિભાજન થતું નથી. જેને પરિણામે એક જ કોષમાં અનેક કોષકેન્દ્રોનું સર્જન થાય છે. આવા બહુકોષકેન્દ્ર ધરાવતા કોષોને બહુકોષકેન્દ્રી કહે છે. (ઉદા., તરીકે નાળિયેરનો પ્રવાહી ભ્રૂણપોષ).

## 10.3 સમભાજનનું મહત્ત્વ (Significance of Mitosis)

સમભાજન અથવા સમસૂત્રણ માત્ર દ્વિકીય કોષો પૂરતું મર્યાદિત છે. છતાં પણ કેટલીક નિમ્ન કક્ષાની વનસ્પતિઓ અને કેટલાક વસાહતી કીટકોમાં એકકીય કોષો પણ સમભાજન દ્વારા વિભાજન પામે છે. સમભાજનનું સજીવ જીવનમાં મહત્ત્વ શું છે તેને સમજવું ખૂબ જ આવશ્યક છે. શું તમે એવા દૃષ્ટાંતથી પરિચિત છો જ્યાં તમે એકકીય અને દ્વિકીય કીટકો વિશે અભ્યાસ કર્યો હોય ?

- સમભાજન દ્વારા નિર્માણ પામેલ દ્વિકીય બાળકોષોમાં સમાન આનુવંશિક દ્રવ્ય હોય છે.
- બહુકોષી સજીવોની વૃદ્ધિ સમભાજન દ્વારા થાય છે.
- કોષીય વૃદ્ધિના પરિણામ સ્વરૂપે કોષકેન્દ્ર અને કોષરસની વચ્ચેનું પ્રમાણ અસંતુલિત થઈ જાય છે. એટલા માટે એ જરૂરી થઈ જાય છે કે કોષ, વિભાજન પામીને કોષકેન્દ્ર-કોષરસ પ્રમાણને જાળવી રાખે.
- સમવિભાજનો સૌથી મહત્ત્વનો ફાળો કોષના સમારકામનો છે. અધિચ્છદનું સૌથી બહારનું પડ, અન્નમાર્ગનું અસ્તર રચતા કોષો અને રુધિરકોષો સતત બદલાતા રહેવા જરૂરી છે.
- અગ્રસ્થ અને પાર્શ્વસ્થ એધા જેવી વર્ધનશીલ પેશીઓમાં સમભાજન દ્વારા વનસ્પતિમાં જીવન પર્યંત વૃદ્ધિ થયા કરે છે.

## 10.4 અર્ધીકરણ (Meiosis)

- લિંગી પ્રજનન દ્વારા સંતતિના નિર્માણમાં બે જન્યુઓનું સંયોજન થાય છે. દરેકમાં સંપૂર્ણતઃ એકકીય રંગસૂત્રોનું જૂથ હોય છે. વિશિષ્ટ દ્વિકીય કોષોમાંથી જન્યુઓનું નિર્માણ થાય છે. આ ખાસ પ્રકારના કોષ વિભાજનને પરિણામે રંગસૂત્રોની સંખ્યા બાળકોષોમાં અડધી થતા એકકીય બાળકોષનું નિર્માણ થાય છે. આવા પ્રકારના વિભાજનને **અર્ધીકરણ** કહે છે.
- લિંગી પ્રજનન કરતાં સજીવોનાં જીવનચક્રમાં અર્ધીકરણ દ્વારા એકકીય અવસ્થા ઉત્પન્ન થાય છે જ્યારે ફલન દ્વારા દ્વિકીય અવસ્થા પુનઃપ્રાપ્ત થાય છે. વનસ્પતિ અને પ્રાણીઓમાં જન્યુજનન દરમિયાન અર્ધીકરણ થાય છે. જેના ફળસ્વરૂપે એકકીય જન્યુ સર્જન થાય છે.
- **અર્ધીકરણની મુખ્ય વિશિષ્ટતાઓ :**
- અર્ધીકરણમાં કોષકેન્દ્ર તેમજ કોષવિભાજનના બે ક્રમિક ચક્રો સંકળાયેલા છે. જેમ કે **અર્ધીકરણ-I** અને **અર્ધીકરણ-II** પરંતુ DNAનું સ્વયંજનન એક જ વખત થાય છે.
- S તબક્કામાં માતૃ રંગસૂત્રના સ્વયંજનનથી ઉદ્‌ભવતી બે સમરૂપ લાક્ષણિક રંગસૂત્રિકાઓના નિર્માણ સાથે અર્ધીકરણ-Iની શરૂઆત થાય છે.
- અર્ધીકરણ દરમિયાન સમજાત રંગસૂત્રોની જોડીઓ બને છે અને તેઓની વચ્ચે પુનઃ સંયોજન થાય છે.
- અર્ધીકરણ-IIના અંતમાં ચાર એકકીય કોષોનું સર્જન થાય છે.
- અર્ધીકરણને નીચેની અવસ્થાઓમાં વર્ગીકૃત કરવામાં આવેલ છે :

| **અર્ધીકરણ - I** | **અર્ધીકરણ - II** |
|---|---|
| પૂર્વાવસ્થા - I | પૂર્વાવસ્થા - II |
| ભાજનાવસ્થા - I | ભાજનાવસ્થા - II |
| ભાજનોત્તરાવસ્થા - I | ભાજનોત્તરાવસ્થા - II |
| ભાજનાન્તિમાવસ્થા - I | ભાજનાન્તિમાવસ્થા - II |

### 10.4.1 અર્ધીકરણ - I (Meiosis I)

**પૂર્વાવસ્થા - I (Prophase I) :**

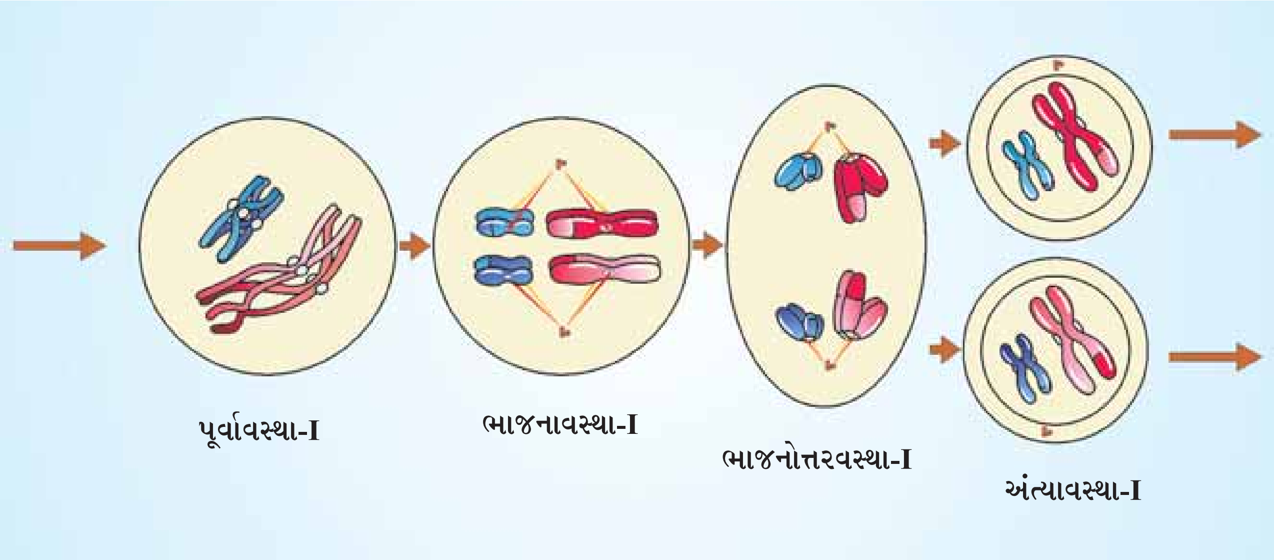
સમવિભાજનની પૂર્વાવસ્થાની સરખામણીએ અર્ધીકરણ - Iની પૂર્વાવસ્થા સ્પષ્ટ રીતે લાંબી અને વધુ જટિલ છે. રંગસૂત્રોની વર્તણૂંકના આધારે તેને ફરીથી પાંચ ઉપ અવસ્થાઓમાં વિભાજીત કરવામાં આવેલ છે જેમ કે, લેપ્ટોટીન, ઝાયગોટીન, પેકિટિન, ડિપ્લોટીન અને ડાયકાઇનેસિસ.

**લેપ્ટોટીન** અવસ્થા દરમિયાન રંગસૂત્રો ધીરે-ધીરે સ્પષ્ટ બનતા માઇક્રોસ્કોપ દ્વારા જોઈ શકાય છે. રંગસૂત્રોનું ઘનીકરણ સમગ્ર લેપ્ટોટીન અવસ્થા દરમિયાન ચાલુ જ રહે છે. આ દરમિયાન હવે પૂર્વાવસ્થા - Iની બીજી પેટા અવસ્થાની શરૂઆત થાય છે જેને આપણે **ઝાયગોટીન** કહીએ છીએ. આ અવસ્થા દરમિયાન રંગસૂત્રોની લંબાઈને અનુરૂપ જોડીઓ બનવા માંડે છે, જેને **સાયનેપ્સિસ** પણ કહે છે. આવા પ્રકારની રંગસૂત્રોની જોડીઓને સમજાત રંગસૂત્રો કહે છે. આ અવસ્થાનો ઈલેક્ટ્રૉનમાઇક્રોગ્રાફ એ બતાવે છે કે રંગસૂત્રીય સાયનેપ્સિસ એક જટિલ સંરચનાનું નિર્માણ કરે છે જેને સિનેપ્ટોનિમલ સંકુલ કહે છે. આ સંકુલનું નિર્માણ જોડમાં રહેલા સમજાત રંગસૂત્રો દ્વારા થાય છે. જેને **દ્વિસૂત્રી** કે ચતુઃસૂત્રી કહે છે. જો કે તે આગળની અવસ્થામાં વધુ સ્પષ્ટ જોઈ શકાય છે. પૂર્વાવસ્થા - Iની ઉપર વર્ણવેલ બંને અવસ્થાઓ **પેકિટિન** અવસ્થા કરતાં સરેરાશ ટૂંકા સમય સુધી ચાલે છે. આ અવસ્થા દરમિયાન દ્વિસૂત્રી રંગસૂત્રો સ્પષ્ટપણે ચતુઃસૂત્રી દેખાય છે. પુનઃ સંયોજિત ઘંઠિકાઓનું દશ્યમાન થવું તે આ અવસ્થાની લાક્ષણિકતા છે. સમજાત રંગસૂત્રોના ભિન્ન બે એકલસૂત્રો વચ્ચે વ્યતિકરણ થાય છે. વ્યતિકરણ એટલે બે સમજાત રંગસૂત્રો વચ્ચે જનીન દ્રવ્યની અદલાબદલી. વ્યતિકરણ ઉત્સેચક દ્વારા નિયંત્રિત પ્રક્રિયા પણ છે અને ઉત્સેચક આ પ્રક્રિયામાં ભાગ લે છે તેને રિકોમ્બીનેઝ કહે છે. વ્યતિકરણ દ્વારા બે રંગસૂત્રોની પર જનીનોનું પુનઃ સંયોજન થાય છે. સમજાત રંગસૂત્રો વચ્ચે પુનઃ સંયોજન પેકિટિન અવસ્થાના અંત સુધીમાં પૂર્ણ થઈ જાય છે. જેના ફળસ્વરૂપે વ્યતિકરણના સ્થાને રંગસૂત્રો જોડાયેલા દેખાય છે.

**ડિપ્લોટીન**ની શરૂઆતમાં સિનેપ્ટોનીમલ સંકુલનું વિઘટન થઈ જાય છે અને દ્વિસૂત્રી સમજાત રંગસૂત્ર એકમેકથી દૂર ખસવાની શરૂઆત થાય છે પરંતુ જે સ્થળે વ્યતિકરણ થયુ હોય તે-તે સ્થળે હજુ પણ જોડાણ જળવાઈ રહે છે. વ્યતિકરણ સ્થળે X આકારની રચનાને **સ્વસ્તિક ચોકડી** કહે છે. કેટલાક પૃષ્ઠવંશી પ્રાણીઓના અંડકોમાં ડિપ્લોટીન અવસ્થા મહિનાઓ કે વર્ષો સુધી ચાલે છે.

અર્ધીકરણ પૂર્વાવસ્થા - Iની અંતિમ અવસ્થા **ડાયકાઈનેસિસ** તરીકે ઓળખાય છે. જેમાં સ્વસ્તિક ચોકડીઓ દૂર થઈ જાય છે. આ અવસ્થામાં રંગસૂત્રનું ઘનીકરણ પૂર્ણ કક્ષાએ પહોંચે છે અને સમજાત રંગસૂત્રોને છૂટા પાડતા દ્વિધ્રુવીયત્રાકનું નિર્માણ થાય છે. ડાયકાઈનેસિસના અંતમાં કોષકેન્દ્રિકા લુપ્ત થાય છે અને કોષકેન્દ્રપટલનું પણ વિઘટન થાય છે. ડાયકાઈનેસિસ એ ભાજનાવસ્થા - Iની શરૂઆત કરે છે.

**ભાજનાવસ્થા - I (Metaphase I) :** દ્વિસૂત્રી રંગસૂત્રો કોષના વિષુવવૃત્તીય તલમાં જોડીઓ સ્વરૂપે ગોઠવાય છે. (આકૃતિ 10.3) વિરૂદ્ધ ધ્રુવોનાં ત્રાકતંતુની સૂક્ષ્મનલિકાઓ પ્રત્યેક સમજાત રંગસૂત્રોની જોડ સાથે સ્વતંત્ર પણે જોડાઈ જાય છે.




**આકૃતિ 10.3 :** અર્ધીકરણ - Iના વિવિધ તબક્કાઓ

**ભાજનોત્તરાવસ્થા - I (Anaphase I) :** ભાજનોત્તરાવસ્થા - I દરમિયાન સમજાત રંગસૂત્રો છૂટા પડે છે જ્યારે દોહિત્ર રંગસૂત્રિકાઓ તેના સેન્ટ્રોમિયરથી જોડાયેલ રહે છે. (આકૃતિ 10.3).

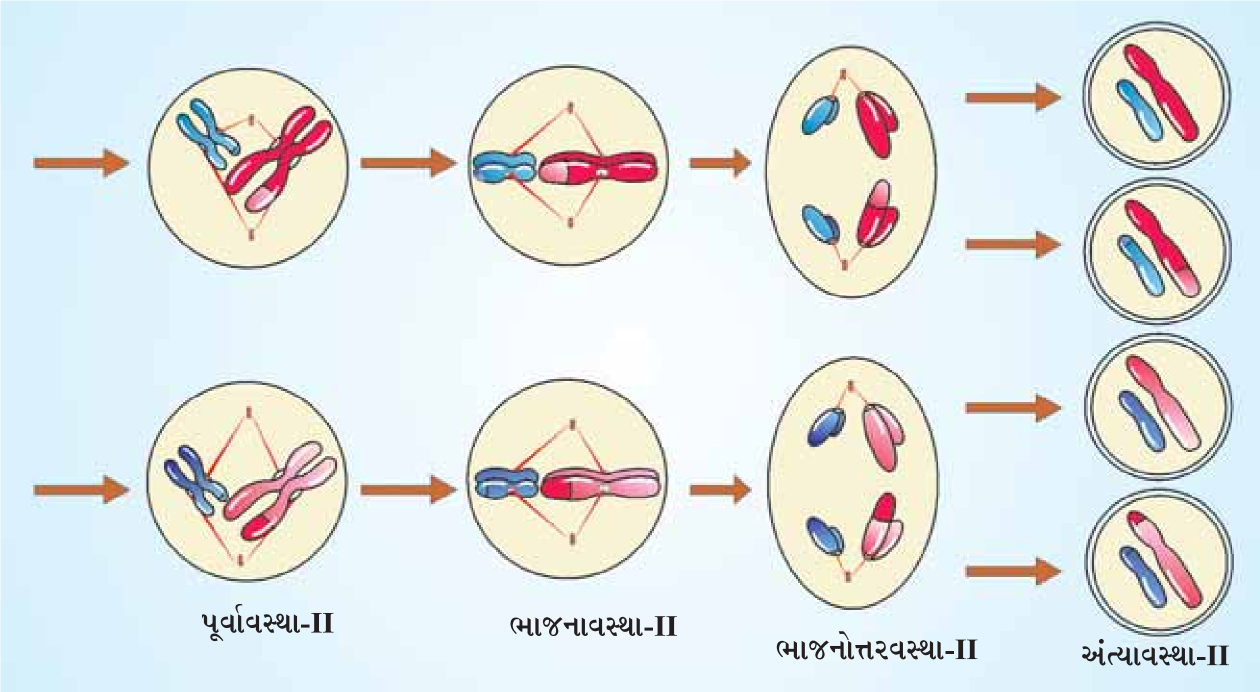
**અંત્યાવસ્થા - I (Telophase I) :** આ અવસ્થામાં કોષકેન્દ્રપટલ તેમજ કોષકેન્દ્રિકા પુનઃ નિર્માણ પામે છે. કોષરસવિભાજનની શરૂઆત થઈ જાય છે અને કોષની આ અવસ્થાને કોષદ્વિક (Dyad) કહે છે. (આકૃતિ 10.3). કેટલાક કિસ્સામાં રંગસૂત્રનો થોડો વિક્ષેપ પડે છે આથી તે આંતરાવસ્થાના કોષકેન્દ્રમાં સંપૂર્ણપણે ફેલાયેલા જોવા મળતા નથી. બે ક્રમિક અર્ધીકરણની અવસ્થા વચ્ચેના ગાળાને (તબક્કાને) ઈન્ટરકાઈનેસિસ કે આંતરકોષવિભાજન કહે છે અને તે સામાન્ય રીતે ખૂબ જ ટૂંકા ગાળાની હોય છે. આંતર કોષ વિભાજન પૂર્વાવસ્થા - IIને અનુસરે છે જે પૂર્વાવસ્થા - I કરતાં ખૂબ જ સરળ તબક્કો છે.

### 10.4.2 અર્ધીકરણ - II (Meiosis II)

**પૂર્વાવસ્થા - II (Prophase II) :** કોષરસ વિભાજન પછી તરત જ અર્ધીકરણ - IIની શરૂઆત થાય છે, કે જે પહેલાં રંગસૂત્રો પૂર્ણ લંબાયેલા હોતા નથી. અર્ધીકરણ - Iથી વિપરિત અર્ધીકરણ - II સામાન્ય રીતે સમભાજન જેવું જ હોય છે. પૂર્વાવસ્થા- IIના અંત સુધીમાં કોષકેન્દ્રપટલ અદશ્ય થઈ જાય છે. (આકૃતિ 10.4) રંગસૂત્રો ફરીથી વધુ ઘટ્ટ બને છે.

**ભાજનાવસ્થા - II (Metaphase II) :** આ અવસ્થામાં રંગસૂત્રો વિષુવવૃત્તીય તલ પર ગોઠવાય છે અને વિરુદ્ધ ધ્રુવોના ત્રાકતંતુની સૂક્ષ્મનલિકાઓ રંગસૂત્રિકાઓના કાઈનેટોકોર્સ સાથે જોડાઈ જાય છે. (આકૃતિ 10.4).

**ભાજનોત્તરાવસ્થા - II (Anaphase II) :** દરેક રંગસૂત્રના સેન્ટ્રોમિયરનાં ક્રમશઃ વિભાજનથી ભાજનોત્તરાવસ્થા -IIની શરૂઆત થાય છે. રંગસૂત્રના છૂટા પડેલ બે એકલસૂત્રો કે જે સેન્ટ્રોમિયરયુક્ત હોય છે. તે પરસ્પર વિરુદ્ધ ધ્રુવો તરફ ખસે છે (આકૃતિ 10.4).




**આકૃતિ 10.4 :** અર્ધીકરણ - IIની વિવિધ અવસ્થાઓ

**અંત્યાવસ્થા - II (Telophase II) :** આ અવસ્થા અર્ધીકરણની અંતિમ અવસ્થા છે. જેમાં રંગસૂત્રના બે સમૂહ ફરીથી કોષકેન્દ્રપટલ દ્વારા વિંટળાય છે. કોષરસ વિભાજન પછી ચાર એકકીય બાળકોષોનું સર્જન થાય છે. (આકૃતિ 10.4).

## 10.5 અર્ધીકરણનું મહત્ત્વ (Significance of Meiosis)

રંગસૂત્રની સંખ્યા અડધી થઈ જતી હોવા છતાં, અર્ધીકરણ એ એવી વિશિષ્ટ પ્રક્રિયા છે કે જેમાં લિંગી પ્રજનન કરતાં સજીવોની દરેક જાતિમાં રંગસૂત્રોની નિશ્ચિત સંખ્યા જે તે જાતિ પ્રમાણે જળવાઈ રહે છે. અર્ધીકરણ દ્વારા સજીવોની વસતીમાં પેઢી દર પેઢી જનીનિક ભિન્નતામાં પણ વધારો થાય છે. ઉદ્‌વિકાસની પ્રક્રિયા માટે આવી ભિન્નતાઓ ખૂબ જ મહત્ત્વની છે.

### સારાંશ

કોષવાદ મુજબ પૂર્વ અસ્તિત્વ ધરાવતા કોષમાંથી નવા કોષોનું સર્જન થાય છે. આ પ્રક્રિયાને કોષવિભાજન કહે છે. લિંગી પ્રજનન કરતાં કોઈ પણ સજીવના જીવનની શરૂઆત એક કોષીય યુગ્મનજમાંથી થાય છે. કોષવિભાજન સજીવોનાં પુખ્ત થયા પછી પણ અટકતું નથી. પરંતુ તે જીવનભર

ચાલ્યા કરે છે. એ અવસ્થાઓ જેના અંતર્ગત કોષ એક વિભાજનથી બીજા વિભાજન તરફ પસાર થાય છે તેને કોષચક્ર કહે છે. કોષચક્રમાં બે અવસ્થાઓ હોય છે. (1) આંતરાવસ્થા - કોષવિભાજનની તૈયારી માટેની અવસ્થા તથા (2) રંગસૂત્રીય વિભાજન : કોષીયવિભાજનનો વાસ્તવિક સમયગાળો.

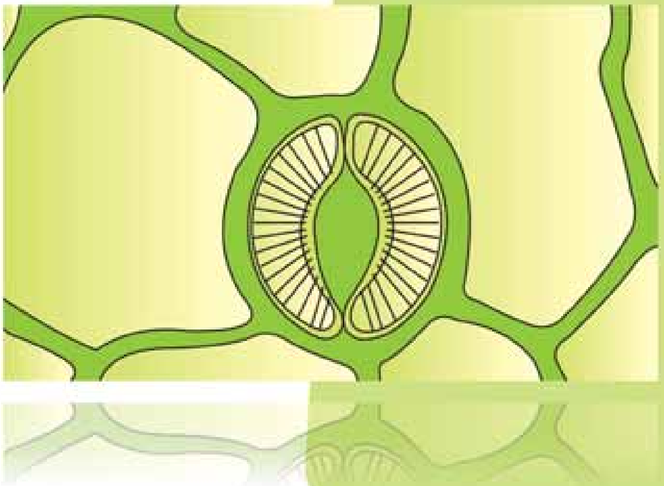
આંતરાવસ્થા પછીથી $G_1$, S અને $G_2$ જેવી પેટા અવસ્થાઓમાં વિભાજિત થાય છે. $G_1$ અવસ્થામાં કોષ સામાન્ય ચયાપચયી ક્રિયાઓને પૂર્ણ કરીને વૃદ્ધિ કરે છે. આ અવસ્થામાં મુખ્યત્વે અંગિકાઓનું દ્વિગુણન થાય છે. S અવસ્થામાં DNAનું સ્વયંજનન અને રંગસૂત્રોનું દ્વિગુણન થાય છે. $G_2$ અવસ્થામાં કોષરસીય વૃદ્ધિ થાય છે. સમભાજનને ચાર અવસ્થાઓમાં વિભાજિત કરવામાં આવેલ છે. જેમ કે પૂર્વાવસ્થા, ભાજનાવસ્થા, ભાજનોત્તરાવસ્થા અને અંત્યાવસ્થા. પૂર્વાવસ્થામાં રંગસૂત્રોનું સંકોચન થવા લાગે છે. સાથે-સાથે તારાકેન્દ્ર વિરુદ્ધ ધ્રુવો તરફ ગતિ કરે છે. કોષકેન્દ્રિકા તેમજ કોષકેન્દ્રપટલ અદૃશ્ય થાય છે. ત્રાકતંતુઓનું નિર્માણ શરૂ થઈ જાય છે. ભાજનાવસ્થામાં રંગસૂત્ર મધ્યપટ્ટિકા પર ગોઠવાઈ જાય છે. ભાજનોત્તરાવસ્થા દરમિયાન સેન્ટ્રોમિયર વિભાજિત થઈ જાય છે અને એકલ સૂત્રો વિરુદ્ધ ધ્રુવો તરફ સેન્ટ્રોમિયર સહિત ખસવાનું શરૂ કરે છે. એક વાર એકલસૂત્રોના વિરુદ્ધ ધ્રુવો તરફ પહોંચ્યા પછી રંગસૂત્રોની લંબાઈમાં વધારો થવાનું શરૂ થાય છે. જે અવસ્થામાં કોષકેન્દ્રિકા તેમજ કોષકેન્દ્રપટલનું પુનઃ નિર્માણ થાય છે. તેને અંત્યાવસ્થા કહેવાય છે. કોષકેન્દ્ર વિભાજન પૂર્ણ થયા બાદ કોષરસ વિભાજનની શરૂઆત થાય છે. તેને કોષરસ વિભાજન કહે છે. સમભાજન દ્વારા બાળ કોષોમાં પિતૃકોષો જેટલી જ રંગસૂત્રોની સંખ્યા સરખી રહે છે.

સમભાજનથી વિપરીત, અર્ધીકરણ એવા દ્વિકીયકોષોમાં થાય છે, કે જે જન્યુના નિર્માણ સાથે સંકળાયેલા હોય છે. આ વિભાજનને અર્ધસૂત્રણ પણ કહે છે, કારણ કે આ વિભાજન દ્વારા નિર્માણ પામતા જન્યુમાં રંગસૂત્રોની સંખ્યા અડધી થઈ જાય છે. લિંગી પ્રજનનમાં જન્યુઓના જોડાણ દ્વારા રંગસૂત્રોની સંખ્યા માતૃ જેટલી જ જળવાય છે. અર્ધીકરણને બે અવસ્થાઓમાં વિભાજિત કરવામાં આવેલ છે, અર્ધીકરણ - I અને અર્ધીકરણ - II પ્રથમ અર્ધીકરણમાં સમજાત રંગસૂત્રો જોડી બનાવી દ્વિયુગ્મી બને છે અને વ્યતિકરણમાંથી પસાર થાય છે. અર્ધીકરણ - Iની પૂર્વાવસ્થા લાંબી હોય છે. તે પાંચ પેટા અવસ્થાઓમાં વિભાજિત કરવામાં આવેલ છે. જેમ કે, લેપ્ટોટીન, ઝાયગોટીન, પેકિટિન, ડિપ્લોટીન અને ડાયકાઇનેસિસ. ભાજનાવસ્થા - I દરમિયાન રંગસૂત્રોના જોડકા મધ્યાવસ્થા પટ્ટિકા પર ગોઠવાઈ જાય છે. ત્યારબાદ ભાજનોત્તરાવસ્થા - Iમાં સમજાત રંગસૂત્રો પોતાના બંને એકલસૂત્રો સાથે વિરુદ્ધ ધ્રુવ તરફ ગતિ કરે છે. પ્રત્યેક ધ્રુવ માતૃકોષની સરખામણીમાં અડધા રંગસૂત્રો મેળવે છે. અંત્યાવસ્થા - I દરમિયાન કોષકેન્દ્રિકા તેમજ કોષકેન્દ્રપટલ પુનઃ દૃશ્યમાન થાય છે. અર્ધીકરણ - II એ સમભાજન જેવું જ હોય છે. ભાજનોત્તરાવસ્થા - II દરમિયાન એકલસૂત્રો પરસ્પર અલગ થઈ જાય છે. આ પ્રકારે અર્ધીકરણને અંતે ચાર એકકીય કોષોનું સર્જન થાય છે.

## સ્વાધ્યાય

1. સસ્તનના કોષનો સરેરાશ કોષચક્ર સમયગાળો કેટલો હોય છે ?
2. કોષરસ વિભાજન અને કોષકેન્દ્ર વિભાજનમાં શું ભેદ હોય છે ?
3. આંતરાવસ્થામાં થતી ઘટનાઓનું વર્ણન કરો.
4 કોષચક્રની $G_0$ (શાંત અવસ્થા) શું છે ?

5. સમભાજનને સમસૂત્રીભાજન શા માટે કહે છે ?
6. કોષચક્રની અવસ્થાઓના નામ જણાવો કે જેમાં નીચેની ઘટનાઓ થાય છે :
   (i) રંગસૂત્રો ત્રાક મધ્યરેખા તરફ ગતિ કરે છે.
   (ii) સેન્ટ્રોમિયરનું વિભાજન અને રંગસૂત્રિકાનું છૂટા પડવું.
   (iii) સમજાત રંગસૂત્રોની એકબીજા સાથે જોડી રચાવી.
   (iv) સમજાત રંગસૂત્રોની વચ્ચે વ્યતિકરણ થવું.
7. નીચે આપેલાનું વર્ણન કરો :
   (a) સાયનેપ્સિસ (b) દ્વિયુગ્મી (c) સ્વસ્તિક ચોકડીઓ
   તમારો જવાબ સમજાવવા માટે આકૃતિ દોરો.
8. વનસ્પતિ કોષમાં થતું કોષરસ વિભાજન પ્રાણી કોષમાં થતા કોષરસ વિભાજનથી કઈ રીતે અલગ પડે છે ?
9. અર્ધીકરણના અંતે નિર્માણ પામતા ચાર બાળકોષો શેમાં સમાન કદનાં અને શેમાં અસમાન (ભિન્ન) કદનાં હોય છે ? ઉદાહરણ શોધો.
10. સમભાજનની ભાજનાવસ્થા અને અર્ધીકરણની ભાજનાવસ્થા - Iમાં ભેદ જણાવો.
11. સમભાજન અને અર્ધીકરણમાં જોવા મળતાં મુખ્ય ભેદની સૂચી બનાવો.
12. અર્ધીકરણનું મહત્ત્વ શું છે ?
13. તમારા શિક્ષક સાથે નીચેના મુદ્દાની ચર્ચા કરો :
   (i) એકકીય કીટકો અને નિમ્ન વનસ્પતિમાં જ્યાં કોષવિભાજન થાય છે અને
   (ii) ઉચ્ચ કક્ષાની વનસ્પતિનાં કેટલાક એકકીય કોષો કે જેમાં કોષવિભાજન થતું નથી.
14. શું S અવસ્થામાં DNAના સ્વયંજનન વગર સમભાજન થઈ શકે છે ?
15. શું કોષવિભાજન વગર DNAનું સ્વયંજનન થઈ શકે છે ?
16. કોષવિભાજનની પ્રત્યેક અવસ્થાઓ દરમિયાન થતી ઘટનાઓનું વિશ્લેષણ કરો અને ધ્યાન રાખો કે નીચે આપેલા બે પરિમાણો કેવી રીતે બદલાય છે :
   (i) પ્રત્યેક કોષમાં રંગસૂત્ર સંખ્યા (N)
   (ii) પ્રત્યેક કોષમાં DNAની માત્રા (C)



# એકમ 4
# વનસ્પતિ દેહધર્મવિદ્યા (Plant Physiology)


**પ્રકરણ 11**
વનસ્પતિઓમાં વહન

**પ્રકરણ 12**
ખનીજ પોષણ

**પ્રકરણ 13**
ઉચ્ચકક્ષાની વનસ્પતિઓમાં પ્રકાશસંશ્લેષણ

**પ્રકરણ 14**
વનસ્પતિઓમાં શ્વસન

**પ્રકરણ 15**
વનસ્પતિ વૃદ્ધિ અને વિકાસ


જીવવિજ્ઞાનના પરિપ્રેક્ષ્યોને સ્પષ્ટ, અસમાધાનીય રીતે બે અંત્યો તરીકે ઘણા સમયગાળાથી સજીવોની સંરચના અને ભિન્નતા અનુસાર વર્ણવેલા છે. સજીવ સ્વરૂપો અને ઘટનાઓના આયોજનીય બે સ્તરો સિવાય બે આવશ્યક પરિપ્રેક્ષ્યો છે. એક જીવંત તરીકે વર્ણવાય અને આયોજન સ્તર પ્રમાણે વર્ણવાય, જ્યારે બીજાને કોષીય અને આણ્વીય સ્તરના આયોજન પ્રમાણે વર્ણવાય છે. પ્રથમ, પરિસ્થિતિકીય અને સંબંધિત નિયમોને અનુસરે છે. બીજા, દેહધાર્મિક અને જૈવ રાસાયણિકમાં પરિણમે છે. સપુષ્પી વનસ્પતિઓમાં દેહધાર્મિક ક્રિયાઓનું વર્ણન એક ઉદાહરણ તરીકે આ એકમના પ્રકરણોમાં આપેલું છે. વનસ્પતિઓની ખનીજ પોષણની પ્રક્રિયાઓ, પ્રકાશસંશ્લેષણ, વહન, શ્વસન અને છેવટે વનસ્પતિ વૃદ્ધિ અને વિકાસનું વર્ણન આણ્વીય સ્તરે વર્ણવેલ છે તથા પરંતુ કોષીય સંદર્ભે થતી પ્રવૃત્તિઓ અને સજીવ સ્તરે પણ વર્ણવેલ છે. પર્યાવરણ સંબંધિત હોય તેવી આનુષાંગિક દેહધાર્મિક પ્રક્રિયાઓ પણ વર્ણવેલ છે.

**મૅલ્વિન કૅલ્વિન**
**(Melvin Calvin)**
**(1911-1997)**

મેલ્વિન કેલ્વિનનો જન્મ એપ્રિલ 1911માં મિનેસોટા (યુ.એસ.એ.)માં થયો હતો અને તેમણે મિનસોટા વિશ્વવિદ્યાલયમાંથી રસાયણશાસ્ત્રમાં Ph.Dની પદવી પ્રાપ્ત કરી. તેમણે બાર્કલેમાં આવેલી કેલિફોર્નિયા યુનિવર્સિટીના રસાયણશાસ્ત્રના વિભાગમાં પ્રોફેસરના પદ પર સેવાઓ આપી હતી.

દ્વિતીય વિશ્વયુદ્ધ પછી, જ્યારે સમગ્ર વિશ્વ હિરોશિમા-નાગાસાકીના વિસ્ફોટની ઘટના રેડિયો ઍક્ટિવના વિકિરણોના દુષ્પ્રભાવને જોઈને દુ:ખથી સ્તબ્ધ હતું, ત્યારે મૅલ્વિન અને તેમના સાથીદારોએ રેડિયો ઍક્ટિવિટીના લાભદાયક ઉપયોગોને રજૂ કર્યા. તેઓએ જે. એ. બાસામની સાથે મળીને લખેલ પ્રવિધિથી નિર્મિત $C^{14}$ની મદદથી બનાવેલ કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ, પાણી અને ખનીજ તત્ત્વો જેવાં કાચા પદાર્થો (Raw material)ની મદદથી લીલી વનસ્પતિમાં શર્કરા બનાવવાની પ્રક્રિયાનો અભ્યાસ કર્યો. મેલ્વિને સાબિત કર્યું કે વનસ્પતિઓ પ્રકાશ-ઊર્જાને રાસાયણિક ઊર્જામાં પરિવર્તિત કરે છે. જેના માટે એક રંજકદ્રવ્ય અણુઓના સંગઠિત સમૂહ અને અન્ય તત્ત્વોમાં એક ઈલેક્ટ્રૉનનું સ્થળાંતરણ કરે છે. પ્રકાશસંશ્લેષણમાં કાર્બનના સ્વાંગીકરણના પરિપથનું પ્રતિચિત્રણ કરવા માટે તેઓને 1961માં નોબલ પુરસ્કાર પ્રાપ્ત થયો.

મેલ્વિન દ્વારા પ્રસ્થાપિત કરેલ પ્રકાશસંશ્લેષણનો સિદ્ધાંત, આજે પણ પુનઃ પ્રાપ્ય ઊર્જાના સ્ત્રોત, પદાર્થો અને સૌર-ઊર્જા અંગેના પાયાના અભ્યાસ માટે ઉપયોગમાં લેવામાં આવે છે.

# પ્રકરણ 11

# વનસ્પતિઓમાં વહન (Transport in Plants)

*11.1 વહનનો અર્થ*

*11.2 વનસ્પતિઓના જલસંબંધો*

*11.3 લાંબા અંતર સુધી પાણીનું વહન*

*11.4 બાષ્પોત્સર્જન (ઉત્સ્વેદન)*

*11.5 ખનીજ પોષકદ્રવ્યોનું ઉર્ધ્વગ્રહણ તેમજ વહન*

*11.6 અન્નવાહકમાં વહન : ઉદ્ભવથી જરૂરિયાત સમૂહ સુધીનો પ્રવાહ*

શું તમને કદી આશ્ચર્ય થતું નથી કે વૃક્ષોના ટોચના ભાગ સુધી પાણી કેવી રીતે પહોંચી શકે છે ? અથવા તો આ વાત માટેના પદાર્થ એક કોષથી બીજા કોષની તરફ કેવી રીતે અને શા માટે આગળ વધે છે અને આ પદાર્થ સમાન રીતે જ એક દિશામાં વહે છે ? શું આ તત્ત્વોને આગળ વધારવા માટે ચયાપચયની ઊર્જાની આવશ્યકતા હોય છે ? વનસ્પતિઓને, પ્રાણીઓની સાપેક્ષે વધારે દૂર સુધી અણુઓને લઈ જવાની જરૂરિયાત હોય છે. જો કે તેઓમાં કોઈ પણ પ્રકારનું પરિવહન તંત્ર હોતું નથી. મૂળ દ્વારા મેળવાયેલ પાણી વનસ્પતિઓના બધા ભાગો સુધી પહોંચે છે; જે વૃદ્ધિ પામતા પ્રકાંડના અગ્ર ભાગ સુધી વહન પામે છે. પર્ણો દ્વારા થતા પ્રકાશસંશ્લેષણના પરિણામરૂપે ઉત્પન્ન થયેલ ઉત્પાદન કે નીપજો પણ વનસ્પતિઓના બધા અંગો સુધી પહોંચે છે અને ભૂમિની કે જમીનની ઊંડાઈમાં મૂલાગ્ર સુધી પણ પહોંચે છે. આ વહનશીલતા ટૂંકા અંતર સુધી, કોષની અંદર કે પટલીય સંરચનાની આરપાર અને પેશીને અંતર્ગત એક કોષથી બીજા કોષ સુધી જોવા મળે છે. વૃક્ષો અને છોડમાં થતું આ પરિવહનની રીતને સમજવા માટે, આપણે સૌથી પહેલા કોષની આધારભૂત રચના અને વનસ્પતિઓની શરીર રચના વિજ્ઞાનના વિષયમાં મૂળભૂત જાણકારીને ફરી યાદ કરીએ અને તેની સાથે આપણે પ્રસરણ, પદાર્થોની રાસાયણિક સ્થિતિ તેમજ આયનોના વિશે જાણકારી પણ મેળવવી પડશે.

જ્યારે આપણે પદાર્થોના વહનની વાત કરીએ છીએ તો સૌથી પહેલાં આપણે તેની વ્યાખ્યા કરવી જરૂરી છે કે આપણે કયા પ્રકારની ગતિ કે વહનની અને કયા પદાર્થોની ચર્ચા કરી રહ્યાં છીએ ? સપુષ્પી વનસ્પતિઓમાં જે પદાર્થોનું વહન થાય છે, તેઓમાં પાણી, ખનીજ પોષકતત્ત્વો, કાર્બનિક પોષક પદાર્થો તેમજ વનસ્પતિઓના વૃદ્ધિ નિયામકો (વનસ્પતિ અંતઃસ્રાવો = ફાયટોહોર્મોન) મુખ્ય હોય છે. ટૂંકા અંતર સુધી પદાર્થોનું વહન પ્રસરણ, તેમજ કોષરસ પ્રવાહના સક્રિય વહનની મદદથી થઈ શકે છે. લાંબા અંતરના વહન માટે સંવહનીય તંત્ર (જલવાહક અને અન્નવાહક) દ્વારા થાય છે અને આને **સ્થળાંતર (Translocation)** કહે છે.

એક અગત્યની બાબત પર ધ્યાન રાખવું આવશ્યક છે; જે વહનની દિશા છે. મૂળ ધરાવતી વનસ્પતિઓમાં જલવાહક પેશી દ્વારા વહન (પાણી અને ખનીજ પોષકતત્ત્વોનું) હંમેશાં મૂળથી પ્રકાંડ એમ એક દિશામાં થાય છે, જે મૂળથી પ્રકાંડ તરફ હોય છે. પરંતુ કાર્બનિક ઘટકો તથા ખનીજ-

તત્ત્વોનું વહન બહુદિશીય હોય છે. પ્રકાશસંશ્લેષિત પર્ણો દ્વારા સંશ્લેષિત કાર્બનિક સંયોજનોને વનસ્પતિના બધા અંગો, જેમાં તેઓનો સંગ્રહ થાય છે, તેમજ અન્ય અંગો સુધી પહોંચાડવામાં આવે છે. ત્યારબાદ અંગોમાં સંગ્રહ પામેલા દ્રવ્યોનું પુનઃવહન કરવામાં આવે છે. મૂળ દ્વારા વનસ્પતિઓ ખનીજ પોષકતત્ત્વોને મેળવે જે, આ દ્રવ્યોને પ્રકાંડમાંથી પર્ણો તરફ તેમજ વૃદ્ધિ પામતાં વિસ્તારો સુધી મોકલવામાં આવે છે. જ્યારે વનસ્પતિનો કોઈ ભાગ જીર્ણ અવસ્થા કે વૃદ્ધાવસ્થા કે વાર્ધક્ય પ્રાપ્ત કરે છે ત્યારે તે વિસ્તારના પોષક દ્રવ્યોને પાછા મેળવીને વૃદ્ધિ પામતા વિસ્તારોની તરફ તેઓને મોકલવામાં આવે છે. અંતઃસ્રાવો કે વનસ્પતિ વૃદ્ધિ નિયામકો અને અન્ય રાસાયણિક ઉત્તેજક પદાર્થનું પણ વહન કરાય છે. જો કે તેઓની માત્રા ખૂબ જ ઓછી હોય છે. ઘણીવાર તેઓ ધ્રુવીય કે એક દિશીય વહન પામે છે અને સંશ્લેષિત સ્થાનથી બીજા ભાગો તરફ વહન થાય છે. આમ એક સપુષ્પીય વનસ્પતિઓમાંના સંયોજનોનું આવાગમન ખૂબ જ જટિલ (પરંતુ મોટે ભાગે ખૂબ જ ક્રમિક) અને વિવિધ દિશાઓમાં થાય છે. પ્રત્યેક અંગ કેટલાક પદાર્થો મેળવે છે અને કેટલાક પદાર્થોને દૂર કરે છે.

## 11.1 વહનના પ્રકારો (Means of Transport)

### 11.1.1 પ્રસરણ (Diffusion)

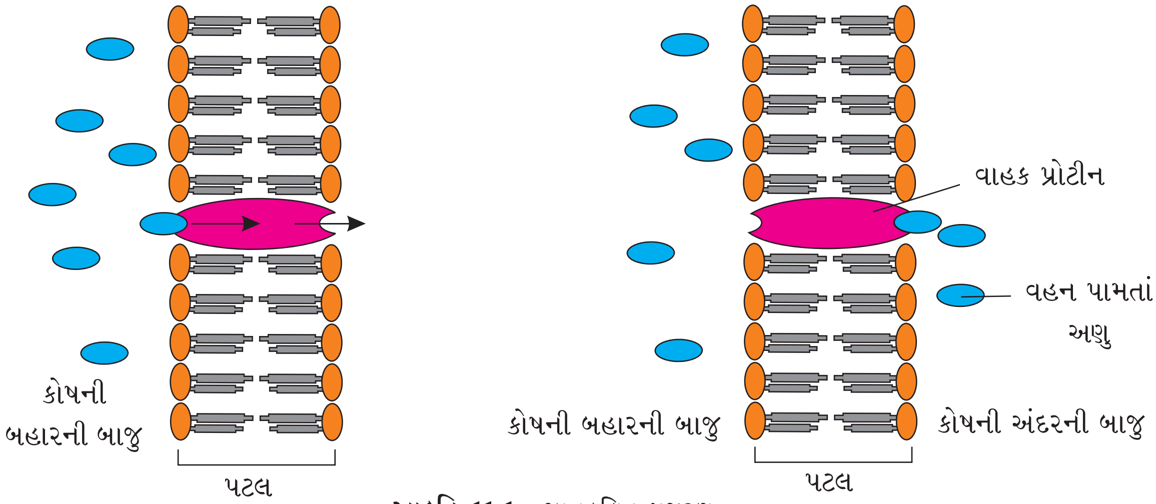
**પ્રસરણ** દ્વારા વહન નિષ્ક્રીય રીતે થાય છે અને તે કોષના એક ભાગમાંથી બીજા ભાગ સુધી કે બીજા કોષ સુધી કે અન્ય કોષ સુધી વહન થાય છે જેને ટૂંકાં અંતરનું કે નિષ્ક્રીય વહન કહી શકાય છે. જે પર્ણોના આંતરકોષીય સ્થાનથી બાહ્ય પર્યાવરણ સુધી કોઈ પણ દિશામાં થઈ શકે છે. આમાં ઊર્જાનો વ્યય થતો નથી. પ્રસરણમાં અણુ અનિયમિત રીતથી વહન પામે છે. પરિણામ સ્વરૂપે પદાર્થ વધારે સાંદ્રતા તરફથી ઓછી સાંદ્રતાવાળા વિસ્તારમાં વહન પામે છે. પ્રસરણ એક ધીમી ક્રિયા છે અને તે જીવિતતંત્ર પર આધારિત નથી. પ્રસરણ વાયુ અને પ્રવાહી પદાર્થમાં સ્પષ્ટ રીતે વર્ણવી શકાય છે, જ્યારે ઘન પદાર્થનાં અણુઓનું પ્રસરણ થોડાક અંશે સંભવિત છે. વનસ્પતિઓ માટે પ્રસરણ અત્યંત મહત્ત્વપૂર્ણ છે કારણ કે વનસ્પતિ દેહમાં વાયુનું વહન માત્ર પ્રસરણ દ્વારા જ થાય છે.

પ્રસરણનો દર સંકેન્દ્રણ ઢાળ, તેઓને ભિન્ન કરનારા પટલની પ્રવેશશીલતા, તાપમાન અને દબાણથી પ્રભાવિત થાય છે.

### 11.1.2 સાનુકૂલિત પ્રસરણ (Facilitated Diffusion)

અગાઉ જણાવ્યા મુજબ કે પ્રસરણની ક્રિયા માટે ઢોળાંશ સર્જાવો અત્યંત જરૂરી છે. પ્રસરણના દરનો આધાર પદાર્થોના સ્વરૂપ કે આકાર પર નિર્ભર છે. એ તો સ્પષ્ટ છે કે નાનો પદાર્થ ઝડપથી વહન થઈને પ્રસરણ પામી શકે છે. કોઈ પણ પદાર્થનું પ્રસરણ પટલના મુખ્ય પદાર્થની લિપિડ દ્રાવ્યતા પર આધાર રાખે છે. લિપિડમાં ભળી જનાર પદાર્થ પટલના માધ્યમમાંથી ઝડપથી પ્રસરણ પામે છે. જે પદાર્થના બંધારણમાં જલાનુરાગી (Hydrophilic) ઘટકો હોય છે, તે પટલના માધ્યમમાંથી આરપાર મુશ્કેલીથી પસાર થાય છે. આમ તેઓનું વહન સાનુકૂલિત રીતે થાય છે. આવા અણુને આરપાર પસાર કરવા માટે પટલમાં પ્રોટીનના નિશ્ચિત સ્થાન આપેલા છે. તેઓ સંકેન્દ્રણ ઢાળને સ્થાપિત કરી શકતાં નથી, જો કે અણુઓના પ્રસરણ માટે સંકેન્દ્રણ ઢાળ નિશ્ચિત રીતે પહેલેથી જ અસ્તિત્વ ધરાવતો હોવો જોઈએ, ભલેને તેઓને પ્રોટીનની મદદ મળતી હોય. આવી ક્રિયાને **સાનુકૂલિત પ્રસરણ** કહેવાય છે.

સાનુકૂલિત પ્રસરણમાં પદાર્થોને પટલની આરપાર પસાર કરવાની ક્રિયામાં વિશિષ્ટ પ્રોટીન મદદરૂપ થાય છે અને તેમાં ATPની ઊર્જાનો પણ વપરાશ થતો નથી, સાનુકૂલિત




**આકૃતિ 11.1 :** સાનુકૂલિત પ્રસરણ

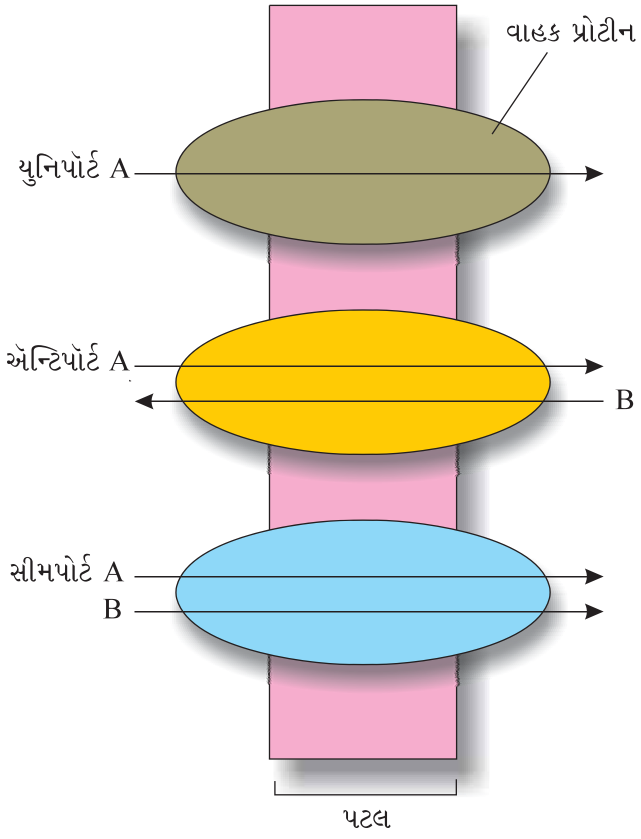
પ્રસરણ ઓછીથી વધુ સાંદ્રતા તરફ વાસ્તવિક વહન કરી શકતા નથી. આમ, આ કારણે ઊર્જાનો ઉપયોગ આવશ્યક બને છે. જ્યારે બધા જ વાહક પ્રોટીન અણુઓ ક્રિયાશીલ બને ત્યારે વહનનો દર મહત્તમ હોય છે. સાનુકૂલિત પ્રસરણ એક ખૂબ વિશિષ્ટ પ્રકારનું છે. તે કોષોને પદાર્થો મેળવવા માટે પસંદગીની તક આપે છે. પ્રોટીનની પાર્શ્વ શ્રૃંખલા સાથે પ્રતિક્રિયા કરતા અવરોધકો પ્રત્યે તે સંવેદનશીલ હોય છે.

અણુઓને આરપાર પસાર કરવા માટે પટલમાં આવેલા પ્રોટીન માર્ગ બનાવે છે. કેટલાક માર્ગ હંમેશાં ખુલ્લા રહે છે અને કેટલાક નિયંત્રિત હોય છે. કેટલાક માર્ગ મોટા હોય છે; જે વિવિધ પ્રકારના અણુઓને આરપાર જવાની પરવાનગી આપે છે. **પોરિન્સ**, એક પ્રકારના પ્રોટીન છે જે રંજકદ્રવ્ય કણો, કણાભસૂત્રો અને બૅક્ટેરિયાના બાહ્ય પટલમાં મોટા કદના છિદ્રોનું નિર્માણ કરે છે; પટલમાંથી નાના કદના પ્રોટીન જેટલા અણુઓને પસાર થવા દે છે.

**આકૃતિ 11.1**માં દર્શાવેલ છે કે બાહ્ય કોષીય અણુનું વહન પ્રોટીન પર આધારિત હોય છે અને તે વહન પ્રોટીન પછી ભળી જઈને કોષની અંદર અણુને મુક્ત કરે છે. ઉદાહરણ તરીકે જલમાર્ગ - જે આઠ પ્રકારના વિવિધ **એક્વા પોરિન્સ**થી બનેલા છે.

### *11.1.2.1 નિષ્ક્રીય સીમપૉર્ટ અને ઍન્ટિપૉર્ટ (Passive Symport and Antiport)*

કેટલાક વાહક અથવા વહન કરતાં પ્રોટીન પ્રસરણની મંજૂરી ત્યારે જ આપે છે, જ્યારે બે પ્રકારના અણુઓ એક સાથે વહન પામતાં હોય છે. **સીમપોર્ટ**માં, બે અણુઓ એક જ દિશામાં પટલને પસાર કરે છે, જ્યારે **ઍન્ટિપૉર્ટ**માં તેઓ એકબીજાની વિરુદ્ધ દિશામાં




**આકૃતિ 11.2 :** સાનુકૂલિત પ્રસરણ

વહન પામે છે. (**આકૃતિ 11.2**). જ્યારે એક અણુ બીજા અણુથી સ્વતંત્ર રીતે પટલમાંથી પસાર થાય છે, ત્યારે આ રીતને **યુનિપૉર્ટ** કહે છે.

### 11.1.3 સક્રિય વહન (Active Transport)

સક્રિય વહન સંકેન્દ્રણ ઢાળની વિરુદ્ધ અણુઓને દબાણપૂર્વક વહન કરવામાં ઊર્જાનો ઉપયોગ કરે છે. સક્રિય વહન પટલના પ્રોટીન દ્વારા થાય છે. આમ, પટલના વિવિધ પ્રોટીન સક્રિય અને નિષ્ક્રીય બંને વહનમાં મુખ્ય ભૂમિકા ભજવે છે. પંપ, એક રીતે પ્રોટીન છે જે પદાર્થોને પટલને પાર કરાવવામાં ઊર્જાનો ઉપયોગ કરે છે. પંપ પ્રોટીન પદાર્થોને ઓછા સંકેન્દ્રણ તરફથી વધુ સંકેન્દ્રણ સુધી વહન કરી શકે છે. જ્યારે બધા જ વાહક પ્રોટીન ક્રિયાશીલ બને ત્યારે વહનનો દર મહત્તમ હોય છે. ઉત્સેચકોની જેમ વાહક પ્રોટીન પટલની બીજી બાજુએ પસાર થવાવાળા પદાર્થો માટે ખૂબ જ વિશિષ્ટ હોય છે. તે પ્રોટીન અવરોધક પ્રત્યે પણ વધારે સંવેદનશીલ હોય છે જે પાર્શ્વ શૃંખલાની સાથે પ્રતિક્રિયા કરે છે.

### 11.1.4 વિવિધ વહન ક્રિયાઓની તુલના (Comparison of Different Transport Processes)

કોષ્ટક 11.1માં ભિન્ન ભિન્ન વાહક તંત્રની તુલના કરેલી છે, જેમ કે સ્પષ્ટ થઈ ગયું છે કે પટલના પ્રોટીન સાનુકૂલિત પ્રસરણ તેમજ સક્રિય વહન માટે જવાબદાર છે. આ રીતે તે પસંદગીમાન પટલ હોવા માટેના સામાન્ય લક્ષણ ધરાવે છે. જેવાં કે અવરોધકો પ્રત્યે પ્રતિચાર, અને અંતઃસ્રાવીય નિયંત્રણ પ્રદર્શિત કરે છે. પરંતુ પ્રસરણ સાનુકૂલિત હોય કે નહીં, ઢાળને અનુસરીને થાય છે અને ઊર્જાનો ઉપયોગ કરતા નથી.

**કોષ્ટક : 11.1 વિવિધ વહન તંત્રોની તુલના**

| લક્ષણ | સામાન્ય પ્રસરણ | સાનુકૂલિત વહન | સક્રિય વહન |
|---|---|---|---|
| પટલના વિશિષ્ટ પ્રોટીનની આવશ્યકતા | ના | હા | હા |
| ઉચ્ચ કક્ષાની પસંદગી શીલતા | ના | હા | હા |
| વહન સંતૃપ્તતા | ના | હા | હા |
| ઉર્ધ્વ વહન | ના | ના | હા |
| ઊર્જા તરીકે ATPની આવશ્યકતા | ના | ના | હા |

## 11.2 વનસ્પતિના જલસંબંધો (Plant-Water Relations)

વનસ્પતિઓની દેહધાર્મિક પ્રવૃત્તિને માટે પાણી અનિવાર્ય છે અને તે બધા જ જીવંત સજીવો માટે એક મહત્ત્વપૂર્ણ ભૂમિકા નિભાવે છે. જેમાં બધા પદાર્થો ઓગળી શકે તેવું માધ્યમ પુરું પાડે છે. જીવરસમાં હજારો પ્રકારના અણુઓ પાણીમાં ભળેલા હોય છે અને નિલંબિત રહે છે. એક તડબૂચમાં 92 %થી વધારે ભાગ પાણીનો હોય છે અને મોટે ભાગે શાકીય વનસ્પતિઓમાં શુષ્ક પદાર્થો માત્ર 10 થી 15 % હોય છે બાકીનો ભાગ પાણીનો હોય છે, કાષ્ઠમય ભાગમાં પાણીનું પ્રમાણ થોડું ઓછું હોય છે તેમજ નરમ કે નાજુક ભાગમાં પાણીનું પ્રમાણ થોડુંક વધારે હોય છે. એક બીજ શુષ્ક જેવું દેખાય છે, પરંતુ તેમાં પણ કેટલીક માત્રામાં પાણી તો હોય જ છે, નહીં તો તેઓ જીવંત રહી ના શકે અને તે શ્વસન પણ કરી ન શકે.

સ્થલજ વનસ્પતિઓ, દરરોજ વિપુલ પ્રમાણમાં પાણી મેળવે છે; પરંતુ પર્ણો દ્વારા મોટા

ભાગનાં પાણીનું **બાષ્પોત્સર્જન** થઈ હવામાં ભળી જાય છે. મકાઈનો એક પરિપક્વ છોડ એક દિવસમાં લગભગ ત્રણ લિટર પાણીનું શોષણ કરે છે જ્યારે રાઈનો છોડ લગભગ પાંચ કલાકમાં પોતાના વજનને બરાબર પાણીનું શોષણ કરી લે છે. પાણીની આ વધુ માત્રાની માંગને કારણે, એ આશ્ચર્ય થવું જોઈએ નહીં કે કૃષિ તેમજ પ્રાકૃતિક પર્યાવરણમાં છોડની વૃદ્ધિ તેમજ આવશ્યકતાને મર્યાદિત કરતાં અસરકારક પરિબળ સામાન્ય રીતે પાણી જ હોય છે.

### 11.2.1 જલક્ષમતા (Water Potential)

વનસ્પતિના જલસંબંધોની વ્યાખ્યા કરવા માટે કેટલાક વિશેષ પારિભાષિક શબ્દોનાં અભ્યાસ, તેને સમજવામાં સરળ બનાવે છે. **જલક્ષમતા** $(\Psi_w)$ જલની ગતિ કે વહનને સમજવા માટે પાયાની પૂર્વધારણા છે. **દ્રાવ્યક્ષમતા** $(\Psi_s)$ અને **દાબક્ષમતા** $(\Psi_p)$, જલક્ષમતા નક્કી કરનારા બે મુખ્ય પરિબળો છે.

પાણીના અણુઓમાં ગતિ-ઊર્જા જોવા મળે છે. પ્રવાહી અને વાયુ અવસ્થામાં તેઓ અનિયમિત ગતિ કરતાં મળી આવે છે. આ ગતિ ઝડપી અને અચળ બંને પ્રકારની હોય છે. કોઈ તંત્રમાં જો પાણીની માત્રા વધારે હોય તો તેઓની ગતિ-ઊર્જા અને જલક્ષમતા વધારે હોય. આમ, દેખીતી રીતે શુદ્ધ પાણીમાં સૌથી વધારે જલક્ષમતા હોય છે. જો કોઈ બે આંતરવિષ્ટ (આંતરિક) જલતંત્ર સંપર્કમાં હોય તો પાણીના અણુઓની અનિયમિત ગતિને લીધે પાણીની વાસ્તવિક ગતિ વધારે ઊર્જાવાળા ભાગમાંથી ઓછી ઊર્જાવાળા ભાગમાં થાય છે. આમ, પાણી વધારે જલક્ષમતાવાળા આંતરિક પાણીના તંત્રથી ઓછી જલક્ષમતાવાળા તંત્રની તરફ જાય છે. પદાર્થની ગતિની આ ક્રિયા ઊર્જાના ઢાળને અનુસાર થાય છે અને તેને પ્રસરણ કહે છે. જલક્ષમતાને પાસ્કલ જેવા દાબ એકમમાં વ્યક્ત કરવામાં આવે છે અને તેને ગ્રીક સંકેત સાઈ અથવા $\Psi$ દ્વારા દર્શાવવામાં આવે છે. પરંપરાને અનુસાર શુદ્ધ પાણીની જલક્ષમતાના એક નિયત તાપમાને જે કોઈ પણ પ્રકારના દબાણની ગેરહાજરીમાં પણ થતું નથી તેને શૂન્ય ગણવામાં આવે છે.

જો કેટલાક દ્રાવ્ય પદાર્થો શુદ્ધ પાણીમાં ઓગળે છે, તો ઓગળેલા દ્રાવણમાં મુક્ત પાણી ઓછું થઈ જાય છે. પાણીની સાંદ્રતા ઘટી જાય છે અને જલક્ષમતા પણ ઓછી થાય છે. તેથી જ બધા દ્રાવણોની સરખામણીમાં શુદ્ધ પાણીની તુલનામાં જલક્ષમતા ઓછી હોય છે. આ ઓછી જલક્ષમતાનું કારણ કોઈ એક દ્રાવ્ય પદાર્થની દ્રાવ્યતાને કારણે છે. જેને **દ્રાવ્યક્ષમતા** કે $\Psi_s$ કહે છે. **$\Psi_s$ હંમેશાં ઋણ હોય છે.** જ્યારે દ્રાવ્ય પદાર્થના અણુઓ વધારે હોય ત્યારે $\Psi_s$ વધુ ઋણ હોય છે. વાતાવરણના દબાણે દ્રાવ્ય પદાર્થ કે દ્રાવણની જલક્ષમતા $\Psi_w = \Psi_s$ (દ્રાવ્યક્ષમતા) થાય છે.

જો દ્રાવણ કે શુદ્ધ પાણી પર વાતાવરણીય દબાણથી વધારે દબાણ લગાડવામાં આવે તો જલક્ષમતા વધી જાય છે. તે એક સ્થાનેથી બીજા સ્થાન પર પાણી પંપ દ્વારા વહન પામે તેને સમકક્ષ દર્શાવાય છે.

શું તમે વિચારી શકો છો કે આપણા શરીરના કયા તંત્રમાં દબાણ ઉદ્ભવે છે ? જ્યારે પ્રસરણને કારણે વનસ્પતિઓના કોષોમાં પાણી પ્રવેશ કરે છે અને તે કોષદીવાલ પર દબાણ ઉત્પન્ન કરે છે અને કોષને **આશૂન** બનાવે છે. (જુઓ વિભાગ 11.2.2) તે **દાબક્ષમતાને** વધારી દે છે. દાબક્ષમતા મોટે ભાગે ધન મૂલ્ય ધરાવે છે. જો કે વનસ્પતિઓની જલવાહક

પેશીઓના જલસ્તંભની ઋણ જલક્ષમતા કે તણાવ બળ પ્રકાંડમાં પાણીના વહનમાં મહત્ત્વપૂર્ણ ભૂમિકા નિભાવે છે. દાબક્ષમતાને $\Psi_p$ થી દર્શાવાય છે. કોષની જલક્ષમતા, દ્રાવ્ય તેમજ દાબક્ષમતા બંનેથી પ્રભાવિત થાય છે. આ બંને વચ્ચેનો સંબંધ નીચે પ્રમાણે છે.

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$$

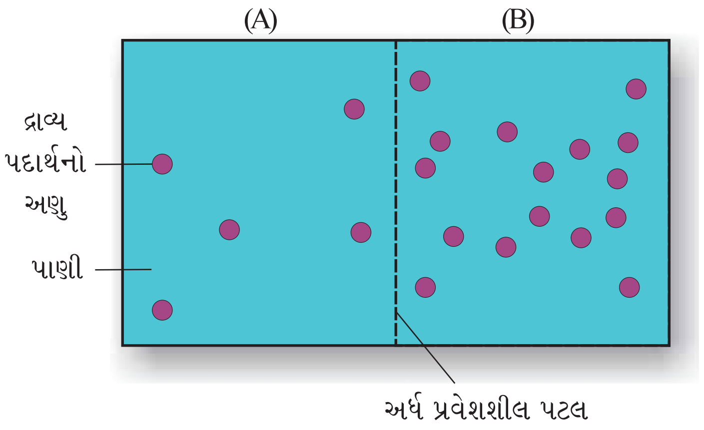
### 11.2.2 આસૃતિ (Osmosis)

વનસ્પતિઓના કોષ, કોષરસપટલ અને કોષદીવાલથી ઘેરાયેલ હોય છે. આ કોષદીવાલ, પાણી તેમજ દ્રાવણમાં પદાર્થો માટે મુક્ત સ્વરૂપથી પ્રવેશશીલતા દર્શાવે છે. આમ, તે વહન કે ગતિને માટે અંતરાય રૂપ બનતું નથી. વનસ્પતિઓમાં કોષો એક મોટી મધ્યસ્થ રસધાની ધરાવે છે, તેનો ઘટક - ધાનીરસ એ કોષની દ્રાવ્યક્ષમતામાં મહત્ત્વની ભૂમિકા ભજવે છે. વનસ્પતિ કોષમાં કોષરસપટલ અને રસધાનીનું રસધાનીપટલ બંને એક સાથે કોષની અંદર તેમજ બહાર અણુઓની ગતિ નિર્ધારિત કરવા માટે મહત્ત્વપૂર્ણ હોય છે.

**આસૃતિ**નું નિરૂપણ વિશેષ રૂપથી એક વિભેદનીય, અર્ધ પ્રવેશશીલ પટલની આરપાર પાણીનાં પ્રસરણના સંદર્ભમાં કરાય છે. આસૃતિ સ્વયંભૂ પ્રેરકબળની ક્રિયાથી થાય છે. આસૃતિની દિશા તેમજ ગતિ **દાબ ઢોળાંશ** તેમજ **સંકેન્દ્રણ ઢોળાંશ** પર નિર્ભર કરે છે. પાણી પોતાની ઊંચી રાસાયણિક ક્ષમતા(કે સાંદ્રતા)થી નીચી રાસાયણિક ક્ષમતા તરફ ત્યાં સુધી વહન પામે છે કે જ્યાં સુધી બંને તરફ સાંદ્રતા સમાનતા સુધી ન પહોચે. સંતુલન અવસ્થાએ બંને તરફની જલક્ષમતા એક સમાન થતી હોય છે.

તમે શાળામાં, અગાઉના અભ્યાસમાં એક બટાટાનો ઑસ્મોમીટર બનાવ્યો હશે. જો બટાટાને પાણીમાં રાખવામાં આવે છે તો બટાટાના પોલાણમાં રાખેલ શર્કરાનું સાંદ્ર દ્રાવણ આસૃતિ દ્વારા પાણીમાં એકત્ર થઈ જાય છે.

**આકૃતિ 11.3**નો અભ્યાસ કરો, જેમાં બે ખંડો A અને Bમાં રાખેલ દ્રાવણોને ભરીને અર્ધ પ્રવેશશીલ પટલ દ્વારા દ્રાવણોને અલગ કરેલા છે :




**આકૃતિ 11.3**

(a) કયા ખંડમાં દ્રાવણમાં જલક્ષમતા ઓછી છે ?

(b) કયા ખંડમાં દ્રાવણમાં દ્રાવ્યક્ષમતા ઓછી છે ?

(c) આસૃતિ કઈ દિશામાં થશે ?

(d) કયું દ્રાવણ ઊંચી દ્રાવ્યક્ષમતા ધરાવે છે ?

(e) સંતુલનના સમયે કયા ખંડમાં જલક્ષમતા ઓછી છે ?

(f) જો એક ખંડનું $\Psi$ મૂલ્ય - 2000 KPa અને બીજા ખંડનું $\Psi$ મૂલ્ય - 1000 KPa છે તો કયા ખંડમાં ઊંચું $\Psi$ મૂલ્ય હશે ?

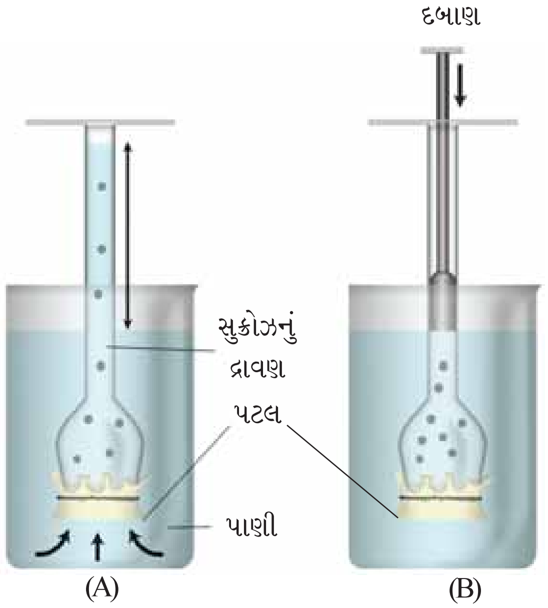
ચાલો, આપણે બીજા એક પ્રયોગની ચર્ચા કરીએ, જ્યાં પાણીમાં બનાવેલા શર્કરાના દ્રાવણને એક થિસલ ફનેલમાં લેવામાં આવેલ છે, જેને, એક પાણી ભરેલા બીકરમાં અર્ધપ્રવેશશીલ પટલ દ્વારા અલગ કરવામાં આવે છે. (**આકૃતિ 11.4**) તમે આ પ્રકારના પટલને એક ઈંડામાંથી મેળવી શકો છો. તમે ઈંડાના એક શીર્ષ પ્રદેશ પર નાનું કાણું પાડીને બધી જ જરદી અને તેનું આલ્બ્યુમીન કાઢી લો અને પછી ઈંડાના કવચને કેટલાક કલાકો માટે હાઈડ્રોક્લોરિક ઍસિડ(HCl)ના મંદ દ્રાવણમાં રહેવા દો. ઈંડાનું કવચ તેમાં ઓગળી જાય છે અને તેનું પટલ પ્રાપ્ત થાય છે. પાણી થિસલ ફનેલમાં દાખલ થાય છે અને થિસલ ફનેલમાં દ્રાવણનું સ્તર વધે છે. આ ક્રિયા ત્યાં સુધી ચાલુ રહે છે, જ્યાં સુધી સંતુલન ન સ્થપાય. જો કોઈ કારણવશ, શર્કરા પટલના માધ્યમથી બહાર નીકળી આવે તો શું કદી સંતુલનની સ્થિતિ આવશે ?

થિસલ ફનેલના ઉપરના ભાગ પર બહારનું દબાણ આપવામાં આવે તો પટલના માધ્યમ દ્વારા થિસલ ફનેલમાં પાણી પ્રસરણ ન પામી શકે. આ દબાણ પાણીને પ્રસરણ પામતા રોકે છે. દ્રાવ્યની સાંદ્રતા વધારે હોય તેમ પાણીનું પ્રસરણ થતું રોકવા માટે વધારે દબાણની આવશ્યકતા હોય છે. સંખ્યાત્મક રીતે આસૃતિદાબ, આસૃતિ ક્ષમતાને સમકક્ષ હોય છે પરંતુ તેની નિશાની વિરુદ્ધ હોય છે. આસૃતિ- દાબમાં ઉપયોગી દબાણ ધનાત્મક હોય છે. જ્યારે આસૃતિ ક્ષમતા ઋણાત્મક હોય છે.

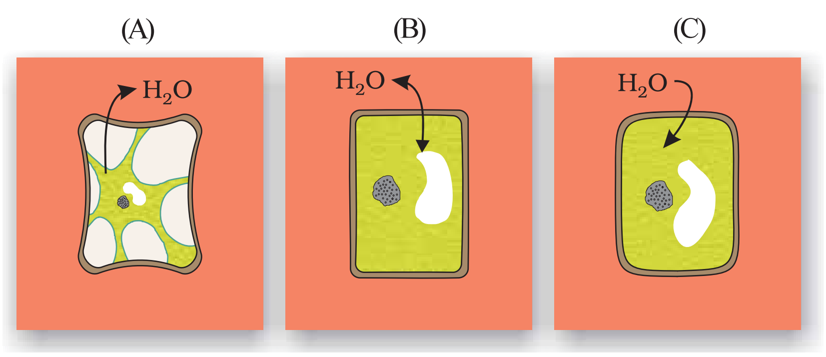
### 11.2.3 રસસંકોચન (Plasmolysis)

વનસ્પતિના કોષો(કે પેશીઓ)માં પાણીનાં વહનનો આધાર તેમની આસપાસના દ્રાવણ પર નિર્ભર કરે છે. જો બહારનું દ્રાવણ કોષરસના આસૃતિદાબને સંતુલિત કરે તો તેને આપણે **સમસાંદ્ર દ્રાવણ (Isotonic Solution)** કહીએ છીએ. જો બહારનું દ્રાવણ કોષરસ કરતાં, ઓછું સંકેન્દ્રિત હોય તો તેને **અધોસાંદ્ર (Hypotonic Solution)** દ્રાવણ કહે છે અને જો બહારનું દ્રાવણ ખૂબ જ વધારે સાંદ્રતાયુક્ત હોય તો તેને **અધિસાંદ્ર દ્રાવણ (Hypertonic solution)** કહે છે. કોષો અધોસાંદ્ર દ્રાવણમાં ફૂલે છે અને અધિસાંદ્ર દ્રાવણમાં તેઓ સંકોચન પામે છે.

**રસ સંકોચન** ત્યારે થાય છે જ્યારે કોષમાંનું પાણી બહારની તરફ વહન પામે અને વનસ્પતિ કોષનું કોષરસપટલ સંકોચન પામીને કોષદીવાલથી અલગ થઈ જાય છે. આ ત્યારે થાય છે, જ્યારે એક કોષ(કે પેશી)ને અધિસાંદ્ર દ્રાવણ (વધુ દ્રાવ્ય હોય)માં મૂકવામાં આવે છે. સૌથી પહેલાં કોષરસમાંથી પાણી બહાર આવે છે અને પછી રસધાનીમાંથી પાણી બહાર આવે છે. જ્યારે કોષમાંથી પ્રસરણ દ્વારા પાણી નીકળીને બાહ્યકોષીય દ્રાવણ (કોષની બહાર) જાય છે, ત્યારે જીવરસ કોષદીવાલથી અલગ થઈ જાય છે આને કોષનું કોષરસનું સંકોચન કહેવાય છે. પાણીનું વહન પટલની આરપાર ઊંચી




**આકૃતિ 11.4 :** આસૃતિનું એક નિર્દશન. એક થિસલ ફનેલમાં શર્કરાનું દ્રાવણ ભરીને, પાણીથી ભરેલા બીકરમાં ઊંધી રાખવામાં આવે છે. જેના પહોળા છેડા પર અર્ધપ્રવેશશીલ પટલથી બંધ કરવામાં આવે છે. (A) પાણી પટલમાંથી પસાર થઈ શકે છે. પ્રસરણથી થિસલ ફનેલના દ્રાવણનું સ્તર વધારે છે. (જેમ કે, તીરનું નિશાન દર્શાવેલું છે.) (B) થિસલ ફનેલમાં પાણીના વહનને રોકવા માટે દબાણનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે જેવી રીતે આકૃતિમાં દર્શાવેલું છે.




**આકૃતિ 11.5 :** વનસ્પતિ કોષનું રસસંકોચન

જલક્ષમતાના વિસ્તાર (અથવા કોષ) તરફથી નીચી જલક્ષમતાના વિસ્તારમાં કોષની બહાર (**આકૃતિ 11.5**) થાય છે.

રસસંકોચન પામેલ કોષમાં કોષદીવાલ તેમજ સંકોચન પામેલ જીવરસની વચ્ચેની જગ્યા કોના દ્વારા ભરાય છે ?

જ્યારે કોષ(અથવા પેશી)ને **સમસાંદ્ર દ્રાવણ**માં મૂકવામાં આવે છે, તો પાણીમાં કુલ જથ્થા પર અંદર કે બહારની તરફ કોઈ ફેર પડતો નથી. જો બાહ્ય દ્રાવણ કોષરસ પર આસૃતિદાબને સંતુલિત રાખે છે તો તેને સમસાંદ્ર દ્રાવણ કહે છે. કોષોમાં પાણી અંદર અને બહારની તરફ સમાન રૂપે વહેતું હોય તો કોષોની આ સ્થિતિને **શિથિલ (Flaccid)** સ્થિતિ કહે છે.

રસસંકોચનની ક્રિયા સામાન્ય રીતે પ્રતિવર્તી હોય છે. જ્યારે કોષોને **અધોસાંદ્ર** દ્રાવણ(ઊંચી જલક્ષમતા કે કોષરસની તુલનામાં મંદ દ્રાવણ)માં રાખવામાં આવે તો કોષમાં પાણીનું પ્રસરણ થાય છે જે કોષરસની દીવાલ પર દબાણ ઉત્પન્ન કરે છે. જેને **આશૂનદાબ** કહેવાય છે. પાણી પ્રવેશવાને કારણે જીવરસ દ્વારા ઉદ્‌ભવેલી સખત દીવાલ પરના દબાણને દાબક્ષમતા કે $\Psi_p$ કહે છે. કોષદીવાલની દઢતા કે મજબૂતાઈને કારણે કોષ ફાટી જતો નથી. આ આશૂનદાબ છેવટે કોષોના વિસ્તરણ તેમજ ફેલાવો વૃદ્ધિ માટે જવાબદાર છે.

એક શિથિલ (Flaccid) કોષનો $\Psi_p$ શું હોય ? વનસ્પતિઓ સિવાય કયા સજીવમાં કોષદીવાલ હોય છે ?

### 11.2.4 અંતઃચૂષણ / અંતઃશોષણ (Imbibition)

**અંતઃચૂષણ**, એક વિશિષ્ટ પ્રકારનું પ્રસરણ છે. જ્યારે ઘન તેમજ કલિલ કણો દ્વારા પાણીનું પ્રચૂર માત્રામાં શોષણ થાય છે ત્યારે એના કારણે તેના સ્વરૂપ કે કદમાં વધારો થાય છે. બીજ અને સૂકાં લાકડા દ્વારા પાણીનું શોષણ થયું તે અંતઃચૂષણના પ્રચલિત ઉદાહરણો છે. ફૂલેલા લાકડા કે કાષ્ઠ દ્વારા ઉત્પન્ન થતા દબાણનો ઉપયોગ પૌરાણિક માનવી દ્વારા મોટાં પથ્થરોને તોડવા માટે કરવામાં આવતો હતો. જો અંતઃચૂષણ દ્વારા દબાણ ઉત્પન્ન થતું ન હોય તો જમીન પર ખુલ્લામાં વનસ્પતિઓનું બીજાંકુરણ શક્ય બને નહીં. તેઓ સંભવતઃ જમીનમાં સ્થાપિત થઈ શકતાં નથી.

અંતઃચૂષણ પણ એક પ્રકારનું પ્રસરણ છે, કારણ કે પાણીનું વહન સંકેન્દ્રણ ઢાળને અનુસરે છે. બીજ કે અન્ય તેના જેવા પદાર્થોમાં પાણી નહિવત્ જ હોય છે. આથી તેઓ પાણીનું શોષણ સરળતાથી કરી શકે છે. શોષણ અને અંતઃચૂષણ થતા પદાર્થ(પાણી)ની વચ્ચે જલક્ષમતા ઢાળ સર્જાય તે આવશ્યક છે. આ સિવાય, કોઈ પણ પદાર્થ જે કોઈપણ પ્રવાહીનું અંતઃચૂષણ કરી શકે છે. તે પૈકી અવશોષણ કરનાર પદાર્થ અને અવશોષણ પામતા પ્રવાહી વચ્ચે નિકટતા કે સંબંધ (Affinity) હોવો તે પ્રાથમિક જરૂરિયાત છે.

## 11.3 લાંબા અંતર સુધી પાણીનું વહન (Long Distance Transport of Water)

અગાઉના અભ્યાસમાં તમે એક પ્રયોગ કર્યો હશે. આ પ્રયોગ દરમિયાન તમે રંગીન પાણીમાં સફેદ પુષ્પો સહિત ડાળીને તેમાં ડુબાડી હશે અને પુષ્પનાં રંગમા પરિવર્તનને પણ જોયું હશે. ડાળીનો કપાયેલો છેડો કેટલાક કલાકો સુધી રંગીન દ્રાવણમાં રહ્યા પછી તમે ચોકસાઈપૂર્વક તે વિસ્તારને ધ્યાનથી જોયો હશે કે જેમાં રંગીન પાણીનું વહન થાય છે. આ પ્રયોગ દેખીતી રીતે જ દર્શાવે છે કે પાણીના વહનનો માર્ગ એ વાહીપુલમાં આવેલી જલવાહક પેશી જ છે. હવે આપણે વનસ્પતિઓમાં પાણી અને અન્ય પદાર્થોના ઉર્ધ્વ વહનની ક્રિયાને સમજવા માટે આગળ વધીએ.

વનસ્પતિમાં લાંબા અંતર સુધી પદાર્થોનું વહન માત્ર પ્રસરણ દ્વારા થઈ શકતું નથી. પ્રસરણ એક ધીમી ક્રિયા છે. તે ટૂંકાં અંતર સુધી અણુઓને પહોંચાડવા માટે યોગ્ય છે. ઉદાહરણ તરીકે : એક લાક્ષણિક વનસ્પતિ કોષ(લગભગ કદ 50 μm )ની આરપાર અણુઓના વહન માટે લગભગ 2.5 s સમય લાગે છે આ દરને આધારે તમે શું ગણતરી કરી શકો છો કે વનસ્પતિઓમાં 1 mનું અંતર માત્ર પ્રસરણ દ્વારા પસાર કરવા માટે અણુઓને કેટલા વર્ષો લાગશે ?

મોટા તેમજ જટિલ સજીવોમાં મોટા ભાગના પદાર્થોનું વહન લાંબા અંતર સુધી થાય છે, ક્યારેક ઉત્પાદન કે શોષણ તેમજ સંગ્રહસ્થાન એકબીજાથી ઘણા દૂર હોય છે, આમ પ્રસરણ કે સક્રિય વહન પર્યાપ્ત નથી. એટલા જ માટે લાંબા અંતરના વહન માટે ચોક્કસ કે વાહકતંત્ર હોવું જરૂરી છે જેથી પદાર્થોનું આવશ્યક ત્વરિત વહન કરી શકે. પાણી, ખનીજ અને ખોરાક **સામૂહિક પ્રણાલી** દ્વારા વહન પામે છે. સામૂહિક વહન એ સામૂહિક રીતે પદાર્થોનું વહન એક સ્થાનથી બીજા સ્થાન સુધી બે બિંદુઓની વચ્ચે દબાણની ભિન્નતાના પરિણામ સ્વરૂપે થાય છે. સામૂહિક વહનની એ વિશિષ્ટતા છે કે પદાર્થ દ્રાવણના સ્વરૂપે હોય કે નિલંબિત સ્વરૂપે, તે નદીના પ્રવાહની જેમ જ વહન પામે છે. આ ક્રિયા પ્રસરણથી વિભિન્ન છે; જ્યાં વિવિધ પદાર્થો તેમના સંકેન્દ્રણ ઢાળને અનુસાર સ્વતંત્ર સ્વરૂપે વહન પામે છે. સામૂહિક વહન ધનાત્મક જળદાબ ઢાળ (ગાર્ડન હોઝ) કે ઋણાત્મક જલદાબ (જેમ કે, સ્ટ્રો દ્વારા શોષણ) દ્વારા પ્રાપ્ત કરાય છે.

પદાર્થોના વનસ્પતિઓની વાહક પેશીઓ દ્વારા સામૂહિક વહનને સ્થળાંતર કહે છે. તમને ઉચ્ચ વનસ્પતિઓના મૂળ, પ્રકાંડ અને પર્ણોના આડછેદના અભ્યાસમાં જોવા મળતાં વાહિતંત્ર યાદ હશે જ. ઉચ્ચ કક્ષાની વનસ્પતિઓમાં ઉચ્ચ કક્ષાની વાહક પેશી સ્વરૂપે જલવાહક અને અન્નવાહક સ્વરૂપે હોય છે. જલવાહક મુખ્યત્વે પાણી,

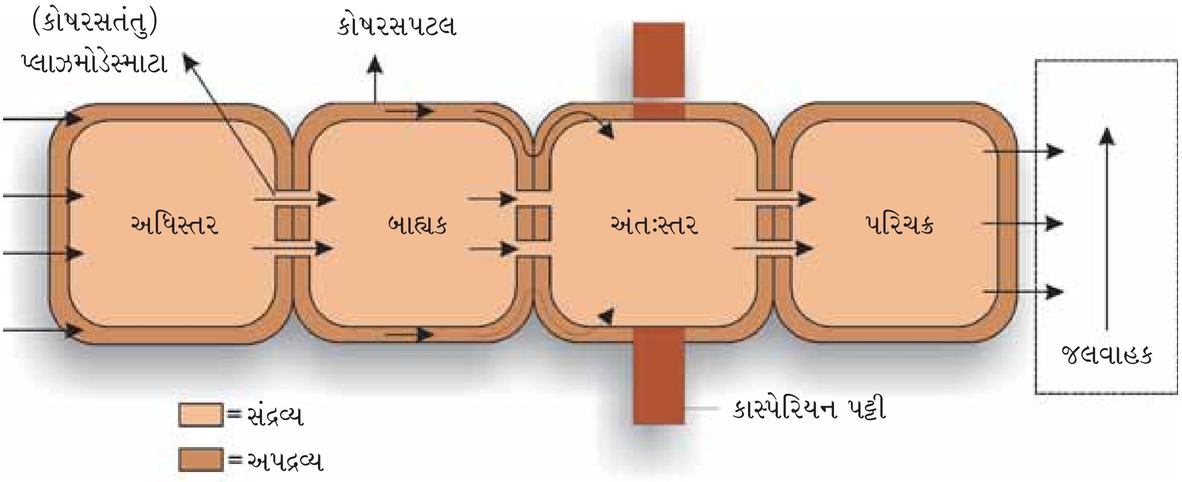
ખનીજ ક્ષારો, કેટલાક કાર્બનિક નાઈટ્રોજન અને અંતઃસ્રાવો મૂળથી વૃદ્ધિ હવાઈ ભાગો સુધી સ્થળાંતર થાય છે. અન્નવાહક મુખ્યત્વે વિવિધ પ્રકારના કાર્બનિક તેમજ અકાર્બનિક દ્રવ્યોને પર્ણોથી વનસ્પતિઓના વિવિધ ભાગોમાં વહન કરે છે.

### 11.3.1 વનસ્પતિઓ પાણીનું શોષણ કેવી રીતે કરે છે ? (How do Plants Absorb Water ?)

આપણે જાણીએ છીએ કે વનસ્પતિમાં પ્રવેશ પામતું પાણી મૂળ દ્વારા શોષાય છે. એટલા જ માટે આપણે જમીનમાં પાણી સિંચીએ છીએ, નહીં કે પર્ણો પર. પાણી અને ખનીજ તત્ત્વોનું શોષણ કરવાની જવાબદારી વિશેષ રીતે મૂળરોમની હોય છે; જે મૂળના અગ્રસ્થ ભાગે ભાગોની સંખ્યામાં મળી આવે છે. મૂળરોમ પાતળી કોષદીવાલવાળા હોય છે. જે શોષણ માટેનો વિસ્તાર ખૂબ જ વધારે છે. પાણી, ખનીજ દ્રાવ્યોની સાથે મૂળરોમ દ્વારા પ્રસરણની ક્રિયાથી શોષાય છે. એકવાર જ્યારે મૂળરોમ દ્વારા પાણીનું શોષણ થઈ જાય ત્યારે તે મૂળનાં આંતરિક સ્તરોમાં ઉંડે સુધી બે વિભિન્ન પરિપથો દ્વારા વહન કરે છે. આ બે ભિન્ન પરિપથો નીચે પ્રમાણે છે :

- અપદ્રવ્ય પરિપથ (Apoplast Pathway)
- સંદ્રવ્ય પરિપથ (Symplast Pathway)

**અપદ્રવ્ય** પરિપથ પાસપાસે આવેલી કોષદીવાલનું તંત્ર છે જે સમગ્ર વનસ્પતિમાં પથરાયેલું હોય છે. મૂળની અંતઃસ્થ રચનામાં અંતઃસ્તરમાં આવેલ **કાસ્પેરિયન પટ્ટી** સિવાય સંપૂર્ણ રીતે વનસ્પતિમાં આ પરિપથ ફેલાયેલ છે. **(આકૃતિ 11.6)**. પાણીનું અપદ્રવ્ય પરિપથ દ્વારા પાણીનું વહન માત્ર આંતરકોષીય અવકાશો અને કોષોની કોષદીવાલ દ્વારા થાય છે. અપદ્રવ્ય પરિપથના માધ્યમથી થતું વહન કોષરસપટલને પસાર કરી શકતું નથી. તે વહનના



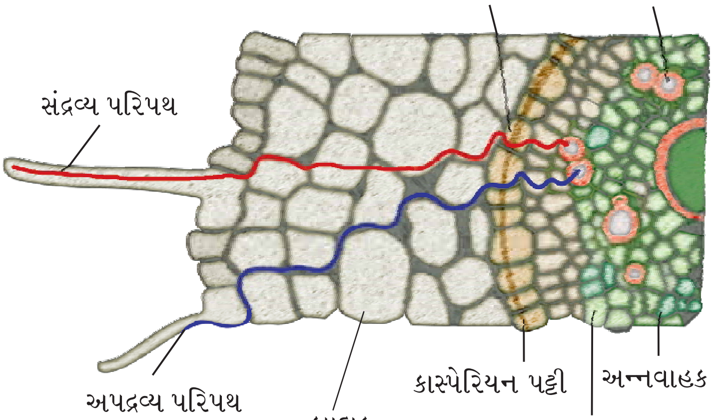

**આકૃતિ 11.6 :** મૂળમાં પાણીના વહનનો પરિપથ

ઢાળ પર નિર્ભર હોય છે. અપદ્રવ્ય પરિપથ દ્વારા પાણીના વહનમાં કોઈ પણ અવરોધ સર્જતો નથી અને પાણીનું વહન સામૂહિક વહનના માધ્યમથી થતું રહે છે. જેવું પાણી આંતરકોષીય અવકાશ કે વાતાવરણમાં બાષ્પ સ્વરૂપે નિકાલ પામે છે તેથી અપદ્રવ્ય પરિપથ દ્વારા થતા વહનમાં સતત પાણીના પ્રવાહમાં તણાવ ઉત્પન્ન થાય છે. આથી, અભિલગ્ન બળ તેમજ સંલગ્ન બળને કારણે પાણીનું સામૂહિક વહન થાય છે.

**સંદ્રવ્ય** પરિપથના તંત્ર, આંતરસંબંધિત કોષરસના તંત્ર સાથે સંબંધિત છે. નજીકના કોષો એકબીજા સાથે **કોષરસીય તંતુઓ**ની મદદથી ગાઢ રીતે સંકળાયેલા હોય છે. સંદ્રવ્ય વહનમાં પાણી કોષોના કોષરસના માધ્યમથી આંતરકોષીય વહનમાં આ કોષરસતંતુના માધ્યમથી આગળ વધે છે. પાણી કોષોની અંદર કોષરસપટલના માધ્યમથી પ્રવેશ કરે છે. આથી, આ પ્રકારનું વહન પ્રમાણમાં ધીમું હોય છે. આ વહન પણ ક્ષમતા ઢાળને ઘટાડે છે. સંદ્રવ્ય પરિપથ આ વહન કોષીય દ્રવ્યને લીધે છે. તમે કોષરસીય વહનની ક્રિયા હાઈડ્રિલાના પર્ણકોષમાં સરળ રીતે જોઈ શકો છો. હરિતકણનું હલનચલન ત્રણ કોષરસીય પ્રવાહના લીધે સરળતાથી જોઈ શકો છો.

મૂળમાં મોટે ભાગે પાણીનું વહન અપદ્રવ્ય પરિપથ દ્વારા થાય છે કારણ કે બાહ્યકના કોષો શિથિલ રીતે ગોઠવાયેલ હોય છે. અને પાણીના વહનને કોઈ પણ પ્રકારનો અવરોધ નડતો નથી. જો કે બાહ્યકનું આંતરિક સ્તર જે **અંતઃસ્તર** છે તે પાણી માટે અપ્રવેશશીલ હોય છે. કારણ કે તે **સુબેરિનયુક્ત સ્થૂલન** ધરાવે છે. જેને **કાસ્પેરિયન પટ્ટી** કહે છે. પાણીના અણુઓ આ પટલને પાર કરવામાં અસમર્થ છે. આમ, તેઓને સુબેરિનવિહીન કોષદીવાલના વિસ્તાર તરફથી પટલ દ્વારા કોષની અંદર મોકલવામાં આવે છે. હવે પછી સંદ્રવ્ય પરિપથ દ્વારા થતું વહન પટલને પસાર કરે છે. અને પાણીનું વહન જલવાહકના કોષો કે એકમો સુધી થાય છે. પાણીનું વહન અંતઃસ્તરમાં પટલોને પસાર કરતું હોવાથી તે સંદ્રવ્ય રીતે થાય છે. આ એક માત્ર માર્ગ છે કે જેમાં પાણી અને અન્ય દ્રાવ્ય પદાર્થો વાહીપુલમાં પ્રવેશ કરે છે.

એકવાર જલવાહકની અંદર પાણી પહોંચી ગયા પછી તેનું કોષોની વચ્ચે તથા કોષોની આર-પાર વહન થવા માટે તે સ્વતંત્ર બની જાય છે. તરુણ મૂળમાં પાણી જલવાહિનીઓ કે જલવાહિનિકીઓમાં સીધો પ્રવેશ કરે છે. આ નલિકાઓ નિર્જીવ છે અને એક પ્રકારે અપદ્રવ્ય પરિપથનો ભાગ પણ છે. મૂળના વાહકતંત્રમાં પાણી અને ખનીજ આયનોનો માર્ગ **આકૃતિ 11.7**માં સંક્ષિપ્તમાં દર્શાવેલ છે.




**આકૃતિ 11.7 :** મૂળમાં પાણી અને આયનોનું શોષણ દર્શાવતાં સંદ્રવ્ય અને અપદ્રવ્ય પરિપથ

કેટલીક વનસ્પતિમાં પાણી અને ખનીજોના શોષણ માટે કેટલીક વધારાની રચનાઓ સંકળાયેલી હોય છે. **માઈકોરાઈઝા** મૂળની સાથે ફૂગનું સહજીવન દર્શાવે છે. ફૂગના કવકતંતુ નવા મૂળની આસપાસ જાળી જેવી રચના બનાવે છે. અથવા તે મૂળના કોષોમાં પ્રવેશ કરે છે. કવકતંતુનો એક મોટો સપાટીય વિસ્તાર હોય છે જે

ભૂમિમાંથી ખનીજ આયનો તેમજ પાણીને મૂળ કરતાં વધારે પ્રમાણમાં શોષી શકે છે.

તે ફૂગ, મૂળને પાણી તેમજ ખનીજ તત્ત્વો આપે છે અને તેના બદલે મૂળ માઇકોરાઇઝાને શર્કરા અને નાઇટ્રોજનયુક્ત સંયોજનો આપે છે. કેટલીક વનસ્પતિઓને માઇકોરાઇઝા સાથે અવિભાજીત સંબંધ હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે માઇકોરાઇઝાની હાજરી વગર પાયનસના બીજનું અંકુરણ થઈ શકતું નથી અને ન તો તે સ્થાપન પામી શકે છે.

## 11.3.2 વનસ્પતિઓમાં પાણીનું ઉપરની તરફ વહન (Water Movement up a Plant)

હમણાં આપણે જોયું કે વનસ્પતિઓ ભૂમિમાંથી પાણીનું શોષણ કેવી રીતે કરે છે અને વાહક પેશીઓમાં તેને કેવી રીતે પહોંચાડે છે. હવે આપણે તેને જાણવાનો તેમજ સમજવાનો પ્રયત્ન કરીશું કે પાણી વનસ્પતિઓમાં વિવિધ ભાગો સુધી કેવી રીતે પહોંચે છે. આ પાણીનું વહન સક્રિય છે અથવા નિષ્ક્રિય પણ છે ? કારણ કે પાણી વૃક્ષના પ્રકાંડમાં ગુરુત્વાકર્ષણની વિરુદ્ધ દિશામાં વહન કરે છે તો તેના માટે ઊર્જા કોણ આપે છે ?

### *11.3.2.1 મૂળદાબ (Root Pressure)*

જેવી રીતે ભૂમિના વિભિન્ન આયન સક્રિય રીતે મૂળની વાહક પેશીઓમાં વહન પામે છે. તેવી રીતે આ ક્રિયા (તેમના જલક્ષમતા ઢાળના આધારે) થાય છે. તેમજ જલવાહકની અંદર **દબાણ** વધારે છે. આ ધનાત્મક દબાણને **મૂળદાબ** કહેવાય છે અને તે પ્રકાંડમાં ઓછી ઊંચાઈ સુધી પાણીને ઉર્ધ્વ વહન કરાવવા માટે જવાબદાર છે. આપણે કેવી રીતે જોઈ શકીએ કે મૂળદાબ સર્જાય છે તેના માટે એક નાની નરમ કે તરુણ પ્રકાંડવાળી વનસ્પતિને પસંદ કરો અને જે દિવસે વાતાવરણમાં પર્યાપ્ત માત્રામાં ભેજ કે આર્દ્રતા પૂર્ણરૂપે હોય તે દિવસે સવારના સમયે પ્રકાંડની નીચે વલયાકાર રીતે તીક્ષ્ણ બ્લેડ વડે કાપો મૂકો. તમે તરત જ જોઈ શકશો કે તે કાપેલ પ્રકાંડની ઉપરની સપાટી પર દ્રાવણનાં બિંદુ ઉપસી આવશે. આ દ્રવ્ય સકારાત્મક મૂળદાબ- (ધનાત્મક મૂળદાબ)ને કારણે થાય છે. જો તમે તે પ્રકાંડ પર એક રબરની પાતળી નલિકા કે નળી ચઢાવશો તો તમે વાસ્તવમાં સ્રાવના દરનું માપ કાઢી શકશો અને સ્રવિત દ્રવ્યના પરિબળોની સંરચના જાણી શકો છો. મૂળદાબની અસર રાત્રિ અને સવારના સમયે પણ આ ઘટનાને જોઈ શકાય છે; જ્યારે બાષ્પીભવનની ક્રિયા ઓછી થઈ જાય અને વધારાનું પાણી છોડનાં પ્રકાંડના અગ્રભાગ(પ્રરોહાગ્ર)ની ટોચ પર વિશેષ સ્વરૂપે છિદ્રોમાંથી સ્રવિત પાણીના બિંદુઓના સ્વરૂપમાં નિલંબતિ રહે છે. આ પ્રકારે પ્રવાહી સ્વરૂપમાં પાણીનો વ્યય થાય છે. તેને **બિંદુસ્વેદન (Guttation)** કહેવાય છે.

પાણીના વહનની કુલ ક્રિયામાં મૂળદાબ માત્ર એક સામાન્ય દબાણ જેટલું જ અસરકારક છે. તે ઊંચા વૃક્ષોમાં પાણીનું વહનમાં કોઈ ખૂબ જ મહત્ત્વની ભૂમિકા ભજવતું નથી. મૂળદાબનું મહત્ત્વપૂર્ણ યોગદાન જલવાહકમાં પાણીના અણુઓનું નિરંતર કડીના રૂપમાં સ્થાપન થાય છે. જો કે મોટે ભાગે બાષ્પોત્સર્જન દ્વારા ઉત્પન્ન થતાં તણાવોને કારણે સાતત્ય તૂટે છે. મોટે ભાગે પાણીનું વહન કરવામાં મૂળદાબનો કોઈ અર્થ રહેતો નથી. મોટા ભાગની વનસ્પતિઓને બાષ્પોત્સર્જન દ્વારા ખેંચાણ બળ કે શોષકદાબ દ્વારા વહનની જરૂરિયાતોની પૂર્તિ કરવામાં આવે છે.

### *11.3.2.2 બાષ્પોત્સર્જન દ્વારા ઉત્પન્ન થતું ખેંચાણ બળ (Transpiration Pull)*

પ્રાણીઓની જેમ વનસ્પતિઓને હૃદય કે પરિવહન તંત્ર હોતું નથી. તેમ છતાં, જલવાહકના માધ્યમ દ્વારા પાણીનું ઉર્ધ્વવહન પર્યાપ્ત ઊંચા દરથી લગભગ 15 મીટર પ્રતિ કલાક સુધી થઈ શકે છે. તે

ગતિ કેવી હોય છે ? તે એક વિશિષ્ટ પ્રશ્ન જે આજ સુધી પ્રશ્ન જ રહ્યો છે. વનસ્પતિઓ દ્વારા પાણી ઉપરની તરફ ધકેલાય છે અથવા તો ઉપરની તરફ ખેંચાય છે. મોટા ભાગના સંશોધનકર્તાઓ સહમત થયેલ છે કે વનસ્પતિઓ દ્વારા પાણી મુખ્યત્વે ઉપર તરફ ખેંચાય છે અને આની સંચાલન શક્તિ પર્ણોમાં બાષ્પોસર્જનની ક્રિયાના પરિણામરૂપે પ્રાપ્ત થાય છે. આને પાણીના વહન માટે **સંલગ્ન-તણાવ-બાષ્પોત્સર્જન ખેંચાણ મોડેલ**ના સ્વરૂપે રજૂ કરવામાં આવ્યો છે. પરંતુ આ બાષ્પોત્સર્જન ખેંચાણ કેવી રીતે સર્જાય છે ?

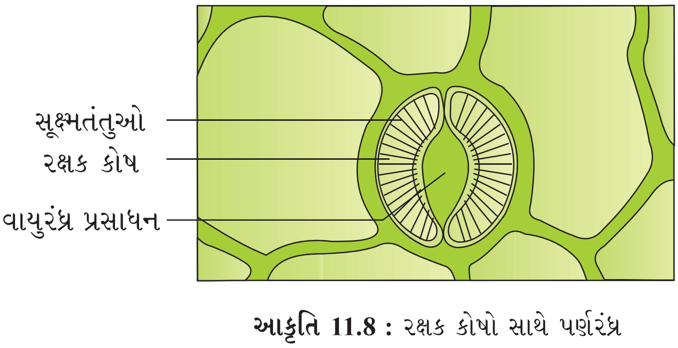
વનસ્પતિઓમાં પાણી અસ્થાયી છે. પ્રકાશસંશ્લેષણ તેમજ વૃદ્ધિ માટે પર્ણોમાં પહોંચતું કુલ પાણી એક ટકાથી પણ ઓછા પ્રમાણમાં ઉપયોગી થાય છે. પાણીનું વધુ પ્રમાણ પર્ણોના **વાયુરંધ્રો** કે **પર્ણરંધ્રો** દ્વારા બાષ્પ સ્વરૂપ ઉડી જાય છે. પાણીનું આ રીતે બાષ્પ સ્વરૂપે ઉત્સર્જન કે વ્યય થવાની ક્રિયાને **બાષ્પોત્સર્જન** કહેવાય છે.

તમે અગાઉના ધોરણોમાં બાષ્પોત્સર્જનનો અભ્યાસ એક તંદુરસ્ત કે સ્વસ્થ વનસ્પતિને પોલીથિનની કોથળીમાં રાખીને અને તે કોથળીની અંદરની સપાટી પર પાણીના સૂક્ષ્મ કે નાનાં ટીપાઓના અવલોકન દ્વારા કર્યા છે. તમે પર્ણમાંથી પાણીની દૂર થવાની ક્રિયાને કોબાલ્ટ ક્લોરાઇડ ($COCl_2$) કાગળના ટુકડા દ્વારા કરી શકો છો; જેનો રંગ પાણીનું શોષણ કરવાથી બદલાઈ જાય છે.

## 11.4 બાષ્પોત્સર્જન (Transpiration)

બાષ્પોત્સર્જન, વનસ્પતિઓ દ્વારા પાણીને બાષ્પ સ્વરૂપે ગુમાવવાની ક્રિયા છે. મોટે ભાગે તે પર્ણોમાં આવેલા **વાયુરંધ્રો** કે **પર્ણરંધ્રો** દ્વારા થાય છે. બાષ્પોત્સર્જનમાં પાણીની બાષ્પ બનીને વાતાવરણમાં ભળવા સિવાય ઑક્સિજન તેમજ કાર્બન ડાયોક્સાઇડનો વિનિમય પણ પર્ણોમાંના નાનાં છિદ્રો જેને પર્ણરંધ્રો કહે છે; તેના દ્વારા થાય છે. સામાન્યતઃ તે વાયુરંધ્રો દિવસ દરમિયાન ખુલ્લા રહે છે અને રાત્રિ દરમિયાન બંધ થાય છે. પર્ણરંધ્રોનું બંધ થવું અને ખુલવાની ક્રિયા **રક્ષક કોષોની** આશૂનતામાં થતા પરિવર્તન દ્વારા થાય છે. પ્રત્યેક રક્ષક કોષોની આંતરિક દીવાલ પર્ણરંધ્રની બાજુ ઘણી જાડી તેમજ સ્થિતિસ્થાપક હોય છે. પર્ણરંધ્ર કે રંધ્રને ઘેરતા રક્ષક કોષોમાં જ્યારે આશૂનદાબ વધે છે ત્યારે બહારની તરફની પાતળી દીવાલ બહારની તરફ ઉપસી આવે છે અને અંદરની તરફની જાડી દીવાલ અર્ધચંદ્રાકાર સ્થિતિમાં આવવા માટે પ્રેરાય છે. રંધ્રીય છિદ્રના ખુલવામાં રક્ષક કોષોની કોષદીવાલોમાં આવેલ સૂક્ષ્મતંતુઓ પણ મદદરૂપ થાય છે. સેલ્યુલોઝ સૂક્ષ્મતંતુઓની ગોઠવણી અરીય વિન્યાસના ક્રમથી થાય છે. તેની ગોઠવણી આયામ વિન્યાસ ક્રમથી થતી નથી. જેથી રંધ્રીય છિદ્ર સરળતાથી ખુલી શકે છે. રક્ષકકોષ પાણી ગુમાવતા તેઓ આશૂનતા ગુમાવે છે. આથી સ્થિતિસ્થાપક દીવાલ મૂળ સ્થિતિ પ્રાપ્ત કરે છે અને પરિણામે છિદ્ર બંધ થઈ જાય છે. સામાન્ય રીતે એક દ્વિદળી (પૃષ્ઠવક્ષીય) પર્ણના અધઃ અધિસ્તરમાં પર્ણરંધ્રોની સંખ્યા વધારે હોય છે. જ્યારે એક એકદળી (સમદ્વિપાર્શ્વસ્થ) પર્ણમાં પર્ણરંધ્રોની સંખ્યા બંને તરફ (ઉપરિ અને અધઃ અધિસ્તરમાં) લગભગ સમાન હોય છે.

બાષ્પોત્સર્જન પર કેટલાક બાહ્ય પરિબળો અસરકારક




**આકૃતિ 11.8 :** રક્ષક કોષો સાથે પર્ણરંધ્ર

હોય છે જેવાં કે, તાપમાન, પ્રકાશ, આર્દ્રતા (ભેજ) તેમજ હવાની ગતિ. બાષ્પોત્સર્જનને અસરકારક અન્ય પરિબળો વનસ્પતિજન્ય છે, જેવાં કે, રંધ્રોની સંખ્યા તેમજ તેઓનું વિતરણ, ખુલ્લા પર્ણરંધ્રોની ટકાવારી, વનસ્પતિઓમાં પાણીની હાજરી અને રંધ્રોની રચના, વગેરે.

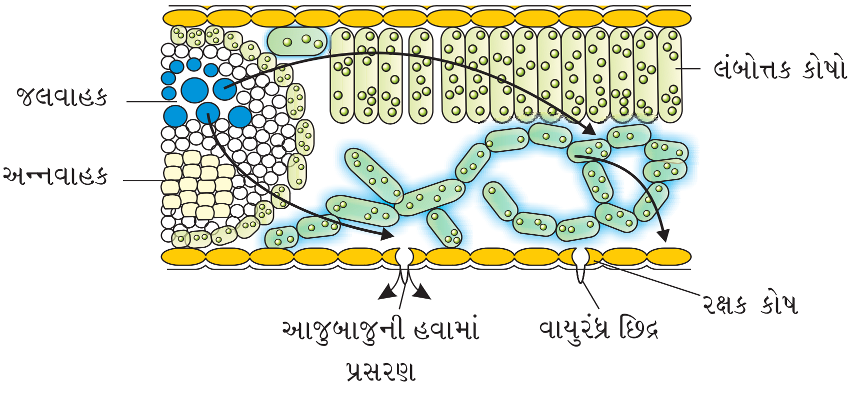
જલવાહકમાં દ્રાવણ(પાણી સાથે ઓગળેલા ખનીજ ક્ષારો અને અન્ય દ્રવ્યો)નું બાષ્પોત્સર્જન દ્વારા ઉર્ધ્વવહન મુખ્યત્વે પાણીના નીચે આપેલા ભૌતિક લક્ષણો પર આધારિત છે :

- **સંલગ્ન બળ (Cohesive Force)** : પાણીના બે ક્રમિક અણુઓની વચ્ચે લાગતું આકર્ષણ બળ.
- **અભિલગ્ન બળ (Adherice Force)** : પાણીના બે ક્રમિક અણુઓનું ધ્રુવીય સપાટી તરફ સર્જાતું આકર્ષણ બળ (જેમ કે, વાહક એકમોના પટલની સપાટી).
- **પૃષ્ઠતાણ બળ (Surface Tension Force)** : પાણીના અણુઓનું પ્રવાહી અવસ્થામાં વાયુ અવસ્થાની તુલનામાં એકબીજાને વધુ આકર્ષિત કરે છે.

પાણીની આ વિશિષ્ટતાઓ તેને ઊંચી **તણાવ શક્તિ (Tensile Strength)** આપે છે. જેમ કે, **કેશાકર્ષણ ખેંચાણ** બળથી પ્રતિરોધની ક્ષમતા અને ઊંચું કેશાકર્ષણ એટલે કે કોઈ પાતળી નલિકામાં ઉર્ધ્વગમનની ક્ષમતા છે. આ કેશાકર્ષણ બળ વનસ્પતિઓમાં ઓછા વ્યાસવાળી કેશનલિકાઓ જેવી **જલવાહિનીકીઓ** અને **જલવાહિનીઓ**માં થતાં વહનમાં ઉપયોગી છે.

પ્રકાશસંશ્લેષણની ક્રિયા માટે પાણીની આવશ્યકતા હોય છે. જલવાહક તંત્ર પાણીની જરૂરિયાત મુજબ પાણીને મૂળથી પર્ણની શિરાઓ સુધી પહોંચાડે છે. પરંતુ તે કઈ શક્તિ છે જે પાણીના અણુઓને પર્ણની મૃદુત્તક પેશી સુધી જરૂરિયાત પ્રમાણે ખેંચી લાવે છે. જેવું બાષ્પોત્સર્જન થાય છે ત્યારે પાણીનું પાતળું સ્તર કોષોની ઉપર સતત જળવાયેલું રહે છે. પરિણામે તે જલવાહકથી પર્ણ સુધી પાણીના અણુઓને ખેંચવા માટે ઉપયોગી છે. અધોરંધ્રીય કોટર અને આંતરકોષીય અવકાશની સાપેક્ષે વાતાવરણમાં પાણીની બાષ્પની સાંદ્રતા ઓછી હોય છે. આમ, પાણી પાસેની હવામાં પ્રસરણ પામે છે અને તે ખેંચાણ બળ ઉત્પન્ન કરે છે. **(આકૃતિ 11.9)**

માપનથી સ્પષ્ટ થાય છે કે બાષ્પોત્સર્જન દ્વારા ઉત્પન્ન થયેલું બળ પાણીના સ્તંભને જલવાહકની અંદર 130 મીટરની ઊંચાઈ સુધી ખેંચવા માટે પર્યાપ્ત હોય છે.




**આકૃતિ 11.9 :** પર્ણમાં પાણીનું વહન. પર્ણમાંથી પાણીની બાષ્પનું, બહારની બાજુની હવા અને પર્ણના હવાના અવકાશો વચ્ચે સર્જાતા દાબઢાળ દ્વારા વહન થાય છે. આ ઢાળ પ્રકાશસંશ્લેષી કોષો તથા જલસભર પર્ણની શિરાઓ તરફ ખસે છે.

### 11.4.1 બાષ્પોત્સર્જન તેમજ પ્રકાશસંશ્લેષણ : એક સમાધાન (Transpiration and Photosynthesis – a Compromise)

બાષ્પોત્સર્જનમાં એકથી વધારે હેતુઓ કે ઉદ્દેશો છે જે નીચે આપેલા છે :

- વનસ્પતિઓમાં શોષણ તેમજ વહન માટે બાષ્પોત્સર્જન ખેંચાણ બળ ઉત્પન્ન કરે છે.
- પ્રકાશસંશ્લેષણની ક્રિયા માટે પાણી પૂરુ પાડે છે.
- ભૂમિમાંથી પ્રાપ્ત ખનીજ તત્ત્વો વનસ્પતિઓના બધા જ અંગો સુધી વહન કરે છે.
- પર્ણની સપાટીને બાષ્પીભવન દ્વારા 10 થી $15^{0}$ સુધી ઠંડી રાખે છે.
- કોષોની આશૂનતા વનસ્પતિઓના આકાર તેમજ બંધારણને જાળવે છે.

એક સક્રિય પ્રકાશસંશ્લેષણ દર્શાવતી વનસ્પતિને પાણીની અત્યંત જરૂરિયાત હોય છે. બાષ્પોત્સર્જન દ્વારા ઝડપથી પાણી ગુમાવવામાં આવતુ હોવાથી પાણી એ પ્રકાશસંશ્લેષણની ક્રિયા માટે એક સિમિત પરિબળ છે. આમ વર્ષા જંગલોમાં મૂળથી પર્ણમાં થઈને વાતાવરણમાં અને છેલ્લે જમીનમાં પાણી પાછુ વળતું હોય છે અને જલચક્ર સતત ગતિશીલ રહે છે.

$C_4$ પ્રકાશસંશ્લેષણતંત્રના વિકાસક્રમ, સંભવતઃ કાર્બન ડાયોક્સાઇડની પ્રાપ્યતાને આધારે અને પાણીની ઉણપને ઓછી કરવાની નીતિને અંતર્ગત થાય છે. $C_4$ વનસ્પતિઓ, $C_3$ની તુલનામાં (શર્કરા બનાવવામાં) કાર્બન સ્થાપનની ક્રિયામાં બમણી સક્ષમ છે. $C_4$ વનસ્પતિઓ, $C_3$ વનસ્પતિઓ સમાન માત્રાના કાર્બન ડાયોક્સાઇડના સંયોગીકરણના હેતુથી અડધી માત્રામાં પાણીને ગુમાવે છે.

## 11.5 ખનીજ પોષક તત્ત્વોનું વહન તેમજ તેઓનું વિતરણ (Uptake and Transport of Nutrients)

વનસ્પતિઓ પોતાના માટે કાર્બન તેમજ મોટા ભાગનો ઑક્સિજનની જરૂરી માત્રા વાતાવરણમાં આવેલા કાર્બન ડાયોક્સાઇડમાંથી પ્રાપ્ત કરે છે. જો કે તેઓની બાકીની પોષણની જરૂરિયાત હાઇડ્રોજનની, ભૂમિમાંથી પ્રાપ્ત ખનીજ તત્ત્વો અને પાણીથી પૂરી થાય છે.

### 11.5.1 ખનીજ આયનોનું ઉર્ધ્વ વહન (Uptake of Mineral Ions)

પાણીની જેમ બધા ખનીજ તત્ત્વો મૂળ દ્વારા નિષ્ક્રિય રીતે શોષણ કરી શકતા નથી. તેના માટે બે પરિબળો જવાબદાર હોય છે. (i) ભૂમિની અંદર ખનીજ તત્ત્વો વીજભારયુક્ત સ્થિતિમાં હોય છે. જો કે કોષદીવાલને તેઓ પસાર કરી શકતા નથી અને (ii) ભૂમિમાં ખનીજ તત્ત્વોની સાંદ્રતા, મૂળની અંદર ખનીજ તત્ત્વોની સાંદ્રતા કરતાં સામાન્ય રીતે ઓછી હોય છે. એટલા માટે મોટા ભાગના ખનીજ તત્ત્વો મૂળના અધિ સ્તરના કોષોના કોષરસમાં **સક્રિય વહન** દ્વારા પ્રવેશે છે. તેથી તેમાં ATPના સ્વરૂપમાં ઊર્જાની આવશ્યકતા હોય છે. આયનોનું સક્રિય વહન મૂળના જલક્ષમતા ઢાળ માટે અંશતઃ જવાબદાર છે. આમ, આસૃતિ દ્વારા પાણીના પ્રવેશ માટે પણ કેટલાક આયનો બાહ્ય સ્તરના કોષમાં નિષ્ક્રિય સ્વરૂપથી પ્રવેશ કરી વહન પામે છે. મૂળરોમના કોષના કોષરસપટલમાં મળી આવતા વિશિષ્ટ પ્રોટીન, આયનોને ભૂમિમાંથી સક્રિય પંપ દ્વારા અધિ સ્તરના કોષોના કોષરસમાં મોકલે છે. બધા કોષોની જેમ અંતઃસ્તરના કોષોના કોષરસપટલમાં પણ કેટલાક વાહક પ્રોટીન મળી આવે છે. તેઓ કેટલાક દ્રાવ્ય પદાર્થોને પટલની આરપાર વિનિમય કરે છે; પરંતુ અન્યને પ્રવેશ પામવા દેતા નથી. અંતઃ સ્તરના કોષોના વાહક પ્રોટીન્સ નિયંત્રણ બિંદુ તરીકે હોય છે; જ્યાં વનસ્પતિઓ દ્રાવ્ય પદાર્થની માત્રા તેમજ તેના પ્રકારને જલવાહકમાં પહોંચાડે છે અને સમાયોજિત કરે છે. અહીંયા ધ્યાન આપો કે મૂળના અંતઃ સ્તરમાં સુબેરીનની પટ્ટી હોવાને કારણે એક જ દિશામાં સક્રિય વહન કરવાની ક્ષમતા ધરાવે છે.

### 11.5.2 ખનીજ આયનોનું સ્થળાંતરણ (Translocation of Mineral Ions)

જ્યારે આયનો સક્રિય કે નિષ્ક્રિય વહન દ્વારા કે પછી સંયુક્ત રીતથી જલવાહકમાં પહોંચી જાય છે; ત્યારે તેઓનું વહન વનસ્પતિના પ્રકાંડ તેમજ બધા ભાગો સુધી બાષ્પોત્સર્જનના પ્રવાહના માધ્યમથી થાય છે.

ખનીજ તત્ત્વો માટે મુખ્ય જરૂરિયાત (સિંક) વનસ્પતિઓની વૃદ્ધિ કરતાં વિસ્તારોને હોય છે. જેવાં કે, પ્રરોહાગ્ર તેમજ પાર્શ્વીય વર્ધમાન પેશી, તરુણ પર્ણો, વિકાસશીલ પુષ્પો, ફળ તેમજ બીજ અને સંગ્રહ સંબંધી કાર્ય કરતાં અંગો. ખનીજ આયનોનું વહન પાતળી શિરાઓના અંતિમ છેડા પર આવેલા કોષો દ્વારા પ્રસરણ તેમજ સક્રિય વહનથી થાય છે.

ખનીજ આયનોનું ઝડપથી પુનઃ સંગઠન વિશેષ સ્વરૂપેથી જૂના પુખ્તાવસ્થા વાળા ભાગમાં થાય છે. જૂના અને મૃત પામતાં પર્ણો તેમની અંદર આવેલા ખનીજ પદાર્થોને નવા પર્ણો તરફ કરે છે. એવી જ રીતે પર્ણો, પર્ણપતન દર્શાવતાં વૃક્ષ, પર્ણો ખરી પડતાં પહેલાં તેમના ખનીજ તત્ત્વોને અન્ય ભાગો તરફ મોકલી આપે છે. જે પદાર્થ સામાન્ય રીતે ત્વરિત વહન પામે કે સંઘટિત થતા હોય, જેવાં કે ફૉસ્ફરસ, સલ્ફર, નાઇટ્રોજન અને પોટૅશિયમ, કેટલાક તત્ત્વો જે સંરચનાત્મક ઘટક હોય છે. જેવાં કે, કેલ્શિયમ, તેઓનું પુનઃ સંગઠન થઈ શકતું નથી. જલવાહકના સ્રાવનું વિશ્લેષણ એ દર્શાવે છે કે કેટલાક નાઇટ્રોજન અકાર્બનિક આયનોના સ્વરૂપમાં અને તેનાં વધુ ભાગ કાર્બનિક એમિનો ઍસિડ અને સંબંધિત ઘટકોના સ્વરૂપમાં પરિવર્તન પામે છે. આ રીતે ફૉસ્ફરસ તેમજ સલ્ફર પણ કાર્બનિક સંયોજનોના સ્વરૂપમાં રૂપાંતરિત થાય છે. આના સિવાય જલવાહક તેમજ અન્નવાહકની વચ્ચે પણ પદાર્થોનો વિનિમય થાય છે. આથી, આપણે સ્પષ્ટ રીતે ભિન્નતા દર્શાવી શકતા નથી કે જલવાહક માત્ર અકાર્બનિક પોષક દ્રવ્યોનું વહન કરે છે અને અન્નવાહક માત્ર કાર્બનિક પદાર્થોનું વહન કરે છે. જો કે પહેલા આ મુદ્દા પર વિશ્વાસ કરાતો હતો.

## 11.6 અન્નવાહકમાં વહન : સ્રોતથી સિંકની તરફ વહન (Phloem Transport : Flow From Source to Sink)

ખોરાકનું એટલે કે મુખ્યત્વે શર્કરાનું વહન અન્નવાહક પેશી દ્વારા સ્રોત કે ઉદ્‌ગમ સ્થાનેથી જરૂરિયાતવાળા પ્રદેશ કે સિંક તરફ થાય છે. સામાન્યતઃ સ્રોતને વનસ્પતિનો તે ભાગ માનવામાં આવે છે કે જ્યાં ખોરાકનું સંશ્લેષણ થાય છે; જેમ કે, પર્ણો અને સિંક એટલે કે જરૂરિયાતવાળા પ્રદેશો છે. આ તે ભાગ છે, કે જ્યાં ખોરાક એકત્રિત થાય છે. પરંતુ, આ સ્રોત અને સિંક પોતાની ભૂમિકાઓ ઋતુ તેમજ જરૂરિયાતને અનુસરીને પણ બદલાઈ શકે છે. મૂળમાં એકત્રિત થયેલી શર્કરા વસંત ઋતુની શરૂઆતમાં ખોરાકનો સ્રોત બને છે. આ સમયે વનસ્પતિઓ પર નવી કલિકાઓ સિંકનું કામ કરે છે. પ્રકાશસંશ્લેષણના ભાગોની વૃદ્ધિ તેમજ વિકાસના હેતુસર ઊર્જાની આવશ્યકતા હોય છે. આમ સ્રોત અને સિંકનો સંબંધ પરિવર્તનશીલ છે. આથી વહનની દિશા ઉર્ધ્વ કે અધઃ કે ઉપર કે નીચેની તરફ અથવા **દ્વિદિશીય** હોઈ શકે છે. જલવાહકમાં વહન હંમેશાં નીચેથી ઉપરની તરફ **એક જ દિશામાં** થાય છે. જો કે બાષ્પોત્સર્જન દ્વારા પાણીનું વહન એક દિશીય થાય છે. પરંતુ અન્નવાહકના પ્રવાહીમાં ખોરાકના કણોનું વહન બધી દિશાઓમાં થઈ શકે છે. કારણ કે સ્રોત અને સિંક, શર્કરાનો ઉપયોગ સંગ્રહણ અને વિનિમય માટે સક્ષમ હોય છે.

અન્નવાહકના પ્રવાહી(તેનો કોષરસ)માં મુખ્યત્વે પાણી અને સુક્રોઝ હોય છે, પરંતુ અન્ય શર્કરાઓ, અંતઃસ્રાવો અને એમિનો ઍસિડ વગેરે પણ અન્નવાહક દ્વારા **સ્થળાંતરણ** પામે છે.