నత్రజని - ఆమ్లజని: ఇద్దరు మిత్రుల లేదా శత్రువుల కథ

*-

శ్రీ ఆరి సీతారామయ్య

మనం పీల్చే గాలిలో ప్రధానంగా రెండు మూలకాలు ఉన్నాయి. అవి ఆక్సిజెను, నైట్రోజెను. తెలుగులో ఆక్సిజెనును ఆమ్లజని లేదా ప్రాణవాయువు (ప్రా.వా.) అనీ, నైట్రోజెనును నత్రజని అనీ అంటాం.

గాలిలో ఆమ్లజని సుమారు 21% ఉంటే, నత్రజని దాదాపు 78% ఉంటుంది. రెండూ శ్వాస ద్వారా మన శరీరంలోకి ప్రవేశిస్తాయి. కానీ లోపలికి వెళ్లిన ఆమ్లజనిలో కొంత భాగాన్ని శరీరం ఉపయోగించుకుంటుంది. గాలి రూపంలోని నత్రజనిని మాత్రం శరీరం ఉపయోగించదు. కారణం అది N_2 రూపంలో ఉండటం. మన శరీరంలో దానిని ఉపయోగకరమైన రూపాల్లోకి మార్చే వ్యవస్థ లేదు. అందువల్ల అది దాదాపు యథాతథంగా బయటకు వచ్చేస్తుంది.

మీరు 70 కిలోల బరువు ఉన్నారని అనుకుందాం. అందులో దాదాపు 45-46 కిలోల బరువు ఆమ్లజనిదే. వాయువు రూపంలో ఉన్న ఆమ్లజని కాదు — ఆమ్లజనితో తయారైన నీరు, ప్రోటీన్లు, ఎముకలు వంటి పదార్థాల్లో ఉన్నది. నత్రజని మాత్రం రెండు కిలోలకంటే కొంచెం ఎక్కువ మాత్రమే ఉంటుంది. అది కూడా నత్రజని వాయువు కాదు, దానితో తయారైన ప్రోటీన్లు, DNA వంటి పదార్థాల్లో ఉంటుంది.

మరి గాలిలో ఎక్కువగా ఉన్న నత్రజని శరీరంలో ఎందుకు తక్కువ? గాలిలో తక్కువగా ఉన్న ఆమ్లజని శరీరంలో ఎందుకు ఎక్కువ? గాలి రూపంలో శరీరం ఉపయోగించలేని నత్రజనితో తయారైన పదార్థాలు మన శరీరంలోకి ఎలా వచ్చాయి? ఈ ప్రశ్నలకు సమాధానాలు తెలుసుకోవాలంటే మనము కోట్ల సంవత్సరాలు వెనక్కి వెళ్లాలి.

ఎచటినుండి వీచెనో...

భూమి ఏర్పడి దాదాపు 450 కోట్ల సంవత్సరాలు అయింది. భూమి, సూర్యుడు, ఇతర గ్రహాలు— వాటికంటే ముందున్న నక్షత్రాల అంత్యదశ విస్ఫోటనాల ద్వారా విడుదలైన దుమ్ము, వాయువుల మహా మేఘం నుంచి పుట్టాయి. ఆ మేఘాన్ని సౌర నెబులా (solar nebula) అంటారు. ఆ సౌర నెబులాలో నత్రజని N_2 రూపంలో ఉంది. కానీ స్వతంత్ర రూపంలో (O_2) ఆమ్లజని ఉండేది కాదు. ఎందుకంటే ఆమ్లజని చాలా చురుకైన మూలకం. అది వెంటనే ఇతర మూలకాలతో కలిసిపోతుంది. నీరు (H_2O), బొగ్గుపులుసు వాయువు (CO_2), రాళ్లలోని సిలికేట్లు, ఇనుము ఆక్సైడ్లు— ఇవన్నీ ఆమ్లజనిని మోసుకొచ్చిన రూపాలే. అంటే—ఆనాటి వాయుమేఘంలో నత్రజని వాయువు ఉంది, కానీ స్వతంత్ర ఆమ్లజని వాయువు లేదు.

భూమి ఆరంభ దశ – వాయువుల నిష్క్రమణ

భూమి ఏర్పడుతున్న కాలంలో ఉపరితల ఉష్ణోగ్రత 2000°C కంటే ఎక్కువగా ఉండేది. భూమి ఉపరితలం దాదాపు మొత్తం కరిగిన రాళ్ల సముద్రంలా ఉండేది. అధిక ఉష్ణోగ్రత, సూర్యుని నుండి వచ్చే తీవ్ర కిరణాల కారణంగా హైడ్రోజను, హీలియం, నీటి ఆవిరి, నత్రజని వంటి తేలికపాటి వాయువులు భూమి మీద స్థిరంగా నిలబడలేక అంతరిక్షంలోకి పారిపోయాయి. అందువల్ల ఆ ప్రారంభ దశలో భూమికి స్థిరమైన వాతావరణం లేదు. నత్రజని, ఆమ్లజని వంటి వాయువులు నిలకడగా ఉండే పరిస్థితి ఇంకా రాలేదు.

వాతావరణంలో మళ్లీ నత్రజని

ఆ తర్వాత కూడా భూమి అనేక ఢీకొట్లను ఎదుర్కొంది. చిన్న రాళ్ల నుంచి భారీ గ్రహశకలాల వరకూ అనేక వస్తువులు భూమిని ఢీకొన్నాయి. వాటితో పాటు నీరు, లోహాలు, వాయువులు భూమికి చేరాయి. ఈ ఢీకొట్లు కొన్నిసార్లు వినాశకరమైనవైనా, భూమి భవిష్యత్తుకు అవసరమైన పదార్థాలను అందించాయి.

కాలక్రమంలో భూమి ఉపరితలం మెల్లగా చల్లబడింది. నీరు ద్రవరూపంలో నిలబడగలిగే స్థితి వచ్చింది. కరిగిన రాళ్లు గట్టిపడ్డాయి.

అగ్నిపర్వతాల విస్ఫోటనల ద్వారా భూమి లోపల చిక్కుకున్న నీటి ఆవిరి, నత్రజని వంటి వాయువులు వాతావరణంలోకి విడుదలయ్యాయి. దాదాపు 380 కోట్ల సంవత్సరాల క్రితం భూమి మీద మొదటి సముద్రాలు ఏర్పడ్డాయి. ఆ కాలానికి వచ్చేసరికి వాతావరణంలో నత్రజని ప్రధాన వాయువుగా నిలిచింది.

కానీ — స్థిరమైన ఆమ్లజని ఇంకా లేదు.

నత్రజని ఎందుకు అంత మొండిది?

నత్రజని అణువు (N_2) లో రెండు నత్రజని పరమాణువులు మూడు బలమైన సహబంధాలతో ($N \equiv N$) కలిసి ఉంటాయి. ఈ మూడు బంధాలను తెగ్గొట్టడం చాలా కష్టం. అందువల్లే నత్రజని శ్వాసతో మన శరీరం లోకి వెళ్లి గణనీయమైన రసాయన మార్పు లేకుండా దాదాపు యథాతథంగా బయటకు వచ్చేస్తుంది.

కానీ జీవానికి నత్రజని తప్పనిసరి. ప్రోటీన్లు, DNA, RNA — ఇవన్నీ నత్రజని లేకుండా తయారుకావు.

అయితే జీవం పుట్టకముందు ఈ మొండి నత్రజనిని ఉపయోగపడే రూపంలోకి మార్చింది ఎవరు?

జీవం రావడానికి ముందు – ప్రకృతి చేసిన పని

భూమి మీద జీవం రాకముందు కాలంలో నత్రజనిని ఉపయోగపడే రూపాల్లోకి మార్చే పని ప్రకృతే చేసింది. మెరుపులు మెరిశాయి. అగ్నిపర్వతాలు పేలాయి. గ్రహశకలాలు ఢీకొన్నాయి. ఇవి అపారమైన శక్తిని విడుదల చేశాయి. మెరుపు మెరిసే సమయంలో గాలిలో ఉష్ణోగ్రత వేల డిగ్రీలకు చేరుతుంది. ఆ తీవ్రమైన వేడిలో నత్రజని, ఆమ్లజని అణువులు ప్రతిస్పందిస్తాయి. అప్పుడు ఇలా జరుగుతుంది:

వాతావరణంలో స్వేచ్ఛా ఆమ్లజని (O_2) లేదు. కానీ బొగ్గుపులుసు వాయువు (CO_2), నీటి ఆవిరి (H_2O) వంటి సంయోగాలలో ఆమ్లజని పరమాణువులు ఉన్నాయి. మెరుపుల అపారమైన శక్తి ఈ సంయోగాలను విచ్ఛిన్నం చేసి స్వేచ్ఛా ఆమ్లజని పరమాణువులను విడుదల చేస్తుంది.

$$CO_2 \rightarrow CO + O$$
$$H_2O \rightarrow H + OH$$
$$OH \rightarrow H + O$$

అప్పుడు:

$$N_2 \rightarrow 2\,N$$
$$N + O \rightarrow NO$$
$$NO + O \rightarrow NO_2$$

ఇలా ఏర్పడిన NO_2 వర్షపు నీటిలో కరిగి ఆమ్లాలుగా మారుతుంది:

$$2\,NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_2 + HNO_3$$ (HNO_3 అంటే నైట్రిక్ ఆమ్లం)

ఈ ఆమ్లాలు నీటిలో అయాన్లుగా విడిపోతాయి:

$HNO_3 \rightarrow H^+ + NO_3^-$ (NO_3^- అంటే నైట్రేటు)
$HNO_2 \rightarrow H^+ + NO_2^-$ (NO_2^- అంటే నైట్రైటు)

ఇలా నైట్రేటు, నైట్రైటు తయారయ్యాయి.

మరోవైపు, అధిక ఉష్ణోగ్రతల వద్ద నత్రజని, హైడ్రోజను కలిసి అమ్మోనియా (NH_3) ఏర్పడింది:

$$N_2 + 3\,H_2 \rightarrow 2\,NH_3$$

అమ్మోనియా నీటిలో కరిగి అమ్మోనియం అయింది:

$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$ (NH_4^+ అంటే అమ్మోనియం)

ఇలా నైట్రేటు, నైట్రైటు, అమ్మోనియం వంటి జీవానికి ఉపయోగపడే నత్రజని రూపాలు ఏర్పడ్డాయి.

జీవం ఆరంభం అయ్యే సమయానికి అవసరమైన కొన్ని మౌలిక పదార్థాలను ప్రకృతి ముందే సిద్ధం చేసింది. కానీ, ఈ ప్రక్రియల ద్వారా ఏర్పడిన నైట్రేటు, నైట్రైటు పరిమాణం పరిమితమే. అందువల్ల జీవం విస్తరించడానికి ప్రకృతి అందించిన ఈ నత్రజని పదార్థాలు సరిపోలేదు. ఇదే జీవ నత్రజని స్థిరీకరణ పరిణామానికి దారితీసింది (దీని గురించి తర్వాత మాట్లాడుకుందాం).

మొదటి జీవులు: వాటి అవసరాలు

మొదటి జీవులు ఎలా ఎప్పుడు ఏర్పడ్డాయో ఖచ్చితంగా చెప్పలేము. కానీ అవి అన్నీ ఏక కణ జీవులే. వాటి అవసరాలు చిన్నవి. ప్రాణులు ఏవైనా వాటికి ఉండే ముఖ్యమైన అవసరాలు మూడు:

1. నిర్మాణానికి అవసరమైన కర్బనం,
2. నిర్మాణ అవసరాలకు కావలసిన శక్తి,
3. వాడుకకు తగిన నత్రజని ఉన్న పదార్థాలు.

మొదటి ప్రాణులు వాతావరణంలో ఉన్న బొగ్గు పులుసు వాయువును హైడ్రోజెను వంటి ఎలక్ట్రాను దాతల సహాయంతో చిన్న చిన్న సేంద్రియ పదార్థాలుగా మార్చగలిగాయి. శక్తి కోసం లోహపు అయాన్లను, సేంద్రియ పదార్థాలను వాడుకోగలిగాయి. కానీ నత్రజని వాతావరణంలో ఎంత వున్నా వాడుకకు అవసరమైన రూపాల్లోకి (ఎమినో ఆమ్లాలు, జన్యు పదార్థం, ప్రొటీన్లు) మార్చే విధానం లేదు. ప్రకృతి ఏర్పాటు చేసిన కొద్దిపాటి నత్రజని పదార్థాల ప్రమాణానికి పరిమితం అయింది జీవం.

మనం మొదట శక్తి ని సమకూర్చటం ఎలా జరిగిందో తెలుసుకుందాం. తర్వాత నత్రజని వాడుక గురించి మాట్లాడుకుందాం. ఏదో ఒక పదార్థాన్నుంచి ఎలక్ట్రాన్లను దానికంటే కొంచెం ఎక్కువ ఎలక్ట్రాను ఆకర్షణ ఉన్న పదార్థానికి చేర్చితే కొంత శక్తి విడుదల అవుతుంది. అప్పటికి భూమి మీద ఇంకా గ్లూకోజు గానీ, అంత పెద్ద సేంద్రియ పదార్థాలు గానీ లేవు. సేంద్రియ అంటే కర్బనం, హైడ్రోజెను ఉన్న పదార్థాలు. ఈ కింది ఉదాహరణలు చూడండి.

బొగ్గుపులుసు వాయువు + హైడ్రోజెను → **మెథేను** + నీరు (~150 kJ శక్తి విడుదల)
బొగ్గుపులుసు వాయువు + హైడ్రోజెను → **ఎసిటేటు** + నీరు (~110 kJ శక్తి విడుదల)
(kJ Kilo Joules)

ఆ నాటి ప్రాణులు ఈ కొద్దిపాటి శక్తితోనే సరిపెట్టుకోవలసి వచ్చింది. అయితే ప్రకృతి శక్తుల ప్రభావంగా నీళ్లలో నైట్రైటు, నైట్రేటు, అమ్మోనియం ఏర్పడ్డాయని చెప్పుకున్నాం. అవి కణ నిర్మాణానికి ఉపయోగపడటమే కాకుండా శక్తి సంపాదనకు కూడా ఉపయోగపడ్డాయి.

ఇనుము + నైట్రేటు → ఇనుము ఆక్సైడు + నైట్రోజెను (~300-350 kJ శక్తి విడుదల)
అమ్మోనియం + నైట్రైటు → నైట్రోజెను + నీరు (~360 kJ శక్తి విడుదల)

మొదటి జీవులు ఇలాగ కొద్దిపాటి శక్తితోనే సరిపెట్టుకోవలసి వచ్చింది. అందుకే అవి ఒక్క కణం ఉన్న జీవులుగా మిగిలిపోయాయి.

బొగ్గుపులుసు వాయువు, హైడ్రోజెను, నైట్రేటు, నైట్రైటు, ఇవన్నీ ఆనాటి గాలిలో, నీళ్లలో ఉండేవి కాబట్టి పైన చెప్పిన రసాయన క్రియలు సాధ్యం అయ్యాయి. అంతే కాదు, మీరు గమనించే ఉంటారు – ఈ రసాయన క్రియల ద్వారా మొదటి చిన్న సేంద్రియ అణువులు (మెథేను, ఎసిటేటు) కూడా ఏర్పడ్డాయి. నీళ్లలో ఎసిటేటు, పైరువేటు లాంటి చిన్న సేంద్రియ ఆమ్లాలు చాలా ఏర్పడ్డాయి. వాటి నుండి శక్తిని విడుదల చెయ్యగల క్రియలు ఆనాటి జీవులకు ఉపయోగపడ్డాయి:

ఉదాహరణకు: పైరువేటు → ఎసిటేటు (~65 kJ శక్తి విడుదల)

ముఖ్యంగా తెలుసుకోవాల్సింది ఏంటంటే, **ఎలక్ట్రాన్ల కదలికే శక్తి.** ఆమ్లజని లేని కాలంలో ఈ కదలిక క్లుప్తంగా ఉండేది. ఆహారాన్నుండి కొద్దిపాటి శక్తిని మాత్రమే విడుదల చెయ్యడం సాధ్యం అయింది.

ఒక పదార్థంనుంచి ఎలక్ట్రాన్లను వేరుచెయ్యడాన్ని (తీసెయ్యడాన్ని) ఆక్సిడేషను (oxidation) అంటారు. దీన్ని తెలుగులో **ఆక్సీకరణ** అంటాము. ఈ పేరు కొంచెం గందరగోళం కలిగించవచ్చు. ఇందులోఆమ్లజని పాత్ర ఉండాలి కదా అనిపించవచ్చు. కానీ మనం పైన చెప్పుకున్నట్లు ఆమ్లజని ఉన్నా లేకపోయినా ఎలక్ట్రాన్లను తీసెయ్యవచ్చు. కాకపోతే ఆమ్లజనికి ఎలక్ట్రాను ఆకర్షణ చాలా ఎక్కువ కాబట్టి దాని సమక్షంలో ఒక పదార్థం ఆక్సిడేషను కు గురి కావడం సులభం. కానీ వాతావరణంలో ఇంకా ఆమ్లజని లేని కాలం గురించి మనం మాట్లాడుకుంటున్నాం ఇప్పుడు.

నత్రజని స్థిరీకరణ:

శక్తి సంపాదించడం గురించి మాట్లాడుకున్నాం. కణ నిర్మాణానికి అత్యవసరమైన మరొక విషయం నత్రజనిని వాడటం. ఎందుకంటే జన్యు పదార్థంలో, ప్రొటీన్లలో, ఆహారం నుండి శక్తిని బయటకు లాగడానికి అవసరమైన చాలా పదార్థాల్లో (ఉదా: వైటమిన్లలో) నత్రజని ఉండాలి. వాయువు రూపంలో ఉన్న నత్రజనిని ఉపయోగపడే రూపంలోకి తీసుకురావడాన్ని **స్థిరీకరణ** అంటారు. “గాలి రూపంలో శరీరం ఉపయోగించని నత్రజనితో తయారైన పదార్థాలు మన శరీరంలోకి ఎలా వచ్చాయి?” అని మనం మొదట వేసుకున్న ప్రశ్నకు సమాధానం.

స్థిరీకరణ జీవ పరిణామంలో అత్యంత ప్రాచీన ఘట్టాలలో ఒకటి. ఆదిమ భూమి మీద నత్రజని (N_2) అపారంగా ఉన్నప్పటికీ, అది బలమైన మూడు సహబంధాలతో రసాయనికంగా స్థిరంగా ఉండటం వల్ల జీవానికి నేరుగా ఉపయోగపడలేదు. ఇంకా వాతావరణంలో సముద్రాల్లో ఆమ్లజని లేని కాలంలో లోహసమృద్ధమైన వాతావరణంలో, కొన్ని ప్రాచీన సూక్ష్మజీవులు నైట్రోజినేజ్ (nitrogenase) అనే ఎంజైము సహాయంతో నత్రజనిని అమ్మోనియాగా (NH_3) మార్చగలిగాయి. ఈ ప్రక్రియకు విపరీతమైన శక్తి (ATP), బలమైన ఎలక్ట్రాను దాతలూ

అవసరమయ్యేవి; అవి హైడ్రోజెను, ఇనుము (Fe^{2+}), గంధక సంయోగాలు వంటి **భూభౌతిక (geophysical)** మూలాల నుండి లభించేవి.

నత్రజని → అమ్మోనియా

$$N_2 + 8\,H^+ + 8\,e^- + 16\,ATP \rightarrow 2\,NH_3 + H_2 + 16\,ADP$$

ఈ రసాయన క్రియ జరగడానికి ఖర్చయ్యేది సుమారు 16 ATP ≈ 488 kJ/mol. (జీవకణంలో ఉండే పరిస్థితుల్లో అది ~700–800 kJ వరకు ఉండవచ్చు.) ఉపయోగకరమైన రూపంలోకి తీసుకురావడం (స్థిరీకరణ చెయ్యడం) అంత కష్టమైన, శక్తి ఖర్చుతో కూడిన పని.

అలా ఉత్పత్తి అయిన అమ్మోనియా జీవకణాలకు ఎంతో సులభంగా ఎమినో ఆమ్లాలు, ప్రోటీన్లు, న్యూక్లెయిక్ ఆమ్లాలు నిర్మించడానికి ఉపయోగపడింది. ఆ కాలంలో ఆమ్లజని లేకపోవడంతో అమ్మోనియాను నైట్రైటు, నైట్రేటులుగా ఆక్సీకరించే ప్రక్రియలు విస్తృతంగా జరగలేదు; అవి ఆమ్లజని అందుబాటులోకి వచ్చిన తర్వాత మాత్రమే ప్రధానమయ్యాయి.[1] ఆదిమ ప్రపంచంలో అమ్మోనియా ప్రధాన జీవనాధార రూపంగా ఉన్నట్టు భావిస్తున్నారు శాస్త్రజ్ఞులు.

జీవ పరిణామక్రమంలో మరికొన్ని క్లిష్టమైన మలుపులు:

హైడ్రీకరణ: ముందు మీకు ఒక మాటను పరిచయం చెయ్యాలి. అది **ఆక్సీకరణకు** విరుద్ధమైన ప్రక్రియ - రిడక్షను (Reduction). ఒక పదార్థానికి ఎలక్ట్రాన్లను ఎక్కించడం రిడక్షను. కణ నిర్మాణానికి అత్యంత ముఖ్యమైన అవసరం ఈ రిడక్షను. అయితే ఈ మాట కూడా తికమక కలిగించేదే. రిడక్షను ని తెలుగులో **తగ్గింపు** అని రాస్తున్నారు. తగ్గింపేంటి? ఎలక్ట్రాన్లను ఎక్కిస్తున్నాం కదా? మనకు ఈమాట (రిడక్షను-తగ్గింపు) వాడుక వెనుక ఉన్న చరిత్ర కొంత తెలిస్తే దీనికి అలాంటి పేరు ఎందుకు వచ్చిందో అర్థం అవుతుంది.

లోహాలు తయారు చెయ్యడానికి ఖనిజాన్ని కోకు (ఇంధన బొగ్గు) తో కలిపి వేడి చేస్తారు. ఖనిజంలో ఉన్న లోహపు ఆక్సైడు నుంచి ఆమ్లజని బొగ్గులో ఉన్న కర్బనానికి చేరుతుంది

[1] అమ్మోనియాను నైట్రేట్‌గా మార్చే ప్రక్రియను "నైట్రిఫికేషన్" అంటారు. ఈ పని సాధారణ రసాయనిక మార్పు కాదు; ఇది కొన్ని ప్రత్యేక జీవుల కృషి. గాలిలో ఆమ్లజని (ఆక్సిజన్) దొరికే పరిసరాల్లో నివసించే సూక్ష్మజీవులు అమ్మోనియాను మొదట నైట్రైట్‌గా, తరువాత నైట్రేట్‌గా మారుస్తాయి. ఈ జీవులు అమ్మోనియా లేదా నైట్రైట్‌ను శక్తి వనరులుగా ఉపయోగించి జీవిస్తాయి. అలా ఏర్పడిన నైట్రేట్ భూమి జీవక్రియలో ఒక కీలక పాత్ర పోషిస్తుంది. మొక్కలూ, అనేక సూక్ష్మజీవులూ నైట్రేట్‌ను తిరిగి అమ్మోనియంగా మార్చి, దానిని అమినో ఆమ్లాలు, ప్రోటీన్లు, న్యూక్లియోటైడ్లు వంటి జీవ పదార్థాల నిర్మాణానికి ఉపయోగిస్తాయి. ఆమ్లజని లేని వాతావరణాల్లో, కొన్ని జీవులు నైట్రేట్‌ను ఆఖరి ఎలక్ట్రాన్ స్వీకర్తగా ఉపయోగించి దాన్ని దశలవారీగా నైట్రోజన్ **వాయువుగా మార్చుతాయి**. ఈ ప్రక్రియ ద్వారా శక్తి (ATP) ఉత్పత్తి అవుతుంది. మరికొన్ని సందర్భాల్లో, నైట్రేట్ మళ్లీ అమోనియంగా మారి పర్యావరణంలోనే నిలిచి ఉంటుంది.ఈ విధంగా, నైట్రేట్ భూమి మీద నత్రజని చక్రాన్ని పూరించడమే కాదు — జీవం, శక్తి, వాయుమండలం మధ్య జరిగే గాఢమైన పరస్పర సంబంధానికి ఒక కీలక మైన సేతువుగా నిలుస్తుంది.

చాలా క్లుప్తంగా $FeO + C \rightarrow Fe + CO$

పెద్ద మోతాదు ఖనిజం నుంచి చాలా తక్కువ ఇనుము తయారువడం తగ్గింపే కదా! అందుకే దాన్ని రిడక్షను అన్నారు. మరో కారణం ఒక పదార్థం ఎలక్ట్రాన్లను కోల్పోయినట్లు చూపించడానికి అలవాటు చేసుకున్న పద్ధతి (సాంప్రదాయం). Mg^{2+} అంటే మెగ్నీషియం రెండు ఎలెక్ట్రాన్లను కోల్పోయిందని. ఎలక్ట్రాను నెగెటివు కాబట్టి అది లేకపోవడాన్ని పాజిటివుయిగా రాయడం అలవాటైన వారికి, Mg^{2+} కు ఒక ఎలెక్ట్రాను చేరితే అది Mg^{+} అయిందని చెప్పడం ఎలాగా? ఎలక్ట్రాను సంఖ్య పెరిగిందనా, పాజిటివు చార్జి తగ్గిందనా? పాజిటివు చార్జి తగ్గిందని చెప్పడానికి శాస్త్రవేత్తలు అలవాటుపడ్డారు. చార్జి తగ్గింది కాబట్టి అది తగ్గింపు (రిడక్షను).[2] అయితే దాన్ని తెలుగులో తగ్గింపు అని రాయడం నాకైతే ఎబ్బెట్టుగా అనిపించింది.

ఆమ్లజని ఉన్నా లేకపోయినా ఎలక్ట్రాన్లను తీసెయ్యడం ఆక్సిడేషను అంటాం అని చెప్పుకున్నాం కదా. మనం పైన చెప్పుకున్న ఉదాహరణలో ($FeO + C \rightarrow Fe + CO$), Fe నుండి రెండు ఎలక్ట్రాన్లు ఆమ్లజని తీసుకుంటే FeO ఏర్పడింది. దాన్ని వేరుచేసి శుభ్రమైన Fe తయారు చేయాలంటే Fe కి రెండు ఎలక్ట్రాన్లు కావాలి. వాటిని ఇచ్చింది బొగ్గులో ఉన్న కర్బనం. అలా ఎలక్ట్రాన్లను ఇచ్చే పదార్థాలను, లేక మూలకాలను రెడ్యూసింగు ఏజెంట్లు (ఎలక్ట్రాను దాతలు) అంటారు. చాలా రసాయన క్రియల్లో హైడ్రోజెను ఎలెక్ట్రాన్ దాతగా పనిచేస్తుంది. ఉదాహరణకు $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$. అందువల్ల ఇకనుండి ఈ రిడక్షను అన్న పదాన్ని నేను **హైడ్రీకరణ**గా రాస్తాను.

ప్రకాశ సంయోగం (photosynthesis):

అమ్మోనియాను తయారుచెయ్యడానికి చాలా శక్తి కావాలి. ఎలక్ట్రాను దాతలు కావాలి. జీవ పరిణామ క్రమంలో ఈ అవసరాల ఒత్తిడి నుంచి వెలువడిన ఒక గొప్ప మార్పు ఏమిటంటే, సూర్యరశ్మిలోని శక్తిని వాడి, ఎలక్ట్రాను దాతలనూ రసాయన శక్తినీ సమకూర్చుకోగలగడం. సూర్యరశ్మిని వాడి హైడ్రోజెను సల్ఫైడు (H_2S) లాంటి పదార్థాలనుండి ఎలక్ట్రాన్లను వేరుచెయ్యడం నేర్చుకున్నాయి కొన్ని సూక్ష్మజీవులు. ఆ ఎలక్ట్రాన్లను వాడుకకు అనువైన పదార్థాలకు (NAD+ లాంటి) ఎక్కించాయి. వాటిని తర్వాత నిర్మాణ క్రియలకు ఎలక్ట్రాను దాతలుగా వాడుకున్నాయి. లేక అవసరం అయినప్పుడు వాటి నుండి ఆక్సీకరణ ద్వారా ఎలక్ట్రాన్లను వేరు చేసి శక్తిని బయటకు లాగాయి.

సూర్యకాంతిని ఉపయోగించి సమకూర్చుకున్న శక్తినీ, ఎలెక్ట్రాను దాతలనూ వాడి బొగ్గులు పులుసు వాయువు నుండి చక్కెరల వంటి అణువులను తయారు చేయడం నేర్చుకున్నాయి సూక్ష్మజీవులు. దీన్ని మనం **ప్రకాశ సంయోగం (photosynthesis)** అంటాం. దీని ద్వారా సేంద్రియ పదార్థాలు విస్తృతంగా ఉత్పత్తి కావడం వలన జీవవ్యవస్థలు మరింత స్థిరపడ్డాయి, విస్తరించాయి.

మనం పైన చెప్పుకున్న నైట్రోజినేజి అత్యంత సున్నితమైనది. మరొకసారి ఆ స్థిరీకరణ చర్యను చూడండి. అందులో ఎలక్ట్రాన్లు నత్రజనితో కలుస్తాయి. ఆమ్లజనికి ఉన్న ఎలక్ట్రాన్ ఆకర్షణ నత్రజని కంటే ఎక్కువ. అందువల్ల ఆమ్లజని ఉన్న చోట నత్రజని స్థిరీకరణ జరగటం అసాధ్యం.

---

[2] మనకు బాగా వాడుకలో ఉన్న మాటలు కొన్ని నాకు ఇలాగే అనిపిస్తాయి. అలాంటి పదాల్లో మరొకటి Chemical Reaction (రసాయన క్రియ) ని ప్రతిక్రియ అనడం. దెబ్బకు దెబ్బ అన్నట్లు! Reaction దేనికి ప్రతిక్రియ? ఇలాంటి బొత్తిగా అవగాహన కలిగించలేని మాటల వాడకాన్ని మనం తొలగించాలని నా మనవి.

$$N_2 + 8\ H^+ + 8\ e^- + 16\ ATP \rightarrow 2\ NH_3 + H_2 + 16\ ADP$$

ఆమ్లజని ఉన్నపుడు నైట్రోజినేజి నిర్వీర్యమవుతుంది. కాని ఆ కాలంలో ఆమ్లజని లేనందున, ఈ ఎంజైము సురక్షితంగా పనిచేసింది. అమ్మోనియా ఉత్పత్తి అయింది. ఆ అమ్మోనియానే అమినో ఆమ్లాలు, ప్రోటీన్లు, న్యూక్లెయిక్ ఆమ్లాలు నిర్మించడానికి మూలంగా మారింది. జీవ నిర్మాణం విస్తరించింది. సంక్లిష్టత పెరిగింది. ఇది జీవ పరిణామంలో ఒక నిశ్శబ్ద విప్లవం.

ప్రకాశ సంయోగం ద్వారా చక్కెరలు విస్తృతంగా ఉత్పత్తి అయినా వాటి నుండి శక్తిని బయటకు లాగడం ఇంకా పూర్వ దశలోనే ఉండిపోయింది. ఒక సేంద్రియ పదార్థాన్నుంచి ఎలక్ట్రాన్లను మరొక సేంద్రియ పదార్థానికి మార్చడాన్ని **ఫెర్మెంటేషను** అంటారు. అలాంటి ఫెర్మెంటేషను ప్రక్రియ ద్వారా సూక్ష్మజీవులు గ్లూకోజు నుండి కొద్దిపాటి శక్తిని తీసుకో గలిగాయి.

అందరికీ తెలిసిన ఫెర్మెంటేషను క్రియలు: వైను తయారుచేసే సూక్ష్మ క్రిములూ, పెరుగు తయారుచేసే క్రిములూ ఈ ఫెర్మెంటేషను ప్రక్రియను వాడతాయి. వాటికి ఒక్కో గ్లూకోజు అణువునుండి 2 ATP లు (దాదాపు 60 KJ/mol, జీవ కణాల్లో ఇంకా కొంచెం ఎక్కువ) మాత్రమే లభిస్తాయి.

గ్లూకోజు $\rightarrow$ లాక్టికు ఆమ్లం + 2 ATP (పెరుగు తయారు కావడంలో)
గ్లూకోజు $\rightarrow$ ఎథనాలు + 2 ATP (వైను తయారు కావడంలో)

ముఖ్యంగా తెలుసుకోవాల్సింది ఏంటంటే, పదార్థాలు అవి చిన్నవైనా పెద్దవైనా, లోహపు అయాన్లయినా **ఎలక్ట్రాన్ల కదలిక ద్వారా జీవాలు శక్తిని సమకూర్చుకోవడం జరిగింది.** ఆమ్లజని లేని కాలంలో ఈ కదలిక క్లుప్తంగా ఉండేది. ఆహారాన్నుండి కొద్దిపాటి శక్తిని మాత్రమే విడుదల చెయ్యడం సాధ్యం అయింది.

ఆమ్లజని విడుదల:

తర్వాత పరిణామంలో ఒక అత్యంత విప్లవాత్మకమైన ఆవిష్కరణ వచ్చింది — అది హైడ్రోజెను సల్ఫైడు స్థానంలో నీటిని వాడి ప్రకాశ సంయోగం జరపడం. అంటే నీటిని (H_2O) విభజించి ఎలక్ట్రాన్లు పొందడం. నీరు సమృద్ధిగా లభ్యమైన మూలకం. కాని దానిని విభజిస్తే ఉపఉత్పత్తిగా ఆమ్లజని (O_2) విడుదల అవుతుంది. ఈ నైపుణ్యాన్ని అభివృద్ధి చేసినవే సయానో బాక్టీరియా (Cyanobacteria) అనే సూక్ష్మ క్రిములు. ఇవి నీటిని విభజించి, సూర్యకాంతి శక్తితో చక్కెరలను నిర్మించి, ఆమ్లజనిని విడుదల చేయసాగాయి.

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{కాంతి శక్తి} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

తొలి దశలో అలా విడుదలైన ఆమ్లజని సముద్రాల్లోని ఫెర్రసు ఇనుముతో కలిసి దాన్ని తుప్పుగా మార్చింది.

$$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-$$

$$4\,Fe^{2+} + O_2 + 4\,H^+ \rightarrow 4\,Fe^{3+} + 2\,H_2O$$
$$Fe^{3+} + 3\,H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 \downarrow + 3\,H^+$$ $Fe(OH)_3$ అంటే తుప్పు

ఇలా సముద్రాలు ఆమ్లజనిని గ్రహించాయి. కానీ ఆమ్లజనిని నింపుకోగలిగిన ఈ రసాయనిక "సింకు"లు (ఫెర్రస్ ఇనుము లాంటి లోహాలు) నిండిపోయిన తరువాత, ఆమ్లజని వాతావరణంలో పేరుకుపోవడం ప్రారంభమైంది. వాతావరణంలో ఇలా క్రమేణా ఆమ్లజని స్థాయి పెరుగుతూ సుమారు 240 కోట్ల సంవత్సరాల క్రితం ఆమ్లజని యుగం ఆరంభమయ్యింది (Great Oxygenation Event).

ప్రాణ వాయువు ముఖ్య పాత్ర:

సూక్ష్మ జీవులనుండి మన శరీర కణాలవరకూ, జీవుల్లో దాదాపు అన్నిటిలోనూ ఆహారాన్నుంచి ఇదివరకు వీలుగాని స్థాయిలో శక్తిని బయటకు లాగడానికి ఆమ్లజని ఉపయోగపడుతుంది. ఆమ్లజనిని మనం ప్రాణవాయువు అంటాం. అలా అనడానికి ముఖ్యమైన కారణం - జీవ కణాలు ఆహారంలో ఉన్న గ్లూకోజు నుండి ఎలక్ట్రాన్లను విడదీసి వాటిని నిల్వ చెయ్యగల పదార్థాలకు ఎక్కిస్తాయి. ఆ పదార్థాలనుండి వాటికంటే ఎక్కువ ఎలక్ట్రాను ఆకర్షణ ఉన్న పదార్థానికి కదులుతాయి ఎలక్ట్రాన్లు. దాన్నుంచి ఇంకా కొంచెం ఎక్కువ ఆకర్షణ ఉన్న దానికి, అలాగే మరో దానికీ ఇలా కదులుతూ పోతాయి. దీన్ని **ఎలక్ట్రాను రవాణా గొలుసు (electron transport chain)** అంటారు. **ఈ గొలుసు చివరన ఆ ఎలక్ట్రాన్లను ఆమ్లజని స్వీకరిస్తుంది**. ఆ ఎలక్ట్రాన్లను ప్రోటాన్లతో కలిపి నీటిని తయారు చేస్తుంది.

$$O_2 + 4\,e^- + 4\,H^+ \rightarrow 2\,H_2O$$

ఈ చివరి క్రియను నిర్వహించే ఎంజైమును సైటోక్రోమ్ ఆక్సిడేజ్ (cytochrome oxidase) అంటారు. మనం పీల్చే గాలిలో ఉన్న ఆమ్లజనిలో 95-99 శాతాన్ని వాడేది ఈ ఎంజైమే!

ఎలక్ట్రాన్లు తక్కువ ఆకర్షణ ఉన్న పదార్థం నుంచి ఎక్కువ ఆకర్షణ ఉన్న పదార్థానికి చేరినప్పుడు కొంత శక్తి విడుదల అవుతుంది. ఆ రెండు పదార్థాల మధ్య ఎలక్ట్రాను ఆకర్షణలో ఎంత పెద్ద తేడా ఉంటే అంత ఎక్కువ శక్తి వెలువడుతుంది. కానీ విపరీతమైన తేడా ఉంటే విడుదలయిన శక్తి శరీరాన్ని కాల్చెయ్యగలదు. అందువల్లే మన శరీరం ఎలక్ట్రాన్లను అంచెలంచెలుగా రవాణా చేస్తూ చివరకు ఆమ్లజనికి చేర్చుతుంది.

అలా విడుదల అయిన శక్తిని తర్వాత వాడుకోవడానికి ఉపయోగపడే ATP రూపంలోకి మార్చుతాయి జీవకణాలు. మన కణాలు ఒక గ్లూకోజు అణువునుండి 30-32 ATP లను తయారు చేస్తాయి (aerobic). ఆమ్లజని లేనిదే ఇది సాధ్యం కాదు. మనం ఇదివరకే చూశాం – ఆమ్లజని లేకుండా (anerobic) చేసే ఎలక్ట్రాను కదలిక ద్వారా విడుదల అయ్యేది కొద్దిపాటి శక్తి మాత్రమే !

గ్లూకోజు → లాక్టికు ఆమ్లం + 2 ATP (పెరుగు తయారు కావడంలో)
గ్లూకోజు → ఎథనాలు + 2 ATP (వైను తయారు కావడంలో)

అంటే ఆమ్లజని ఉన్నప్పుడు దాదాపు 15-16 రేట్లు అధికంగా శక్తి సమకూరుతుంది! అందుకే మనం దాన్ని ప్రాణ వాయువు అంటాం.

ఆమ్లజని జీవానికి వరమా? శాపమా?

మళ్ళా ఆమ్లజని వాతావరణంలోకి విడుదల అయిన మొదటి కాలానికి వెళ్దాం. ఆమ్లజని అత్యంత ప్రతిస్పందనశీల మూలకం. ఆమ్లజని లేని ప్రపంచంలో బ్రతుకుతున్న జీవులకు ఇది విషం. ప్రోటీన్లు ఆక్సీకరించబడ్డాయి. జన్యు పదార్థం (DNA) దెబ్బతిన్నది. లోహ కేంద్రాలు (metal centers) నిర్వీర్యమయ్యాయి. ముఖ్యంగా నైట్రోజినేజిని కలిగి ఉండి ఆమ్లజనిని సహించలేని అనేక జీవులు అంతరించి పోయాయి లేదా ఆమ్లజని లేని ప్రాంతాలకు పరిమితమయ్యాయి. నత్రజని స్థిరీకరణ మీద ఆధారపడి ఉన్న జీవులకు ఇది మహా విపత్తుగా పరిణమించింది.

ఆమ్లజనికి అలవాటు పడని అనేక జీవులు అంతరించిపోయాయి. కొన్ని సముద్రపు అడుగుభాగాలకు చేరాయి. కొన్ని మట్టిలో, భూగర్భంలో, హైడ్రోథర్మల్ ప్రాంతాల్లో ఆశ్రయం పొందాయి. ఆమ్లజని లేని సూక్ష్మపరిసరాలు (microenvironments) ఏర్పడ్డ చోట్ల జీవం నిలిచింది. జీవం అంతరించలేదు — అది పొరలుగా విభజించబడింది. ఆమ్లజనిని భరించలేని జీవులు మన కంటికి కనబడని చోట్లకు, ఆమ్లజని చేరలేని చోట్లకు చేరుకున్నాయి.

కానీ జీవ పరిణామం ఇక్కడ ఆగలేదు.

నత్రజని స్థిరీకరణ లేనిదే ఏ జీవం అయినా నిర్మాణ కార్యక్రమాలు జరపలేదు. అందువలన దాన్ని కొనసాగించడానికి జీవాలు అసాధారణ పరిష్కారాలను అభివృద్ధి చేసుకున్నాయి.

కొన్ని Cyanobacteria జాతుల్లో, కణ విభజన ద్వారా ప్రత్యేక కణాలు ఏర్పడ్డాయి — వీటిని హెటరోసిస్ట్స్ (heterocysts) అంటారు. ఈ హెటరోసిస్టు కణాలలో నీటిని విభజించే ప్రకాశ సంయోగం జరగదు. అందువల్ల ఆమ్లజని ఉత్పత్తి ఆగిపోతుంది. మందమైన గోడలతో ఆమ్లజని ప్రవేశం నిరోధించబడుతుంది. లోపల nitrogenase సురక్షితంగా పనిచేస్తుంది. ఇది స్థల విభజన (spatial separation) పద్ధతి.

మరికొన్ని జీవాలు కాల విభజన (temporal separation) ను అనుసరించాయి. పగటిపూట ప్రకాశసంయోగం చేసి ఆమ్లజనిని ఉత్పత్తి చేస్తాయి. రాత్రిపూట, ఆమ్లజని స్థాయి తగ్గినప్పుడు, నత్రజని స్థిరీకరణ జరుపుతాయి.

కొన్ని జీవాలు అధిక శ్వాసక్రియ (high respiration rates) ద్వారా కణం లోపలి ఆమ్లజనిని త్వరగా వినియోగించి, నైట్రోజినేజిను రక్షిస్తాయి.

మరికొన్ని ప్రాణులు రక్షణాత్మక ప్రోటీన్లను అభివృద్ధి చేశాయి. వేరు శనగలు, పెసర్లు, శనగలు, మినుములు వంటి పప్పు దినుసుల మొక్కలు తమ వేళ్ళలో ప్రత్యేకమైన గడ్డల (root nodules) ను ఏర్పరుస్తాయి. ఈ గడ్డల్లో నత్రజనిని స్థిరీకరించే సూక్ష్మ జీవులు నివసిస్తాయి. అవి మొక్కలకు నత్రజని ఉన్న పదార్థాలు అందిస్తే, మొక్క వాటికి కావలసిన ఆహారాన్ని అందిస్తుంది. ఆమ్లజని అధికంగా ఉంటే ఈ జీవులు బతకలేవు కాబట్టి దాన్ని తగ్గించి ఉంచడానికి మొక్క ఒక ప్రోటీనుని తయారు చేస్తుంది. దాని పేరు **లెగ్ హీమోగ్లోబిను**. అది మన హీమోగ్లోబిను లాంటిదే. ఆమ్లజనిని గట్టిగా పట్టుకుంటుంది. ఆ ప్రోటీను గడ్డల చుట్టూ ఉంటుంది కాబట్టి సూక్ష్మజీవులు క్షేమంగా నత్రజని స్థిరీకరణ చేస్తాయి. మొక్కకూ సూక్ష్మజీవులకూ వాటి అవసరాలు తీరతాయి! ఇది జీవ పరిణామంలో అత్యంత విజయవంతమైన భాగస్వామ్యాల్లో ఒకటి.

ముగింపు

జీవ పరిణామ క్రమంలో నత్రజని, ఆమ్లజని పాత్రలు అసాధారణమైనవి.

గాలిలో మిత్రులుగా సఖ్యంగా ఉన్నా, వాటి చరిత్రల్లో, స్వభావాల్లో, ప్రభావాల్లో ఒక గొప్ప విరోధాభాసం కనిపిస్తుంది:

జీవాన్ని నిర్మించడానికి నత్రజని అవసరం.
జీవానికి అపార శక్తిని ఇవ్వడానికి ఆమ్లజని అవసరం.
కానీ నత్రజని స్థిరీకరణ యంత్రాంగానికే ఆమ్లజని ప్రమాదకరం.

మొదట నత్రజని జీవాన్ని నిర్మించింది.

తర్వాత ఆమ్లజని జీవానికి అపార శక్తిని అందించి ఏక కణ జీవులు పెద్ద జంతువులుగా చెట్లుగా అవతరించడానికి వీలు కలిగించింది.

అయితే, ఆ శక్తి మొదట వినాశక రూపంలో వచ్చింది.

కానీ ఎంత గొప్ప, సంక్లిష్టమైన ప్రాణి అయినా అన్నీ నత్రజనిని స్థిరీకరించే ఏక కణ జీవులమీద ఆధారపడేవే — ఈ నాటికీ !

నత్రజని-ఆమ్లజని చరిత్రల మధ్య ఉన్న ఈ సంఘర్షణ — భూమి మీద సంక్లిష్ట జీవ పరిణామానికి పునాది వేసింది.[3]

* * *

శ్రీ ఆరి సీతారామయ్య గారు జీవరసాయన శాస్త్రం లో Ph.D. పట్టా పొంది, అమెరికాలో మిషిగన్ రాష్ట్రం లోని ఓక్లాండ్ విశ్వ విద్యాలయంలో బియోమెడికల్ సైన్సెస్ ఆచార్యులుగా పనిచేసి విరమించారు. ప్రస్తుత నివాసం హెరెండన్ పట్టణంలో (వర్జీనియా రాష్ట్రం).

[3] మొదట అడిగిన ప్రశ్నల్లో ఒకటి మనశరీరంలో ఆమ్లజని అంత ఎక్కువగా ఎందుకు ఉంటుంది అని కదా? దీనికి సమాధానం మీకు తెలిసే ఉంటుందని ప్రత్యేకంగా చెప్పలేదు. ఒక 70 Kg బరువున్న మనిషిలో దాదాపు 42 కిలోల నీరు ఉంటుంది. నీటిలో దాదాపు 89% బరువు ఆమ్లజనిదే!