



మొదటి సంపుటము

జనవరి 2026

రెండవ సంచిక

# విజ్ఞాన భారతి

సంపాదకుడు: పరిగి మదన్ మోహన్

రెండు నెలలకొకసారి ప్రమరించబడును

సంపుటి 1

జనవరి 2026

సంచిక 2

## విషయ సూచిక

	3	సంపాదకీయము
	4	మనవి
శ్రీ ఆరి సీతారామయ్య	5	హిమోగ్నోబినులో దూరపు సంబంధాలు
శ్రీ అంగర గోపాలకృష్ణరావు	15	విజయవాడ తాప విద్యుత్ కేంద్రం ఆవిర్భావం
శ్రీ కొచ్చెర్లకోటు బాపారావు	23	పరిమిత దశా యంత్రం: కృతిమ మేధ పరికరాల అవగాహనకి మొదటి మెట్టు
శ్రీ జెజాల కృష్ణమోహనరావు	37	సౌష్టవము - 2
శ్రీ గాడేపల్లి సుబ్రహ్మణ్యం	41	చీకటి నుంచి వెలుగు దాకా: విద్యుత్తు పాత్ర
	45	ధన్యవాదాలు



విజ్ఞాన భారతి ప్రమరణలు. ఫ్రెడరిక్. మేరీల్యాండ్. అమెరికా.

## సంపాదకీయం

విజ్ఞాన భారతి రెండవ సంచికకు స్వాగతం. ముందుగా మొదటి సంచికను చదివి తమ స్పందనలను తెలియజేసిన వారికి, పాతకులకు అందరికీ మా హృదయపూర్వక కృతజ్ఞతలు.

గత నాలుగైదు వందల ఏళ్లగా విజ్ఞాన శాస్త్ర పరంగా సాంకేతికతా పరంగా జరిగిన అభివృద్ధి ప్రధానంగా యూరపులో కేరంద్రిక్యతమై సాగిందని తెలుగు విజ్ఞాలకు తెలుసు. ఆ పరిణామాలకు గల పలు కారణాలను జార్జ్ సార్టన్ (Sarton) వంటి విజ్ఞాన చరిత్రకారులు చక్కగా విపులంగా విశేషించి వివరించారు. అదొక సాహిత్య ప్రక్రియ. విజ్ఞాన శాస్త్రం వెనుక గల చరిత్ర. Sarton వంటి విపులమైన గ్రంథాలు భారతీయ వైజ్ఞానికుల చరిత్రపై లేవనే చెప్పుకోవాలి.

ఆయన గ్రంథాల ద్వారా ఇంగ్లీషు తదితర యూరపు భాషల వైజ్ఞానిక సాహిత్య వృద్ధిలో అనువాదాల ప్రముఖ ప్రాతి మనకు తెలుస్తుంది. పరిశోధనలలో కనుగొనికలలో ఇటలీ, ప్రాస్పు, జర్జీనీలు ముందడుగు వేసి గ్రంథ రచన గావిస్తున్నప్పుడు, వాటికి కొంత ఆలస్యంగా నైనా సంకలించి, పూనుకొని, సమర్పుత్తెన పండితులచే అనువాదాలను వెలయించుకున్నారు ఇంగ్లీషువారు. కొన్ని సందర్భాలలో ఆ ఆలస్యం వంద, రెండు వందల ఏళ్ల కూడా జరిగిన దాఖలాలు ఉన్నాయి.

ఇటువంటి పని తెలుగులో జరగాలి. తెలుగులో వైజ్ఞానిక సాహిత్యం మూడు రకాలుగా డేహించవచ్చు.

పాతకులు ఈ పత్రికను తాము చదివి ఇతరులచే చదివించి, రచయితలు తమ అమూల్య రచనలను పంపించి, విమర్శకులు తప్పాప్పులు తెలిపి బాగోగులు సూచించి మా ప్రయత్నాన్ని ప్రోత్సహిస్తారని ఆశిస్తున్నాం.

మొదటిది స్పృజనాత్మక స్వతంత్ర రచనలు. ఇవి అధునాతన విజ్ఞానంలో సన్నిహిత సంబంధం ఉన్న ఆచార్యుల వంటి వారు చేయదగినది. రెండవది అనువాదాలు. దీనికి శాస్త్ర పరిచయం, రెండు భాషలలోను మంచి అభినివేశం ఉన్నవారు కావాలి. ముహాదవది సంకలన రచనలు. అంటే పలు గ్రంథాలను సమీక్షించి సేకరించి, అవసరమైన చోట్ల సందిగ్ధతను పరిష్కరించి సరికొత్త రూపంలో గ్రంథాన్ని సంతరించడం. ఇందులో కొంత స్వతంత్ర రచన ఉంటుంది గనక దీనికి పై రెండు కోవలలోని అభినివేశమూ కావాలి. ఈ విధంగా మూడు కోవల సాహిత్యాన్ని సృష్టించడానికి తెలుగులో ఆస్కారమున్నది.

అధునిక శాస్త్ర సాంకేతిక విద్యల గురించిన సాహిత్యం లేని భాషకు అధికారం ఉండదు. ప్రపంచంలో గౌరవం ఉండదు. ప్రపంచం దాకా ఎందుకు, సాంత భాషీయులే నిరాదరించటం మనం చూస్తున్నాం.

ఇంగ్లీషు భాష ఎదుగుదలకు కారణాల్లో రెండు ముఖ్యమైనవి. ఒకటి, ఇతర భాషల నుంచి పదాలను ధారాళంగా తీసుకోవడం. అందుకే ఇప్పుడు ఇంగ్లీషులో బయటనుంచి వచ్చిన పదాలు 70 శాతంకి పైగా ఉన్నాయి. రెండు, వ్యాకరణాన్ని సులభతరం చేసుకోవడం.

తెలుగు విజ్ఞాన శాస్త్ర వృద్ధికి ఈ రెండూ విజ్ఞాలు ఆలోచించవలసిన విషయాలు.

\*\*\*

## మనవి

తెలుగులో వైజ్ఞానిక సాహిత్యం పట్ల మీ అభిప్రాయాలను రెండు వందల పదాలకు మించకుండా వ్యాసం రాశి మాకు జనవరి 31 లోగా పంపండి. భాష గురించి, పరిభాష గురించి, శాస్త్రాల గురించి, శాస్త్ర విభాగాల గురించి, దేని గురించేనా మీ అభిప్రాయాలను మాకు తెలియజేయండి.

ఈక పత్రికలోని ప్రధాన వ్యాసం రచనలకు నిడివి నిబంధన ఏమీ లేదు. అయితే వ్యాసం గ్రంథమంత అయిపోకూడదు. వ్యాస విషయం సైన్సు, ఇంజనీరింగు, వైద్యానికి సంబంధించినదై ఉండాలి.

జీవ, గణిత, భౌతిక, రసాయనిక, భూ, భూగర్భ, భౌగోళిక, ఫగోళ, వాతావరణ ఇత్యాది వివిధ ప్రాథమిక శాస్త్రాలు, గని, లోహ, నిర్మాణ, యంత్ర, రసాయన, విద్యుత్, ఎలెక్ట్రానిక, కలన, మాపక, వ్యవసాయ ఇత్యాది సాంకేతికతా తంత్ర శాస్త్రములు (engineering), కణ, జన్య, సంతాన, రక్త, గుండె, ఉదర, ఊపిరి, మేధ, కండ, కార్బ, పీపా, మూత్రాంగ, చర్చ, రోగి, బోషధ, ఆరోగ్య ఇత్యాది వైద్య సంబంధిత విభాగములు — అన్ని మన వ్యాసములకు ఆసక్తికరమైన అంశములే.

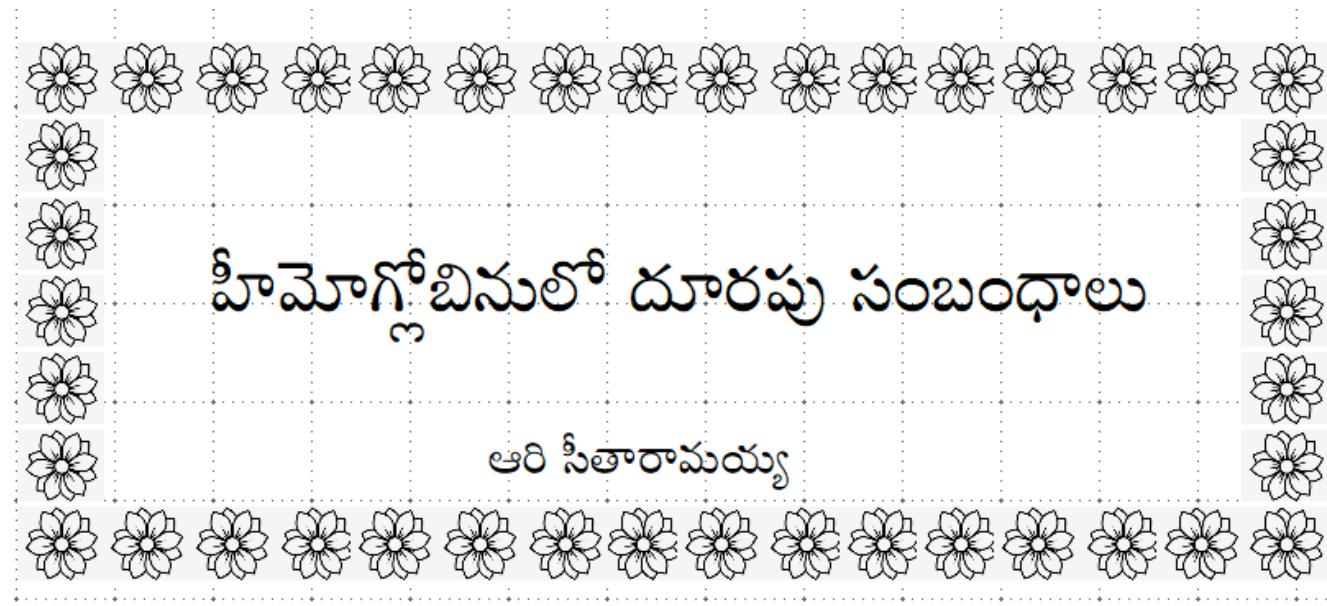
వ్యాసాలు పంపవలసిన గడువు తేదీ జనవరి 31, 2026  
విజ్ఞాన భారతి మూడవ సంచిక విడుదల తేదీ మార్చి 1, 2026

మా చిరునామా: [teluguvbharati@gmail.com](mailto:teluguvbharati@gmail.com)

(మధ్యలో v ఉంది సుమా! )

# హీమోగ్లోబినులో దూరపు సంబంధాలు

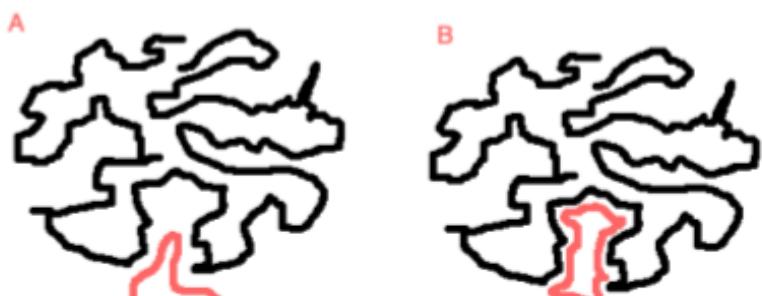
## ఆరి సీతారామయ్



జాక్ మోనో (1910-1976) ఈ.కోలై పెరుగుదల మీద చేసిన ప్రయోగాల గురించి ఇదివరకే మాటల్లాడుకున్నాం (విజాన భారతి, నవంబరు 2025). ఆ ప్రయోగాల ఫలితంగా ఒక జిను (gene, జనువు, జన్య ఖండం) లో ఉన్న సమాచారం ఆధారంగా ఒక ప్రాటీను తయారు కావడాన్ని ఇతర ప్రోటీన్సు గానీ, చిన్న అణువులు గానీ ఎలా నియంత్రిస్తాయో తెలుసుకున్నాం. నియంత్రణ పలువిధాలుగా ఉండవచ్చు. వాటిలో ఒకటి, బహుళ అన్నిటికంటే ముఖ్యమైనది, ఎల్లోస్ట్రోల్జీ నియంత్రణ (allosteric regulation). గ్రీకు భాషలో అల్లోస్ (allos) అంటే ఇతర అనీ, రాయోరోడ్జ్ (stereos) అంటే చోటు అనీ అర్థం. ఎల్లోస్ట్రోల్జీ నియంత్రణ అంటే ఒక పదారం ఒక ప్రాటీను మీద ఒక చోటు కలిసి (అతుక్కుని), అదే ప్రాటీను మీద మరో చోటు కలిసిన పదార్థాన్ని విడదీయిదం, లేక దాని ఆతుకుని బల్లోపేతం చెయ్యడం. ఈ ప్రక్రియను అర్థం చేసుకోవడానికి, ఒక ఉండాహారణను పరీక్షించడానికి ముందు, అసలు ఒక పదారం ఒక ప్రాటీనుని కలవడం (చేరడం, పట్టుకోవడం, అతుక్కువడం) అంటే ఏమిటో అర్థం చేసుకుందాం.

## ఆకారం, రూపం

మన శరీర కణాల్లో (సూక్ష్మ క్రిముల కణాల్లో కూడా) ప్రాటీన్లు ద్రవ పదార్థంలో కదులుతూ ఉంటాయి. ప్రాటీన్లు రెండు రకాల రూపాల్లో ఉంటాయి: కొన్ని బంతుల్లాగా ఉంటాయి (ఉడా: రక్తంలో ఉండే హీమోగోబిను), మరికొన్ని కడ్డిల్లాగా ఉంటాయి (ఉడా: గోళ్లలో వెంట్లుకల్లో ఉండేవి). మనం బంతుల రూపంలో ఉండే ప్రాటీన్లు గురించి మాటల్లాడుకుండాం. ప్రాటీన్ల ఉంపరితలం నున్నగా ఉండదు, ఎత్తుపల్లాలూ, గుంటలూ, బుడుపులూ ఉంటాయి. కణ ద్రవంలో ప్రాటీన్లు సంచరిస్తున్నప్పుడు చిన్నాపెద్దా పదార్థాలు వాటికి తగులుతూ ఉంటాయి. అలా తారసపడిన ప్రతి పదారం ప్రాటీనుతో అతుక్కుని స్థిరమైన బంధం ఏర్పరచుకోలేదు. చాలావరకు తగిలి, తప్పుకుని పోతూ ఉంటాయి. స్థిరమైన బంధం ఏర్పడాలంటే, తారసపడిన పదారానికి, అది తగిలిన ప్రాటీను ఉంపరితల స్థానానికి అనువైన ఆకారాలుండాలి (ఇవ బొమ్మలో B లో ఉన్నట్లు).



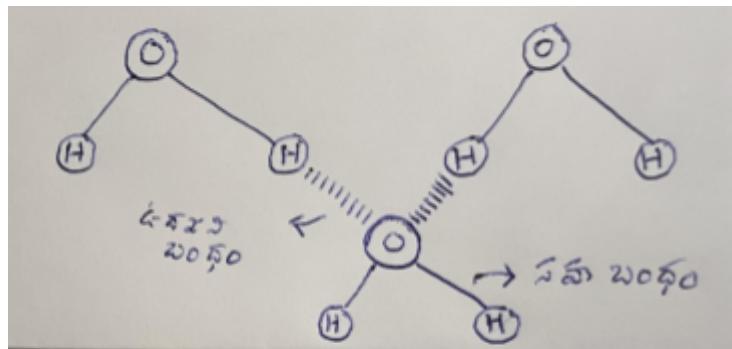
1వ బొమ్మ: ప్రోటీన్ లో కలవడానికి అనువుకాని పదార్థ రూపము (A) అనువైన పదార్థ రూపము (B)

తగిన ఆకారాలు ఉన్నంత మాత్రాన మంచి బంధం ఏర్పడకపోవచ్చు. వాటితోబాటు పదార్థానికి పోటీనుకి మధ్య రసాయనిక బంధాలు ఏర్పడే అవకాశం ఉంటేనే ఫలప్రదమైన సంబంధం ఏర్పడే అవకాశం పెరుగుతుంది. అందుచేత రసాయనిక బంధాల గురించి కొంచెం వివరంగా తెలుసుకోవాల్సిన అవసరం ఉంది.

## రసాయనిక బంధాలు

రసాయనిక బంధాల్లో చాలారకాలున్నాయి. మొదట కోవలెంట్ బంధం గురించి మాట్లాడుకుండాం. ఒక కోవలెంట్ బంధం (సహాబంధం, Covalent bond) రెండు మూలకాల (elements) మధ్య ఏర్పడుతుంది. ఇది ఏర్పడటానికి ఆ రెండు మూలకాలు ఒక్కే ఎలక్ట్రోన్ ఇస్తాయి. ఆ రెండు ఎలక్ట్రోన్లు ఇప్పుడు సహాబంధం ద్వారా ఆ రెండు మూలకాల అధినంలో ఉంటాయి. మన శరీరంలో ఉన్న అనువుల్లో ఉన్న మూలకాల్లో ముఖ్యమైనవి కొన్ని కర్బన్ (C, Carbon), ఉదజని (H, Hydrogen), ప్రాణవాయువు (O, Oxygen), నత్రజని (N, Nitrogen), గంధకం (S, Sulfur), ఫాఫ్సప్టస్ (P, Phosphorus). ప్రతి మూలకానికి ఎలక్ట్రోను కి (e<sup>-</sup>, electron) మధ్య ఉన్న ఆకర్షణ అన్ని రసాయనిక బంధాలకూ, మార్పులకూ కారణం. ప్రతి మూలకానికి ఎలక్ట్రోను మీద ఉన్న ఆకర్షణకు (electronegativity) ఒక సంభాషపరమైన విలువ ఉంది. ఉదాహరణకు H విలువ 2.20; C, 2.55; N, 3.04; O, 3.44, P, 2.19; S, 2.58. ఈ ఎలక్ట్రోను ఆకర్షణ ప్రభావం ఎంటో మాద్దాం. రెండు కర్బన్ మూలకాల మధ్య సహాబంధం ఉందనుకుండాం. అంటే R-C-C-R<sup>1</sup> ఏర్పడింది. ఇలాంటి బంధం ఏర్పడిందంటే రెండు మూలకాలూ ఒక్కే ఎలక్ట్రోన్ ఇచ్చాయి. బంధానికి రెండు వైపులా ఒకే మూలకం ఉంది కాబట్టి వాటికి ఆ రెండు ఎలక్ట్రోను మీదా సమమైన ఆకర్షణ ఉంటుంది.

ఇప్పుడు ఒక ప్రాణవాయువు మూలకానికి (O) ఒక ఉదజని మూలకానికి (H) మధ్య సహాబంధం ఉందనుకుండాం: R-O-H. బంధానికి ఒక వైపు ఉన్న H కి ఎలక్ట్రోన్ ఆకర్షణ (ఎ.అ.) 2.20, మరొక వైపు ఉన్న O కి ఎ.అ. 3.44. వాటి మధ్య తేడా 1.24. ఇంత పెద్ద తేడా ఉండటం వల్ల సహాబంధంలో ఉన్న రెండు ఎలక్ట్రోన్లు O వైపుకు దగ్గరగా ఉంటాయి. దాని వైపు మొగ్గ మాపించడం వలన O కాస్త నెగెటిప్ గానూ (**δ-**) (partially negative) (ఎలక్ట్రోను నెగెటిప్ కాబట్టి), H కాస్త పొజిటిప్ గానూ (**δ+**) (partially positive) మారతాయి. ఎలక్ట్రోన్ ఆకర్షణ అసమానంగా ఉన్న ఇలాంటి సహాబంధాన్ని అసమాన బంధం (polar bond) అని కూడా అంటారు. ఇప్పుడు ఈ O తనకు దగ్గరగా ఉండి పొజిటిప్ గా ఉన్న ఇతర మూలకాలను ఆకర్షిస్తుంది, H తనకు దగ్గరగా ఉన్న నెగెటిప్ గా ఉన్న మూలకాలను ఆకర్షిస్తుంది. అలాంటి ఆకర్షణకు గురై చేసిన మూలకాల మధ్య ఒక కొత్త రకం బంధం ఏర్పడుతుంది. దీన్ని హైడ్రోజన్ బాండ్ (Hydrogen bond, ఉదజని బంధం) అంటారు. రెండవ బొమ్మలో నిలువు గీతలతో (|||) మాపించబడింది. సహాబంధంలో లాగా రెండు ఎలక్ట్రోనును పంచుకోవడం ఉదజని బంధంలో ఉండదు. మూలకాల మధ్య కొంత ఆకర్షణ మాత్రమే ఉంటుంది. అందువల్ల R-O-Hలో ఉన్న సహాబంధంతో పోలిస్ట్రో ర-O-H ||| O-R బంధం ఇరవై రెట్లు తక్కువ బలమైనది. R-N-H ||| N-R, R-N-H ||| O-R బంధాలు కూడా ఉదజని బంధాలే.



2వ టోమ్ము: రసాయనిక బంధాలు: సహ బంధం, ఉదజని బంధం

మరో రకమైన బంధాన్ని ఆయాను బంధం (ionic bond) అంటారు. ఉదజని బంధంలో ఉన్న మూలకాలకు కాస్త నెగెటిప్ (**δ-**), కాస్త పొసిటిప్ (**δ+**) చార్జ్ (charge) ఉంటే, ఆయాను బంధంలో ఉన్న మూలకాలమీద పూర్తి చార్జ్ ఉంటుంది. ఉదాహరణకు: R-(C=O)-O<sup>-</sup>, <sup>+</sup>N(H<sub>3</sub>)-R ల మధ్య ఏర్పడే బంధం. ఇక్కడ దగ్గరగా వచ్చిన O మీద పూర్తి నెగెటిప్ చార్జ్ ఉంది, N మీద పూర్తి పొజిటిప్ చార్జ్ ఉంది.

మరో రకమైన బంధాన్ని ఆయాను బంధం (ionic bond) అంటారు. ఉదజని బంధంలో ఉన్న మూలకాలకు కాస్త నెగెటిప్ (**δ-**), కాస్త పొసిటిప్ (**δ+**) చార్జ్ (charge) ఉంటే, ఆయాను బంధంలో ఉన్న మూలకాలమీద పూర్తి చార్జ్ ఉంటుంది. ఉదాహరణకు: R-(C=O)-O<sup>-</sup>, <sup>+</sup>N(H<sub>3</sub>)-R ల మధ్య ఏర్పడే బంధం. ఇక్కడ దగ్గరగా వచ్చిన O మీద పూర్తి నెగెటిప్ చార్జ్ ఉంది, N మీద పూర్తి పొజిటిప్ చార్జ్ ఉంది.

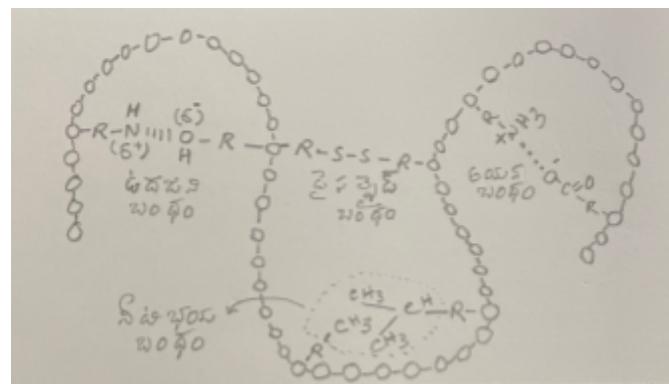
<sup>1</sup> రసాయన శాస్త్రంలో ఒక అనువు నిర్మాణాన్ని పూర్తిగా చూపించకుండా వివరణకు అవసరమైనంతవరకే చూపించే సౌలభ్యం ఉంది. అనువులో ఉన్న మిగతా భాగాన్ని R అని రాయడం పరిపాటి.

చార్జి ఉంది. వీటి మధ్య ఉండే బంధాన్సి (-O.....+N-) అయాను బంధం అంటారు. ఆయాను బంధంలో ఉండే బలం సహబంధానికంటే తక్కువగా, ఉడజని బంధానికంటే ఎక్కువగా ఉంటుంది.

మనం చెప్పుకోవలసిన మరో బంధం పేరు పైంటోఫోబిక్స్ బంధం (Hydrophobic bond). ఇది నిజమైన బంధం కాదు. పేరుకు తగ్గట్టు నీటి భయం బంధం మాత్రమే. ఉదాహరణకు  $\text{CH}_3\text{-R}$  ని తీసుకుందాం. C కి H కి మధ్య ఎ.ఆ.లో పెద్దతేడా లేదు, 0.35 మాత్రమే. అంటే ఈ బంధంలో ఎలక్ట్రోన్లు ఒకవైపు పెద్దగా మొగ్గు చూపవు. అందువల్ల దీనిలో ఉన్న C కి గానీ, H కి గానీ నీటి కణంలో ఉన్న H తో గానీ O తో గానీ ఉడజని బంధం ఏర్పడే అవకాశం లేదు. ఇలాంటి నీటిని ఇష్టపడని అఱువులు నీటికి దూరంగా, తమలాంటి అఱువులకు దగ్గరగా ఉండటానికి ఇష్టపడతాయి. నూనె, నీరు కలవవు కదా, దానికి కారణం ఈ నీటి భయమే! ఇవికాక రెండు గంధకం మూలకాల మధ్య ఏర్పడే సహబంధాన్సి డైపెటిడ్సు బంధం అంటారు. ఈ బంధాలు మూడవ బోమ్మలో చూపించబడినాయి.

## ప్రాటీను రూపం

ఇక, మనం ఇంతవరకూ చెప్పుకున్న బంధాలకూ ఒక ప్రాటీనుకు ఉండే రూపానికి మధ్య సంబంధం ఏమిటో చూద్దాం. ప్రాటీను అంటే ఎమినో ఆమ్మాలు (amino acids) వరుసగా కలిసి ఏర్పడే పొడవైన గొలుసు (ఇలా -O-O-O-O-O-O- చూపించే ఆనవాయుతీ ఉంది). ఇరవై రకాల ఎమినో ఆమ్మాలనుండి ప్రాటీన్లు తయారపుతాయి. మన శరీరంలో దాదాపుగా 80,000 రకాలకు పైగా ప్రాటీన్లు ఉన్నాయి. అన్ని ఉన్నాయా అని ఆశ్చర్యపడాల్సిన అవసరం లేదు. ఎందుకంటే ఐదు ఎమినో ఆమ్మాలతో తయారయ్యే గొలుసుని తీసుకుని, ఐదు స్థానాల ప్రస్తారాన్సి (permutation) లెక్కావేస్తే, అవి  $20 \times 20 \times 20 \times 20 \times 20 \times 20 = 3,200,000$  రకాల వరుసలో ఉండవచ్చు. అంటే అన్ని రకాల విశిష్టమైన ప్రోటీన్లు తయారు కాగలిగే అవకాశం ఉంది. కొన్ని ప్రాటీన్లో వందలకొద్దీ ఎమినో ఆమ్మాలు ఉంటాయి. ఎన్ని రకాల ప్రాటీన్లు తయారీకి అవకాశం ఉండే డాహించండి! కానీ అన్ని తయారు కావు. జీవపరిణామ క్రమంలో కొన్ని మాత్రమే తయారపుతాయి. ఇక ప్రతి ప్రోటీనూ మొదట తయారైనప్పుడు ఒక గొలుసులాగా పొడవుగా ఉంటుంది. కానీ చాలా ప్రోటీన్లు విషయంలో వాటి క్రియా శీలక రూపం, అంటే అవి శరీరంలో పనిచేయడానికి సిద్ధంగా ఉన్నప్పటి రూపం, బంతిలాగా ఉంటుంది. గొలుసులు బంతులెలా అవుతాయి? మనం పైన చెప్పుకున్న బంధాలే దానికి కారణం.



3వ బోమ్మ: పలు రకాల రసాయనిక బంధాలు

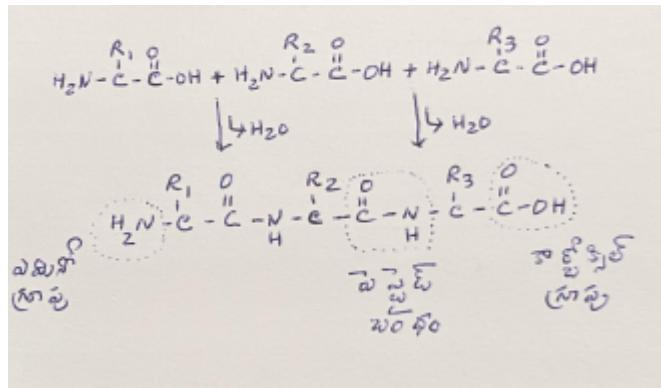
ప్రోటీను తయారు చేసే ఎమినో ఆమ్మాల రూపం చూద్దాం. వీటికి ఒక పైపు ఎమినో గ్రూపు ఉంటుంది, మరో వైపు కార్బోక్సిల్యు (carboxyl) గ్రూపు ఉంటుంది. మొదటి ఆమ్మం యొక్క కార్బోక్సిల్యు గ్రూపు రెండో ఆమ్మం యొక్క ఎమినో గ్రూపు మధ్య జరిగే రసాయనిక ప్రక్రియ ద్వారా రెండు ఆమ్మాలూ ముడిపడతాయి. దీన్ని పెపెడు బంధం (peptide bond) అంటారు. ఈ బంధం ఏర్పడిన ప్రతి చోటా ఒక నీటి అఱువు ( $\text{H}_2\text{O}$ ) కూడా తయారపుతుంది.

వంద ఎమినో ఆమ్లాల ద్వారా ఒక ప్రోటీను తయారయిందంటే, 99 పెపెడు బంధాలు ఏర్పడాలి. అలా తయారైన ప్రోటీనులో మొదటి ఆమ్లం మీద ఒక ఎమినో గ్రూపు, చివరి ఆమ్లం మీద ఒక కార్బోక్షిలు గ్రూపు మిగిలి ఉంటాయి. ఇవేకాక్ కొన్ని ఆమ్లాల మీద మనం R అని చూపించిన భాగంలో (తోకలో) కొన్ని -OH, -SH, -C(=O)-OH, -NH2, -NH- గ్రూపులూ ఉంటాయి . ప్రోటీను గోళాకారానికి కారణం ఈ గ్రూపుల మధ్య మనం పైన చెప్పుకున్న బంధాలే! ప్రోటీను గొలుసులో మడతలు పడటానికి ఈ బంధాలు ఎలా సహకరిస్తాయా ఈ బోమ్మలో మరోసారి చూడండి. కణ ద్రవ్యం నీటి ఆధారమైనది కాబట్టి, దానిలో ఉండే ప్రోటీన్లలో నీటిభయం గ్రూపులూ, వాటి మధ్య ఏర్పడిన బంధాలూ నీటికి దూరంగా గోళాకారం లోపల ఉంటాయి. ఉడజని, ఆయాను బంధాలను నిర్మించగల గ్రూపులూ, వాటిమధ్య ఏర్పడిన బంధాలూ గోళాకారం ఉపరితలంలో కణ ద్రవ్యం పైపు ఉంటాయి. బంధాలు ఏర్పడకుండా ఖాళీగా ఉన్న గ్రూపులు తగిన బంధాలను నీటితో ఏర్పరచుకుంటాయి. ఏదైనా సరైన బంధం ఏర్పరచుకోగల పదార్థం ఎదురైతే నీటిని వదిలేసి, ఆ పదార్థంతో బంధాన్ని ఏర్పరచుకుంటాయి.

మొదట తయారైనప్పుడు ఒక గొలుసులాగా ఉండే ప్రోటీను మనం చెప్పుకున్న బంధాల ద్వారా గోళాకారానికి వస్తుంది. అయితే అలాంటి గోళాకారాలు ఎన్నో తయారు కావచ్చు. (మనం ఒక కాగితాన్ని ఎన్నో విధాలుగా నలిపి ఉండలాగా చెయ్యగలం కదా) కానీ వాటిలో<sup>3</sup> ఒక్కటి మాత్రమే ఆ ప్రోటీను చెయ్యవలసిన పనికి తగిన రూపం. ఆ రూపం ఏర్పడితేనే ఆ ప్రోటీను కణంలో తన పని చెయ్యగలదు .

లేకపోతే, కణం ఆ పనికిరాని ప్రోటీనును విరగొట్టి, ఎమినో ఆమ్లాలను విడదిసి ముడిసురుగా వాడుకుంటుంది (recycle). కొన్ని వేల రకాల రూపాలలో పనికొచ్చే ఒక్క రూపమే ఎలా తయారపుతుంది? ఒక ప్రోటీను యొక్క ఎమినో ఆమ్లాల వరుసలోనే దాని తుది రూపానికి అవసరమైన మడతలు నీటిష్టమై ఉన్నాయని అంటారు శాస్త్రవేత్తలు. కొన్ని ప్రోటీన్ల విషయానికౌస్త, ఒక్క తుది రూపం కాకుండా, పనికొచ్చే రెండు తుది రూపాలు ఉంటాయి.

ఒక్కసారి పనికి తగిన రూపం ఏర్పడటానికి ఒక ప్రోటీన్లో ఒకేఒక గొలుసుకాక, రెండు, మూడు, నాలుగు లేక ఇంకా ఎక్కువ గొలుసులు (polypeptides)<sup>4</sup> కలిసి ఒక ప్రోటీను ఏర్పడుతుంది. వాటి మధ్య మనం ఇదివరకు చెప్పుకున్న బంధాలు ఏర్పడి పనికొచ్చే ప్రోటీను ఏర్పడుతుంది.



#### 4వ బోమ్మ: పెప్ ట్రైడ్ బంధాల ఏర్పాటు

ఇక్కడకూడా వాలా ప్రోటీన్ విషయంలో కొన్ని వేల రూపాలు ఏర్పడే అవకాశం ఉన్నా పనికొచ్చే తుది రూపం ఒక్కటి ఉంటుంది. కొన్ని ప్రోటీన్ల విషయంలో రెండు రూపాలు ఉంటాయి.

<sup>2</sup> వంద కోతులు ఒకదాని చెయ్యి ఒకటి పట్టుకుని నిలబడ్డాయనుకుండాం. అవి అటువైపు చూస్తున్నాయి. మనం వాటి వెనుక ఉన్నాం. ఎడమవైపు ఉన్న చివరి కోతీకి ఎడమ చేయి, కుడివైపు ఉన్న చివరి కోతీకి కుడి చేయి ఖాళీగా ఉంటాయి కదా అలాగే. [కోతుల విషయంలో రెండు చేతులు ఒకే రకంగా ఉంటాయి. ప్రోటీను గొలుసును తయారుచేసే ఎమినో ఆమ్లాల విషయం లో ఎడమవైపు చేతిని ఎమినో గ్రూపు అనీ, కుడివైపు చేతిని కార్బోక్షిలు గ్రూపు అనీ అంటారు.] పైగా ఒక్కటికి ఒక్కటి విషష్టమైన తోక ఉండనుకుండాం. మనం ప్రోటీను గొలుసులో R భాగం అటున్నామే అది ప్రతి ఎమినో ఆమ్లంలో విశిష్టంగా ఉంటుంది, కోతుల తోకలు వేరు వేరుగా ఉన్నట్లు. ఈ ఎమినో ఆమ్లాల తోకలను పక్క గొలుసులు (side chains) అంటారు.

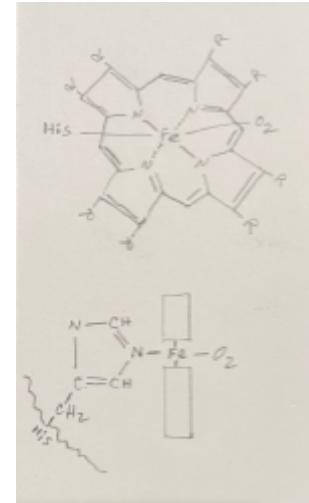
<sup>3</sup> కణంలో ప్రోటీన్ల వాలాపనులు చేస్తాయి: ఉత్ప్రేరకాలుగా (catalysts), రూపాన్నిచ్చేచిగా (structural proteins), అత్యరక్షణ జి కల్పించేచిగా (immunoglobulins), రవాణారారులుగా (transporters) ఇలా ఎన్నో రకాల పనులు చేస్తాయి.

<sup>4</sup> ప్రోటీను అని ఎప్పుడంటారు? పాలిపెడెడు అని ఎప్పుడంటారు? నిజానికి ఒక నిర్దిష్టమైన కొలత అంటూ లేదు. యాభై కంటే తక్కున ఎమినో ఆమ్లాల నుండి తయారైనదాన్ని పాలిపెడెడు అనీ, ఇంకా పెద్దదైతే ప్రోటీను అని రాయడం మామూలు. గొలుసులాగా ఉన్న దాన్ని పోలిపెప్పెడు అనీ, పనికొచ్చే తుదిరూపంలో ఉన్న దాన్ని ప్రోటీను అనీ అనడం కూడా ఒక మామూలు.

## హీమాగ్లోబిను

ఈ నేపథ్యంతో మనం అసలు మాట్లాడుకోవాల్సిన ప్రోటీను గురించి చెప్పుకుందాం. మన శరీరంలో రక్తంలో ప్రవహిస్తూ ప్రతి కణానికి ప్రాణవాయువుని ( $\text{ప్రా.వా., O}_2$ ) అందించేవి ఎరు కణాలు. శరీర కణాల్లో దాదాపు 80 శాతానికి పైగా ఉండే ఈ కణాల్లో హీమాగ్లోబిను (hemoglobin) అనే ప్రోటీను ఉంటుంది. ప్రతి ఎరు కణంలో దాదాపు 270 మిలియన్ (27 కోట్ల) హీమాగ్లోబిను అణువులు ఉంటాయి. కణంలో ప్రా.వా.ను మొసుకోచ్చేది ఈ హీమాగ్లోబినే. రక్తం డోషిపరిత్యులకు చేరుకున్నప్పుడు హీమాగ్లోబిను ప్రా.వా.ను పట్టుకుంటుంది. అక్కడనుంచి రక్తంలో శరీరవ్యాప్తంగా ప్రవహిస్తూ అన్ని అవయవాలకు చేరుతూ, ప్రతికణానికి ప్రా.వా.ను అందజేస్తుంది. నిజానికి విరామంగా ఉన్న కండరాలకు తక్కువగా, వ్యాయామం చేస్తున్న కండరాలకు ఎక్కువగా అందజేస్తుంది. ఇక హీమాగ్లోబిను అవయవాల కణాల్లోనుండి బోగ్గుపులును వాయువు లేదా కురవగా బో.వా. (carbon dioxide) ను తీసుకుని మళ్ళీ డోషిపరిత్యులకు చేరుతుంది. అక్కడ దాన్ని వదిలేసి, ప్రా.వా.ను తీసుకుంటుంది. ఇది క్లప్పంగా హీమాగ్లోబిను చేసే పని. మరి ప్రా.వా.ను అవసరమైన చోట వదిలెయ్యాలని హీమాగ్లోబినుకు ఎలా తెలుసు?

హీమాగ్లోబినులో నాలుగు పోలిపెపెడు గొలుసులు ఉంటాయి: రెండు ఏ రకాలు (alpha), రెండు బీ రకాలు (beta). ఏ లో 141 ఎమినో ఆమ్లాలూ, బీ లో 146 ఎమినో ఆమ్లాలూ ఉంటాయి. ఈ నాలుగు పాలిపెపెడు గొలుసులూ మనం ఇదివరకు చెప్పుకున్న ఉదజని, అయాను, నీటిభయం బంధాల ద్వారా జతపడి ఉంటాయి. ప్రొటీన్లు చాలారకాల పనులు చేస్తాయని మనం ఇదివరకే చెప్పుకున్నాం, కానీ ఎమినో ఆమ్లాలద్వారా తయారయిన గొలుసులు వాటంతట అవే చాలా పనులు చెయ్యలేవు. కొన్ని ప్రొటీన్లకు నేరుగా అతుక్కున్న లోహపు అయాన్లు సహకరిస్తాయి, మరి కొన్ని చోట్ల లోహపు అయాను ఉన్న పదార్థం ఒకటి ప్రోటీన్కు సహకరిస్తుంది. కొన్ని చోట్ల లోహపు అయాను లేని పదార్థాలు ప్రొటీన్లకు అతుక్కుని సహకరిస్తాయి. బాగా బలంగా, ఒక్కసారి సహాబంధం ద్వారా అతుక్కున్న పదార్థాన్ని ప్రాస్తుటికు గ్రూపు (prosthetic group) అన్ని, ఇతర బంధాల ద్వారా అతుక్కున్న సమూహాన్ని సహకారకం (cofactor, తోడ్జ్యుడై పదార్థం లేక తోడ్జ్యరి) అన్ని అంటారు. తోడ్జ్యుడై పదార్థాలో ముఖ్యమైనవి వైటమిన్లు, లేక వాటినుండి తయారయిన పదార్థాలు. హీమాగ్లోబిను విషయానికాస్ట్రోధానికి ఇన్ఫెక్షన్లు, అనుమతి అయాను ఆవసరం. ఆ ఇనుమతి అయాను హీము (heme) అనే పదార్థంలో ఉంటుంది. ఒక్క హీమాగ్లోబిను గొలుసులో ఒక్క హీము ఉంటుంది. అంటే హీమాగ్లోబిన్లో మొత్తం నాలుగు హీములు ఉంటాయి. ప్రతి గొలుసులోనూ, ఈ హీము హిస్టిడిను (histidine) అనే ఎమినో ఆమ్లానికి సహాబంధం ద్వారా స్థిరంగా అతుక్కుని ఉంటుంది. అంటే ఇదొక ప్రాస్తుటికు సమూహం అన్న మాట.



5 చోమ్ము: హీమాగ్లోబిన్ లోని ఒక హీమును పైనుంచి చుస్తే పైబోమ్ము, పక్కనుంచి చూస్తే కింది బోమ్ము

అలా ఏర్పడిన హీమాగ్లోబిను రెండు రూపాల మధ్య సమతుల్యం (equilibrium) లో ఉంటుంది. ఆ రెండు రూపాలను రెండు స్థితులు అనవచ్చి. వాటిని T స్థితి, R స్థితి అంటారు. T అంటే tense, బిగుతుగా ఉన్న రూపం. దీనిలో నాలుగు గొలుసుల మధ్య చాలా అయాను బంధాలు ఉంటాయి. ప్రా.వా. మీద బిగుతి స్థితికి పెద్దగా ఆకర్షణ లేదు. R అంటే relaxed, సడలిన, వదులుగా ఉన్న రూపం. బిగుతి స్థితి లో ఉండే అయాను బంధాలు దీనిలో ఉండవు. దీనికి ప్రా.వా. మీద బిగుతి స్థితి కంటే దాదాపు 25 రెట్లు ఎక్కువ ఆకర్షణ ఉంటుంది.

ప్రా.వా. లేని చోట హీమాగ్లోబిను చూస్తే, అది ఎక్కువగా బిగుతు స్థితిలో ఉంటుంది. ప్రతి పదివేల బిగుతు అణువులకు ఒక్క వదులు స్థితిలో ఉన్న అణువు మాత్రమే ఉంటుంది. బిగుతు అణువులకూ ప్రా.వా. కూ మధ్య పెద్దగా ఆకర్షణ లేదు. గాలిలో దాదాపు 21% ప్రా.వా. ఉంటుంది. అంటే దాదాపు 160 మిలీటర్ల ఒత్తుడి (mm Hg). గాలి డోషిపరిత్యుల్లోకి వచ్చేసరికి, నీటి తేమ కలవడం వలన అది 100 మిలీ లకు పడిపోతుంది. రక్త నాణాల్లో ప్రవహిస్తూ డోషిపరిత్యుల్లోకి చేరిన హీమాగ్లోబిను బిగుతు అణువులు ప్రా.వా. ను ఉంటుంటాయి. అది ఇదివరకు మనం చెప్పుకున్న హీములో ఉన్న ఇనుమతి అయానుకు అతుక్కుంటుంది. కానీ బిగుతు అణువులకూ ప్రా.వా.కూ మధ్య పెద్దగా ఆకర్షణ లేకపోవడం వలన చాలా కొద్ది అణువులు మాత్రమే ప్రా.వా. ను తీసుకుంటాయి. మిగతావి అలాగే

భారీగా రక్తంలో తిరుగుతూ ఉండాల్సిందే. కానీ నిజానికి అలా జరగదు. దాదాపుగా ప్రతి హిమోగ్లోబిను అణువూ ప్రా.వా. ను పట్టుకుంటుంది. ఎలా?

ప్రాన్స్ శాస్ట్రఫేత్లు మోనో, వైమన్, పోంజ (Monod, Wyman, Changeux, MWC) ఒక ప్రతిపాదన చేశారు. ఒక బిగుతు రూపానికి ఉన్న నాలుగులో ఏ హిము మీదైనా ప్రా.వా. అతుక్కోగానే హిమోగ్లోబిను మొత్తం వదులు రూపంగా మారుతుంది. అంటే, సమతులనం వదులు వైపు మొగ్గు చూపుతుంది. హిములున్న నాలుగు చోట్లా ప్రా.వా. మీద ఆకర్షణ పెరుగుతుంది. దీన్ని **all or none model** అంటారు. అంటే అణువు అంతా బిగుతు స్థితి లో ఉండాలి లేక వదులు స్థితి లో ఉండాలి. మధ్యస్థంగా ఉండటానికి విలులేదు. అది MWC వారి ప్రతిపాదన. సమతుల్యంలో

మార్పు రావడం, దానికి తోడు ఈ all or none

కారణం వలన, ఊపిరి తిత్తులకు చేరిన ప్రతి హిమోగ్లోబిను అణువూ వేగంగా బిగుతు నుండి వదులకు మారుతుంది. వదులు కి ప్రా.వా. మీద ఆకర్షణ ఎక్కువ కాబట్టి, త్వరలో దాదాపు ప్రతి అణువు (98 శాతం, ఆరవ బోమ్మలో నారింజ రంగు గీత) ప్రా.వా. తో నిండిపోతుంది. అవి ఊపిరితిత్తులనుండి శరీరావయాలకు చేరుతాయి. ఇక అంత గట్టిగా పట్టుకున్న ప్రా.వా. ను అవయవ కణాలకు చేరినప్పుడు ఎందుకు వదిలేస్తాయో చూద్దాం.

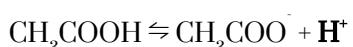
## శరీర కణాల్లో ప్రాణవాయువు

### విడుదల

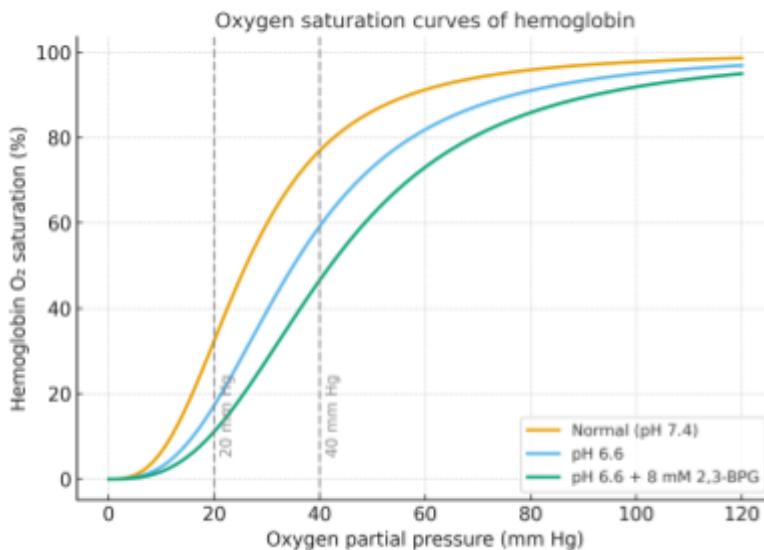
ఐదవ బోమ్మను మరోసారి చూడండి. అందులో రెండు నిలువు గీతలున్నాయి ఒకటి 40 మిమీ దగ్గర, మరొకటి 20 మిమీ దగ్గర. మామూలుగా విశ్రాంతిగా ఉన్న కండరాల్లో ప్రా.వా. ఒత్తిడి 40 మిమీ ఉంటుంది. వ్యాయామం చేస్తున్న కండరాల్లో 20 మిమీ వరకు పడిపోతుంది. ఆ రెండు గీతల వద్ద ఎంత శాతం హిమోగ్లోబిను మీద ప్రా.వా. ఉంటుందో గమనించండి. అది దాదాపుగా 75% (40 మిమీ), 35% (20 మిమీ) ఉంటుంది. అంటే ఊపిరితిత్తులనుండి వచ్చేటప్పుడు 98% హిమోగ్లోబినులమీద ప్రా.వా. ఉంటే కండరాలకు చేరగానే 75% మీదనే ఉంటుంది. అంటే మిగతా 23% (98-75=23) ప్రా.వా. ను విడిచి పెడతాయి. గట్టిగా పనిచేస్తున్న కండరాలకు చేరినప్పుడు దాదాపు 63% (98-35=63) ప్రా.వా. ను వదిలేస్తాయి. అంటే ఉన్న చోట తీసుకుని, లేనిచోట ఇస్తుంది హిమోగ్లోబిను. ప్రా.వా. కండరాలకు చేరడానికి ముఖ్యమైన కారణం ఊపిరితిత్తుల్లో, కండరాల్లో దాని ఒత్తిడిలో ఉన్న తేడానే. మిగతా శరీర అవయవాలకు కూడా ఇదే వర్తిస్తుంది.

### ఆమ్లత

మరో కారణం అయాను బంధాలు. వీటి గురించి మనం ఇంతకు ముందే మాట్లాడుకున్నాంగాని అవి ఎందుకు ఎలా ఏర్పడతాయో చూడలేదు. అది తెలుసుకోవాలంటే ఆమ్లాల గురించి కొంచెం లోతైన వివరాల అవసరం. ఆమ్లం అంటే  $H^+$  ని విడుదల చేసేది అని అర్థం. ఉదాహరణకు వినెగర్ ఆమ్లం:



( $H^+$  అంటే  $H$  మీద పాజిటివ్ చార్జు ఉన్నది అని)



6వ బోమ్మ: పలు పరిస్థితులలో ప్రాణ వాయువుతో నిండిపోయే హిమోగ్లోబిన్ (chatGPT)

మన శరీర కణాలో గ్లూకోజూ నుండి శక్తిని బయటకు తీసే క్రమంలో పైరూపిక, లాక్టిక, సిల్ఫిక, ఇంకా ఇతర ఆమ్లాలు తయారవుతాయి. వీటి వలన కణాలో అమ్లత (acidity) పెరగవచ్చు. అయితే ఇవి నిలువ ఉండవు. వీటిని వేగంగా బొగ్గుపులును వాయువుగా, నీరుగా మార్చి, ఆ క్రమంలో వీటిలోని శక్తిని బయటకు తీసి వాడుకుంటుంది కణం. ఎంత వేగంగా వాడినా గట్టిగా పనిచేస్తున్న కండరంలో ఏ క్షణంలోనైనా ఎంతో కొంతైనా ఈ ఆమ్లాలు ఉండక తప్పదు. అందువల్ల ఎంతో కొంత అమ్లత, అంటే  $H^+$  సాంద్రణ ఉండక తప్పదు. అమ్లత పరిమాణానికి pH అనే కొలతను వాడతారు. అమ్లత పెరిగే కొంత pH తగ్గుతుంది. మన శరీర కణాలలో pH దాదాపుగా 7.4 ఉంటుంది. విరామంలో ఉన్న కండరాల్లో 7.0 దాకా, గట్టిగా పనిచేస్తున్న కండరాల్లో 6.6 దాకా పడిపోవచ్చు. అమ్లత పెరిగే కొంత హిస్టాగ్లోబిను ప్రా.వా.ను విడుదల చేయడం పెరుగుతుంది. దీన్ని మనం ఇదివరకు చూసిన బొమ్మలో చూడవచ్చు (ఆకాశం రంగు గీత). దీనికి కారణం ఇప్పుడు చూద్దాం.

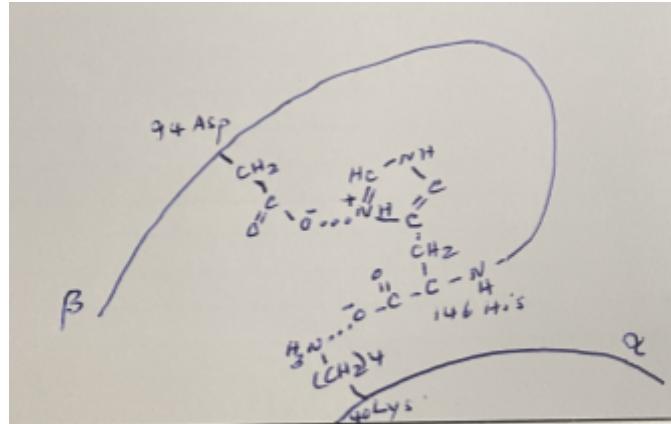
ఏ ప్రాటీనులోనైనా కుడి చివరి ఆమ్లంలో ఉండే కార్బోక్సిలు గ్రూపు (-C(=O)-O-) మీద నెగటివు చార్జ ఉంటుంది. అంతే గాక అస్పృష్టిక, గ్లూటామిక అనే ఆమ్లాల మీద పక్కగొలుసుల్లో ఒక కార్బోక్సిలు గ్రూపు ఉంటుంది. వాటమీద నెగటివు చార్జ ఉంటుంది. ఇక అర్జినిను (arginine), లైసిను (lysine) అనే ఆమ్లాల పక్కగొలుసులమీద ఎమినో గ్రూపు ఉంటుంది. దానిమీద పాజిటివు చార్జ ఉంటుంది. ఇలా పాజిటివు, నెగటివు చార్జలు ఉన్న గ్రూపులు ఒకదానికొకటి దగరకు వస్తే వాటి మధ్య అయాను బంధం ఏర్పడుతుంది. ప్రాటీను గొలుసులలో అక్కడక్కడా హిస్టిడిను (Histidine) అనే ఎమినో ఆమ్లం ఉంటుంది. హిస్టాగ్లోబినులో ఉండే రెండు బీ. గొలుసులలో ఇది చివరి ఆమ్లం (His146)<sup>6</sup>. దీనిలో ప్రత్యేకత ఏంటంటే దీని పక్కగొలుసులో ఉన్న N మీద మామూలుగా కణాల్లో ఉండే ఆమ్లతలో (7.4) చార్జ ఉండదు. కానీ కండరాలలో ఉండే ఆమ్లతలో N మీద  $H^+$  చేరుతుంది, అందువల్ల పాజిటివు చార్జ వస్తుంది. అప్పుడు ఇది దగ్గరలో ఉన్న నెగటివు చార్జతో ఆయాను బంధం ఏర్పరచుకోగలదు.

శరీరంలో ఏ అవయవానికి చేరినా హిస్టాగ్లోబిను కొంత ప్రా.వా.ను వదులుతుంది (ఒత్తిడి తేడాల కారణంగా). కానీ గట్టిగా పనిచేస్తున్న కండరాలకు చేరినప్పుడు రక్తానాళాలలో ఆమ్లత పెరగటం వల్ల (pH తగ్గడం వల్ల) ప్రా.వా.ను వదిలిన హిస్టాగ్లోబినులోనే బీ. గొలుసుల చివర ఉన్న హిస్టిడిను  $H^+$  ను పట్టుకుని పాజిటివు చార్జని ఆకట్టుకుంటుంది. అదే గొలుసుమీద ఉన్న ఆస్పృష్టిక ఆమ్లం (Asp 94) మీద ఉన్న నెగటివు చార్జతో అయాను బంధం ఏర్పరచుకుంటుంది. దీనితో ఆ బీ గొలుసులో కొంత పంపు వస్తుంది. దానివల్ల అదే హిస్టిడిను మీద ఉన్న నెగటివు కార్బోక్సిలు గ్రూపు, ఏ. గొలుసు మీద ఉన్న లైసిను (Lys 40) యొక్క పక్కగొలుసు మీద ఉన్న ఎమినో గ్రూపు పాజిటివు చార్జకి దగరై, మరొక ఆయాను బంధాన్ని ఏర్పరచుకుంటుంది. దీనితో (ఇంకా ఇలాంటి మార్పులు మరికొన్ని రావడం వల్ల) భారీగా ఉన్న హిస్టాగ్లోబిను వదులు హిస్టిడిను మారుతుంది. అంటే దానికి ఇప్పుడు ప్రా.వా. మీద ఆకర్షితి తగ్గుతుంది. అంటే మనం ఇదివరకు చెప్పుకున్నామే చిగుతు కీ వదులు కీ మధ్య సమతులనం ఉంటుందని, అది ఉపాపరితిత్తులలో వదులు వైపు మొగ్గుతుందని, ప్రా.వా.ను పట్టుకోవడానికి ఉపకరిస్తుందని. అదే సమతులనం ఇప్పుడు చిగుతు వైపు మొగ్గుతుంది. ప్రా.వా.ను విడిచిపెట్టడానికి సహకరిస్తుంది.

జూగ్గత్తగా గమనించాల్సింది ఏంటంటే, హిస్టాగ్లోబినులో ప్రా.వా. ఉండేది హిస్టాగ్లోబిను మీద. ఆ హిస్టాగ్లోబిను ఏ. గొలుసుల్లో 87 వ ఎమినో ఆమ్లానికి, బీ. గొలుసుల్లో 92 వ ఎమినో ఆమ్లానికి అతుక్కుని ఉంటుంది. బీ. గొలుసుల చివర ఉన్న హిస్టిడిను (146 వ ఎమినో ఆమ్లం)

<sup>5</sup> సాంద్రత = Density, దీన్ని grams/cm<sup>3</sup> గా కొలుస్తారు; సాంద్రణ = Concentration, దీన్ని మోల్/లీటర్ (M) గా, లేక మిలీమోల్/లీటర్ (mM) గా కొలుస్తారు.

<sup>6</sup> ఈ గొలుసులో మొత్తం 146 ఎమినో ఆమ్లాలు ఉన్నాయి.



7వ బోమ్మ: హిస్టాగ్లోబిన్ గొలుసుల మధ్యన ఉన్న అయాను బంధాలు ప్రాణవాయువు చేరికలో వీడిపోతాయి

ఎత్తు	ప్రా.వా ను పట్టుకున్న హీమోగ్లోబిను శాతం	కండరాల్టో ప్రా.వా విడుదల శాతం
సముద్రమట్టం	98	45
ఒకేసారి 5,000 అడుగులు	80	25
క్రమంగా 5,000 అడుగులు	70	40

వాడుక పెరుగుతుంది. దాన్నంచి బొగ్గుపులువాయువు ఏర్పడుతుంది. అది నీటితో కలిసినప్పుడు, కార్బోనిక్ ఐసైడ్జ్ (Carbonic Anhydrase) అనే ఎంజైము ద్వారా కార్బోనిక్ ఆమ్లం తయారపుతుంది. అయితే శరీరంలో కార్బోనిక్ ఆమ్లం స్థిరంగా ఉండదు. వెంటనే  $H^+$  ను వదిలేస్తుంది.



ఇలా విడుదల అయిన  $H^+$  కూడా ఆమ్లత పెరగడానికి కారణం అపుతుంది, హీమోగ్లోబిను మీదున్న హిస్టిడినుకు అతుక్కుని సమతులనం బిగుతు స్థితి వైపు మొగ్గేలా చేస్తుంది, అంటే ప్రా.వా. విడుదలకు సహకరిస్తుంది.

### 2,3-బిఫెటిడ్ (2,3-BPG, 2,3-Bisphosphoglycerate)

హీమోగ్లోబిను మీద ఎల్సోసిరిక్ ప్రభావం ఉండటానికి ఆముతే కాదు, మరో కారణంగా కూడా ఉంది. ఎర కణాలలో గూకోజు నుండి పెరుగువిక లేదా లాక్టిక ఆమ్లం తయారయ్యే క్రమంలో 2,3-బిఫెటిడ్ (ఇకనుండి బిఫెటిడ్) అనే ఒక అణువు కూడా కొంత తయారపుతుంది. మామూలుగా ఎర కణాలలో దీని సాంధ్రణ దాదాపుగా 5 mM ఉంటుంది. ఈ బిఫెటిడ్ ప్రత్యేకత ఏంటంటే దీని మీద ఐదు నెగిటివ్ చార్జీలు ఉంటాయి. ఇది బిగుతు స్థితిలో ఉన్న హీమోగ్లోబిను బీ గొలుసుల మధ్య ఉన్న ఒక చోట (ఒక చిన్న సారంగం లాంటి చోట) అక్కడి ఎమినో ఆమ్లాల పక్క గొలుసుల మీద ఉన్న పొఱిటివ్ చార్జీలతో ఆయాను బంధాలు <sup>7</sup> ఏర్పరచుకుంటుంది. మనం మొదట చెప్పుకున్నామే, ప్రాటీను ఒక పదార్థానికి అతుకోవడానికి రెండిటి మధ్య తగిన రూపం ఉండాలనీ, వాటి మధ్య రసాయనిక బంధాలు ఏర్పడాలనీ. హీమోగ్లోబినూ, బిఫెటిడ్ ల మధ్య బంధం ఏర్పడటం దీనికి చక్కటి ఉదాహరణ. వీటి మధ్య బంధం ఏర్పడినప్పుడు బిగుతు స్థితి సిరపడుతుంది. దానివల్ల ఇంతకు ముందు మనం చెప్పుకున్న సమతులనం బిగుతు వైపు మొగుతుంది. అంటే, పరోక్షంగా హీమోగ్లోబిను నుంచి ప్రా.వా. విడుదలకు సహకరిస్తుంది. దీన్ని మనం ఇదివరకు చూసిన బౌమ్యలో ఆకుపచ్చ రంగు గీతలో చూడవచ్చు. ఇది మరో ఎల్సోసిరిక్ ప్రభావం.

రెండిటికి దూరంగా ఉంది. అయినా దానికి  $H^+$  చేరడం వల్ల అది పరోక్షంగా హీమోగ్లోబినుకు ప్రా.వా. మీద ఉన్న ఆకరణను తగించి దాని విడుదలకు సహకరిస్తుంది. దీన్నే మానో ఎల్సోసిరిక్ నియంత్రణ అన్నది. ప్రాటీను మీద ఒక చోట జరిగే మార్పు దాని మీద మరో చోట పరోక్షంగా ప్రభావం మాపడం. ఆమ్లతలో మార్పు వల్ల జరిగే ఈ మార్పును (ప్రభావాన్ని) బోర్ (Bohr) ప్రభావం అని కూడా అంటారు, డెనార్క్ దేశస్తుడు క్రిస్టియాన్ బోర్ దీన్ని మొదట గమనించాడు. అయిన నీల్స్ బోర్ తండ్రి.

కణాలలో ఆమ్లత పెరగడానికి కారణం గూకోజు నుండి తయారయ్యే ఆమ్లాలేకాదు. బొగ్గుపులుసు వాయువు ( $CO_2$ ) కూడా దీనికి కొంత కారణం అని చెప్పికోవాలి. ఎందుకంటే గట్టిగా పనిచేస్తున్న అవయవాల్లో గూకోజు ఎందుకంటే గట్టిగా పనిచేస్తున్న అవయవాల్లో గూకోజు

<sup>7</sup> ప్రా.వా. ను పట్టుకుని R స్థితిలోకి మారిన హీమోగ్లోబినులో రెండు బీ గొలుసుల మధ్య ఉన్న చోటు (సారంగం) తగి పోతుంది. అక్కడ 2,3-బిఫెటిడ్

**[పిట్టు కథ:** పర్యాతాలు ఎక్కువాళ్ళు ఒకేసారి కాకుండా చాలా రోజులు తీసుకుంటారనీ, క్రమంగా పైకి ఎక్కుతారనీ వినే ఉంటారు. అలా కాకుండా హెలికాప్సరు ఎక్కు పర్యాత శిఖరాన దిగితే గాలి పీల్పడానికి ఇబ్బందిపడతారు. శిఖరం ఎత్తునుబట్టి, గాలిచాలక చనిపోవచ్చు కూడా. 5,000-6,000 అడుగుల ఎత్తు ఉన్న శిఖరం మీద ప్రా.వా. ఒత్తిడి 100 మిమీ నుండి 50 మిమీ లకు పడిపోవచ్చు. ఆ స్థితిలో హీమోగ్లోబిను తక్కువ ప్రా.వా. ను పట్టుకుంటుంది. అంటే శరీరకణాలకు తక్కువ ప్రా.వా. అందుతుంది. పర్యాతం ఎక్కుడానికి కొన్ని రోజులు తీసుకునే వారి శరీరంలో నిదానంగా మార్పులు జరుగుతాయి. వాటిలో ఒకటి ఎరుకణాల్లో బీపీజి సాంద్రణ 5 mM నుండి దాదాపు 8 mM దాకా పెరగడం. దాని ప్రభావం వల్ల హీమోగ్లోబిను మీద ఉన్న ప్రా.వా. మామూలు కంటే ఎక్కువగా విడుదల అవుతుంది.

ఉదాహరణకు, సముద్రమట్టాన ఉన్న ప్రదేశంలో 98% హీమోగ్లోబిను అణువులు ప్రా.వా ను మోసుకొస్తే, వాటిలో విశ్రాంతిగా ఉన్న కండరాలకు చేరినప్పుడు (40 మిమీ) 45% దాన్ని విడుదల చేస్తాయి. కానీ 5,000 అడుగుల ఎత్తున ఉన్న ప్రదేశంలో గాలి తక్కువగా ఉండి 80% హీమోగ్లోబినుల మీద మాత్రమే ప్రా.వా. ఉంటుంది. అవి కండరాలకు చేరినప్పుడు 25% మాత్రమే దాన్ని వదిలేస్తాయి. 5,000 అడుగులు చేరడానికి కొన్ని రోజులు తీసుకున్న వారిలో బీపీజి పెరగడం వల్ల హీమోగ్లోబిను ప్రాణవాయువును పట్టుకోవడం తగ్గి, 70% మాత్రమే దాన్ని పట్టుకోగలుగుతాయి, కానీ అవి కండరాలకు చేరినప్పుడు, మళ్ళీ బీపీజి ప్రభావం వల్ల వాటిలో 40% దాన్ని విడుదల చేస్తాయి. అంటే కండరాలకు దాదాపుగా సముద్రమట్టాన అందేటంత ప్రా.వా. ఇక్కడకూడా అందుతుంది. ఈ ఒక్క మార్పే కాకుండా గాలి తక్కువగా ఉన్న చోటికి చేరినప్పుడు శరీరం ఎరుకణాల ఉత్సుక్తిని పెంచుతుంది. అంటే ఎక్కువ హీమోగ్లోబినును పనిలో పెడుతుంది. అందువల్ల ఎత్తుగా ఉన్న ప్రదేశానికి అలవాటు పడిన వారి శరీరానికి ప్రా.వా. మామూలగా సముద్రమట్టాన ఉన్నవారికి లాగానే చేరుతుంది.]

## దూరపు సంబంధాలు

హీమోగ్లోబిను మీద అమ్మత, బీపీజి ల ప్రభావాన్ని ఎల్లోస్టోర్ట్ ప్రభావం అంటారని చెప్పుకున్నాం. అంటే అవి రెండూ ప్రోటీను మీద ఎక్కుడో అతుక్కుని, పరోక్ష ఠగా, సమతుల్యతమీద వాటికున్న ప్రభావం వల్ల, మరోచోట ప్రా.వా. అతుక్కోవడాన్ని తగ్గిస్తాయి. కానీ మీకు గుర్తుందో లేదో, ఒక హీము మీద చేరిన ప్రా.వా. మిగతా మూడు హీముల మీద ప్రా.వా. అతుక్కోవడాన్ని సులభతరం చేసి వదులు స్థితి వైపు సమతుల్యతను మొగ్గేలా చేస్తుంది. ఒక పదార్థం ప్రాటీను మీద చేరి మరో పదార్థం అతుక్కోవడాన్ని ఎక్కువగానీ తక్కువగానీ చేయ్యడాన్ని పోటరో ట్రోఫిక్ ఎల్లోట్రోఫిక్ ప్రభావం అంటారు (ఇది  $H^+$ , బీపీజి లు చేసేది). అలా కాకుండా ప్రాటీను మీద చేరిన పదార్థం మరోచోట తానే అతుక్కోవడాన్ని ప్రభావితం చేస్తే దాన్ని హోమాటోఫిక్ ఎల్లోస్టోర్ట్ ప్రభావం అంటారు (ఇది ప్రా.వా. చేసేది).

హీమోగ్లోబిను విషయంలో పై రెండు రకాల ప్రభావాలు ఉన్నా, ఎంజైముల విషయానికొస్తే, హోమాల్టోఫిక్ ప్రభావం చాలా అరుదు. కారణం ఏంటంటే, ఎంజైములు ఒక పదార్థాన్ని (సబైట్రోటును) తీసుకుని రసాయనిక చర్య ద్వారా మరో పదార్థంగా (ప్రోడక్ట్) మార్పుతాయి. అలా చెయ్యగలచోటు ఒక ఎంజైము అణువు మీద ఒక్క చోటే ఉంటుంది (దీనికి కొన్ని మినహాయింపులు ఉన్నాయి). అందువలన ఒకచోట అతుక్కున్న సబైట్రోటు దాన్ని మరోచోట అతుక్కోవడాన్ని నియంత్రించడం జరగదు. కానీ ఎంజైములు చేసే పనిని పెంచగల, తగ్గించగల పదార్థాలు (activators and inhibitors) ఉండటం మామూలు. అవి ఎంజైము మీద ఎక్కుడో అతుక్కుని సబైట్రోటు అతుక్కోవడాన్ని నియంత్రిస్తాయి.

మన శరీరంలో దాదాపుగా అన్ని ముఖ్యమైన ఎంజైములూ ఎల్లోస్టోర్ట్ ప్రభావంలో ఉంటాయి. ఇంత ముఖ్యమైన నియంత్రణను జన్ము ఖండాల నియంత్రణ గురించి పరిశోధన చేస్తోండగా కనిపెట్టడు మోనో! మీరు దాని గురించి వివరంగా తెలుసుకోవాలంటే గత సంచికలో చూడండి. (విజ్ఞాన భారతి, నవంబరు 2025).

\* \* \*

ఇతర భాషలనుంచి అవసరమైన, ఉపయోగకరమైన మాటలను తీసుకోవడం వైజ్ఞానిక సాహిత్య వ్యాధికి ప్రయోజనకరమే. ఇంగ్లీషు భాషలో ఉన్న మాటలో దాదాపు డెబ్బయ్యయుదు శాతం అవసరాల కౌదీ ఇతర భాషలనుండి తీసుకున్నావే! ఓస్ట్రేన్ దేశస్థడు మోనో గ్రీకు భాషనుండి తీసుకున్న మాట (allosteric) ఇప్పుడు ఇంగ్లీషులో అలాగే నిలిచిపోయింది!

మరో గ్రీకు మాట **πρῶτος** (protos) అంటే అతిముఖ్యమైనది అని అర్థం. దాన్నంచే ఇంగ్లీషు మాట ప్రోటీను వచ్చింది. శరీరంలో ప్రోటీను పొత్త అతి ముఖ్యమైనదని గ్రహించి వాటికి ఆ పేరు పెట్టడు స్వీడన్ దేశస్థడు యాన్స్ యాకోబ్ బెర్జెలియుస్ (Jons Jakob Berzelius).

\* \* \*

=====  
 శ్రీ ఆరి సితారామయ్య గారు జీవరసాయన శాస్త్రం లో Ph.D. పట్టా పొంది, అమెరికాలో మిషిగాన్ రాష్ట్రం లోని బిక్కాండ్ విశ్వ విద్యాలయంలో ఖియోమెడికల్ సైన్సెస్ ఆచార్యులుగా పనిచేసి విరమించారు. ప్రస్తుత నివాసం హారెండన్ పట్టణంలో (వర్కీనియా రాష్ట్రం).

 =====

# విజయవాడ ధర్మ పవర్ సేషన్ ఆవ్హానం

(విజయవాడ విద్యుత్ కేంద్రము ఏ. ఏ. కే.)

శ్రీ అంగర గోపాల కృష్ణ రావు

ఈరోజు విజయవాడ ధర్మ పవర్ సేషన్ ఆవ్హానం ఎట్లా జరిగింది మొదలగు విషయాలు ఇక్కడ చర్చిస్తున్నాము. దీనిని మనం తెలుగులో విజయవాడ తాప విద్యుత్ కేంద్రం, లేదా విజయవాడ విద్యుత్ కేంద్రం (ఏ.ఏ.కే.) అని కూడా పిలుచుకోవచ్చును.

1970వ దశకంలో అంధ్రప్రదేశ్ విపరీతమైన విద్యుత్ శక్తి కొరత ఎదుర్కొంది. అందుచేత కరెంటు కోత చేయాల్సి వచ్చేది. చాలా చోట్ల ఎక్కువగా గ్రామీణ ప్రాంతంలో విద్యుత్ శక్తి సరఫరా నిలిపివేయబడుతూ ఉండేది. అలాగే కొన్ని పరిశ్రమలకు కొన్ని గంటలు మాత్రమే విద్యుత్ శక్తి సరఫరాను కుదించవలసి వచ్చేది.

ఈ సమయంలో విద్యుత్ ఉత్సవక శక్తిని శీఘ్రముగా పెంచవలసిన అవసరం ఏర్పడింది. ఈ పరిసితుల్లో విజయవాడలో ఒక తాప (ధర్మ) విద్యుత్ ఉత్సవ కేంద్రం నెలకొల్పాలని అప్పటి రాష్ట్ర ప్రభుత్వం నిర్ణయించి ప్రణాళికలు తయారు చేయించింది. అవి భారత కేంద్ర ప్రభుత్వానికి పంపగా ఆ ప్రణాళికలను అమోదించి విద్యుత్ ఉత్సవ కేంద్రమును కట్టడానికి అనుమతిని ఇచ్చింది. ఆ ప్రకారం 1976వ సంవత్సరంలో నిర్మాణం మొదలుయ్యాంది.

బోగ్గు ఆధారిత విద్యుత్ కేంద్రము నిర్మాణము చేసి దాని నుంచి విద్యుత్ శక్తిని ఉత్సవ చేయడానికి సుమారు నాలుగు సంవత్సరముల నుండి ఐదు సంవత్సరములు పట్టవచ్చును. అందువలన శీఘ్రముగా ఉత్సవ చేయు నట్టి గ్రాస్ (సహజ వాయుము) అధారిత పవర్ ప్లాంటును నిర్మించడానికి ప్రావేట్ రంగంలోని పారిశ్రామిక వేత్తలకు అవకాశం ఇవ్వాలని ప్రభుత్వం తలపోసి, ఎవరు తక్కువ ధరకు విద్యుత్తు విక్రయించగలరో వారిని టెండర్ ప్రక్రియ ద్వారా ఎంపిక చేసి వారికి కృష్ణ గోదావరి బేసిన్ లో ఉత్సవముయ్యే సహజవాయువును అందించుటకు ఒప్పినిసి ONGC వారిని ఒప్పించింది. ఈ గ్రాస్ ఆధారిత పవర్ ప్లాంట్లు సుమారు 300 మేగావాట్లు శక్తికలిగి 18 నెలలోనే పనిచేయునట్లు ఒప్పందములు చేసుకొని సైక్షణిక మరియు జీవికి ఇండస్ట్రీలకు అవకాశం ఇచ్చింది. ఈ ప్రకారము ఈ రెండు సంస్థలు ఎలక్ట్రిసిటీ బోర్డు వారితో విద్యుత్ శక్తి కొనుగోలు ఒప్పందములు చేసుకొని విద్యుత్ శక్తిని సరఫరా చేయడం మొదలుపెట్టాయి.

ఇది యిలా ఉండగా, ఏ.ఏ.కే.లో మొదటగా రెండు వందల పది మెగావాట్ల శక్తి గల రెండు యూనిట్లను ( $2 \times 210$  మె.వా) స్థాపించాలని నిర్ణయించారు. అది ఆవిరి ఉత్సవక యంత్రముల (బాయిలరు) ప్రతిష్టాపన కోసం కావలసినటువంటి ఉక్కు (స్టీలు) స్థంభాలను ముందుగా నిలబెట్టారు.

1977 నవంబరులో కృష్ణాజిల్లా విపరీతమైన తుఫాను తాకిడికి గురి అయ్యాంది. అప్పుడు దివిసీమలో ఉప్పేస వచ్చి ఎంతో ప్రాణ నష్టం ఆస్తి నష్టం జరిగింది. విపరీతమైన వేగంతో గాలులు వీచాయి. ఆ తుఫాను ప్రభావం వలన విజయవాడ విద్యుత్తేర్వాంద్రానికి కూడా

దెబ్బ తగిలింది. సగం సగం నిర్మాణంలో ఉన్నటువంటి ఇనుప స్తంభాలు వంకర పోయి వంగిపోయాయి. అటువంటి సమయంలో నిర్మాణానికి అంతరాయం ఏర్పడి ఆలస్యం అవుతుందని అందరూ భావించారు.

సాధారణంగా ఒక థర్మల్ పవర్ ప్లాంటు ని అనగా తాప విద్యుత్ కేంద్రమును నిర్మించాలంటే, వేగంగా రాత్రింబవళ్ళ పనిచేస్తే అది మూడు సంవత్సరాలు పడుతుంది. 1976 లో మొదలు పెట్టారు కాబట్టి ఇది 1979 వరకు పూర్తి అవుతుందని అంచనా చేశారు. చాలా వేగంగా తిరిగి పునర్నిర్మాణం మొదలు పెట్టారు విజయవాడ విద్యుత్సైంప్రందంలో.

రాష్ట్రంలో విద్యుత్తు కొరతను అధిగమించడానికి ఆలోచనలు చేసి అప్పటి ముఖ్యమంత్రి జలగం వెంగళరావుగారు నార్ల తాతారావుగారని సెంట్రల్ వాటట అండ్ పవర్ కమిషన్ (CWPC) లో సభ్యుడుగా ఉన్నటువంటి ఆయనను ఆంధ్రప్రదేశుకు తీసుకొచ్చారు. ఆయన అఱుతే చాలా సమర్పడని ఈ సమస్యన్ని సులభంగా పరిష్కరిస్తాడని భావించి ఆయన్ని పిలుచుకొని వచ్చారు. ఆయన నిజంగానే చాలా విజానవంతుడు సమర్పడు బీ.పాచ. కః.ఎల్. (BHEL) పరిపాలన వ్యవస్థ అనగా బోర్డ్ అఫ్ డైరెక్టర్స్ లో డైరెక్టరుగా ఉన్నారు. ఆ పరపతితో ఆయన విద్యుత్ శక్తి యంత్రాలు సరఫరా చేయు బీ.పాచ. కః.ఎల్. వారితో కూడా సంప్రదింపులు జరిపి మనకి కావలసిన విధంగా దాన్ని డిజైను చేయించి త్వరితగతిని విజయవాడకు తరలింప చేశారు.

ఇక్కడ విజయవాడ తాప విద్యుత్ కేంద్ర నిర్మాణం గురించి కొన్ని కుతూహలమైన విషయాలు చెప్పుకోవాలి

### **మూడు యూనిట్లకు ఒకటే చిమ్మి**

మామూలు తాప విద్యుత్ కేంద్రాల డిజైనుకి భిన్నంగా తాతారావు గారు ఈ విజయవాడని తన సౌంత ప్రాజెక్టుగా భావించి ఎన్నో మార్పులు చేస్తున్నారు. ఇక్కడ మొదటి స్టేజిలో రెండు యూనిట్లని నిర్మించాలని సంకల్పించారు. ఈ రెండు యూనిట్లకి కామనుగా ఒకటే పొగ గొట్టము కాంక్రీటు తో నిర్మించారు. దీనిని స్టాక్ (stack) అంటారు. దీనిలో ఉక్క గొట్టాల ద్వారా పొగను బయటకు పంపుతారు భవిష్యత్తులో ఇంకోక యూనిట్ నిర్మాణానికి కూడా వీలు కలిపుటా ఈ ఒక్క స్టాక్ లోనే మూడు పొగ గొట్టాలని అమర్చారు. అది ఒక వినూత్పుమైన ప్రయోగం.

### **లేచాట మార్పు వల్ల పరిశుభ్రత**

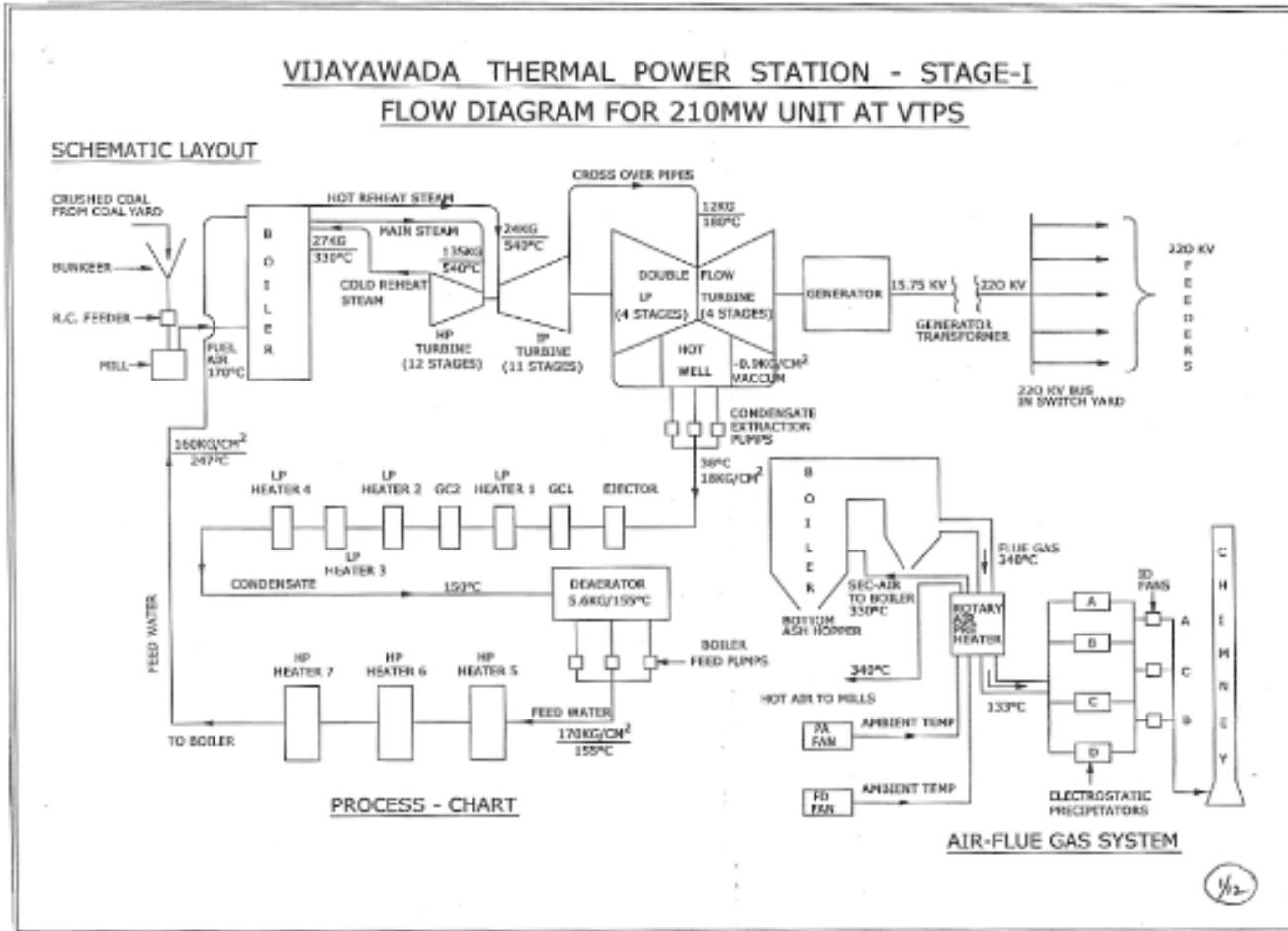
సాధారణంగా విద్యుత్ శక్తి ప్లాంట్ లేఅవుట్ ని పరిశీలిస్తే చాలాచోట్ల టర్బైన్ హోలు దాని తర్వాత బొగ్గుని సరఫరా చేసి యంత్రాలు బంకర్లు అటు తర్వాత బాయిలరు, ఎయిర్ పీటర్లు, ESP, చిమ్మి ఆ వేరుసక్రమంలో అమర్పబడి ఉంటాయి. ఇటువంటి అమరిక (layout) వల్ల ఈ బొగ్గు పొడి చేసి యంత్రాలు అంటే బొగ్గు మిల్లులు నడుస్తున్నప్పుడు చాలా బొగ్గు నుసి అక్కడ అంతా పడి వ్యాపిస్తుంది. అది టర్బైన్ హోలుకు పక్కనే ఉండడం వల్ల ఈ దుమ్ము అంతా టర్బైన్ హోలు లోకి కంట్రోల్ హోలు లోకి వచ్చి విద్యుత్ కేంద్రమంతా చాలా మొరికిగా ఉండేది అసహాయంగా తయారయ్యేది.

ఇది నివారించేందుకు అమరికలో మార్పులు చేస్తా తాతారావు గారు విద్యుత్ శక్తి ప్లాంటు అమరికని కొత్తదిగా డిజైను చేశారు. టర్బైన్ హోలు తరువాత ఎయిర్ పీటర్లు, బాయిలరు, బొగ్గు ను పొడిచేసి యంత్రాలు (కోల్ మిల్స్), తరువాత ఈ యెస్ పి, చివరగా పొగ పోయే గొట్టం ( చిమ్మి). ఈ క్రమం లో లేచాట మార్పు చేశారు. బాయిలరును 180 డిగ్రీలు తిప్పిపేసి బొగ్గు బంకర్లు, మిల్లులను బాయిలరు తరువాత వచ్చేటట్లు అమర్చారు. దీని వలన బొగ్గు సరఫరా వ్యవస్థ టర్బైన్ హోలుకు దూరంగా జరిగి బొగ్గు దుమ్ము ధూళి టర్బైన్ హోలులోకి రాకుండా శుభ్రంగా ఉండేందుకు దోహద పడింది.

### **ఎలక్ట్రో స్టోటిక్ ప్రైసిపిటీట్ల వ్యవస్థ**

బొగ్గు మండించగా ఉత్సవమయే CO, CO2 మొదలైన కలుషిత వాయువులకు Flue gases అని పేరు. టర్బైన్ హోలు పక్కన పొగ పోవడానికి వాడినటువంటి గొట్టాలు అవస్థి వెళ్ళాక అక్కడ ఈ బొగ్గుని సరఫరా చేసి బొగ్గు మిల్లులు బొగ్గు బంకర్లు ఏర్పాటు చేసి అక్కడినుంచి ఆ తరువాత ఎలక్ట్రో స్టోటిక్ ప్రైసిపిటీటరు అనే వ్యవస్థని నిర్మించారు. ఈ పొగని చిమ్మి ద్వారా బయటికి పంపేటప్పుడు ఆ పొగలోని బూడిద కణాలు మొదలగు వాటిని కరెంటు చార్జీ ద్వారా ఆక్రించి అక్కడే పడేస్తాయి. ఉత్త పొగ మాత్రం కీన్ గా బయటికి

వెళుతుంది. అందుచేత ఈ ఎలక్ట్రో స్టోర్క్ ప్రెసిపిచేటర్లు వాడినందువల్ల గొట్టంలో పొగ వస్తున్నట్లు కనపడదు. ప్లాంటులో నడుస్తున్నా కూడా పొగలో దుమ్ములేనందువల్ల పొగ కనబడదు. అది ఒక గొప్ప ఘనకార్యం.



బౌమ్ సౌజన్యం: రచయిత

## మైంటెనెన్స్ సమయం తగ్గింపు

దీనివల్ల కొంత లేఱపుల్ విశాలంగా తయారై ఆ బోగును నూరేటువంటి యంత్రాలు (బోగు మిల్లులు) విశాలమైన ప్రదేశంలో నిర్మించబడి వాటిని మొయింటైన్ చేయడానికి అనుమతి ఉండేవి. చిన్న చిన్న ట్రైన్సు నడవడానికి వీలుగా మధ్యలో పెద్ద రోడ్డు కూడా ఉండి మొయింటైనెన్స్ చేసేటప్పుడు పని చాలా సులువుగా త్వరగా జరిగేది.

బోగు మిల్లులను మామూలుగా అయితే ఓవర్ హోల్ చేయడానికి ఒక వారం రోజులు పట్టేది. అట్లాంటిడి ఈ కొన్ని మార్పులు చేర్చుల వల్ల, పనివాళ్ళకి మంచి శిక్షణ ఇచ్చినందువల్ల వాళ్ళు ఆ ఓవర్ హోలింగ్ పనిని మొత్తం మూడు రోజులకి తగించగలిగారు. దానివల్ల యంత్రము ఓవర్ హోల్ అయ్యి తొందరగా సరీస్పులోకి వెళ్లే అవకాశం కలిగింది. రాను రాను దానికి ఇంకా మెరుగు పరిచి ఒక రోజులోనే పూర్తి చేసేటువంటి బ్యాచ్ ను తయారు చేశారు. ఈ విస్తరించున్న ప్రయోగాగాన్ని గురించి తెలుసుకొన్న దేశంలోని ఇతర విద్యుత్ కేంద్రాల ఇంజనీర్లు వాళ్ళ పనివాళ్ళని వెంటబెట్టుకొని వచ్చి విజయవాడ విద్యుత్ కేంద్రం పని విధానాలను చూపించి అదే పద్ధతులను వాళ్ళు కూడా అవలంబించి పని గంటల్లి బాగా తగ్గించుకొని లాభం పొందారు.

ఈ డిజైన్ మార్పిడి వల్ల పొగపోయే గొట్టాల (అంటే flue ducts) పొడుగు ఎక్కువ అవుతాయి ఎందుకంటే భాయిలరుకు చిమ్మికి మధ్యలో ఈ బోగు మిల్లులు ఏర్పాటు చేశారు కదా, కాబట్టి భాయిలర్ నుంచి చిమ్మి వరకు దూరం పెరుగుతుంది. అందుచేత కొంచెం ఎక్కువ ఒత్తిడితో తోయాల్సిపచ్చేది. అయిననూ దానికి సరైనటువంటి FD ఫాన్స్ ID ఫ్యాన్స్ మొదలైనవి బి.పోచ్, ఈ.ఎల్ వారి

చేత డిజైన్ చేయించి వాటిని అక్కడ అమర్షడం జరిగింది. ఈ బోగ్గు మిల్లులను రేమండ్ బోర్డ్ మిల్స్ అనేవారు. ఇటువంటి ఒక్కొక్క మిల్లు దగ్గర నుంచి పొడి చేయబడినటువంటి బోగ్గు నాలుగు బోగ్గు గొట్టాలు ద్వారా బాయిలరుకి సరఫరా అపుతూ ఉండేది. అటువంటి మిల్లులు ఆరు ఉండేవి. ఒక బాయిలరుకు నాలుగు మిల్లులు అవసరం అయ్యేవి. ఈ నాలుగు మిల్లులు సాధారణంగా పనిచేస్తూ ఉంటే ఐదవ మిల్లు, అరవ మిల్లు పక్కన ఖాళీగా సిద్ధంగా (స్టోండ్ బై) గా ఉండేవి. ఈ గొట్టాలు బాయిలరు లోకి ప్రవేశించే విధానాన్ని బట్టి రెండు రకాలు. ఇంతకు మునుపు ప్రంట ఫైర్ (Front fired) బాయిలర్లు ఉండేవి. అందులో గొట్టాలు ముఖద్వారం నుంచే ప్రవేశించేవి. కాని ఇది కంబశ్ప్ర్ ఇంజనీర్ అఫ్ యూఎస్ఎఫ్ వాళ్ళ డిజైన్ ప్రకారం తయారు చేయబడిన రెండవ రకం బాయిలరు. ఇందులో ఒక మూల నుంచి బోగ్గుని ప్రవేశపెడతారు. మిల్లు నుంచి నాలుగు గొట్టాల ద్వారా తీసుకొని వచ్చిన ఈ బోగ్గు పొడిని బాయిలరు నాలుగు మూలల నుంచి లోపలికి పంపించి మంట మండించేవారు. అందుచేత వీటికి కార్పూర్ ఫైర్ (corner fired) బాయిలర్లు అని పేరు. ఇటువంటి బోగ్గు పొడి సరఫరా గొట్టాలు ఆరు అంతస్తులలో ఉండేవి.

ఆరు మిల్లుల నుండి ఆరు అంతస్తులలోని మూలలకు బోగ్గు పొడి సరఫరా అయ్యే వెసులుబాటు ఉండేది. (six elevations of coal guns బోగ్గు తుపాకీలు) A,B,C,D,E,F అని ఈ అంతస్తులకు పేర్లు పెట్టారు. ఈ బోగ్గుపొడి బాయిలర్లోకి పైమరీ గాలి ద్వారా వేగంగా వెళుతుంటే అది మండడానికి ఆయిల్ గన్స్ ఉండేవి. ప్రతి రెండు బోగ్గు తుపాకులకు మధ్యలో ఒక ఆయిల్ గొట్టం ఉండేది, అంటే A B అంతస్తుల మధ్యలో ఒకటి, C D అంతస్తుల మధ్యలో ఒకటి, E F అంతస్తుల మధ్యలో ఒకటి చొప్పున ఆయిల్ గన్స్ ఉండేవి. బోగ్గు యొక్క ఉపస్థితికిని కేలరీలలో కొలుస్తారు. తాప విద్యుత్ కేంద్ర బాయిలర్లు పనిచేయడానికి కిలో బోగ్గుకు 3,500 కిలో క్వాలరీల శక్తి కల బోగ్గు కావలసి ఉంటుంది. వాటి డిజైన్ ను ఆ ప్రకారం చేస్తారు. అప్పుడు నాలుగు అంతస్తుల బోగ్గు తుపాకులు పనిచేస్తే మనకు కావలసిన స్థాయిలో ఆవిరి ఒత్తిడి ఉప్పోట్టిగత వచ్చేది. కానీ మనకు సరఫరా చేస్తున్న బోగ్గు గనులలో ఉత్తుత్తి అయ్యే బోగ్గు చాలా తక్కు ఉప్పోట్టికి కలది. అనగా కిలో బోగ్గుకు 3000 లేదా అంతకంటే తక్కువ కిలో క్వాలరీల శక్తి కలిగిఉండేది. అందువలన 5 అంతస్తులలో బోగ్గును మండించవలసి వచ్చేది. కావున ఇదు మిల్లులు నిరంతరము పనిచేయవలసి వచ్చేది. ఆరవ మిల్లు అవసరానికి పనిచేసిటట్లు సిద్ధంగా ఉండేది. ఏదైనా పనిచేస్తున్న మిల్లులో సమస్య వస్తే అది ఆపేసి ఆరవ మిల్లును పనిలో పెట్టేవారు. కాని ఆరవ అంతస్తు అన్నింటికంటే ఎక్కువ ఎత్తులో ఉండటం వలన అవిరి ఉప్పోట్టిగత పెరిగిపోయి కొత్త సమస్యలు పుట్టుకువచ్చేవి. దానని చల్లబరవడం కోసము నీటిని ఆవిరిలోకి పంపేవారు. ఇటువంటి యంత్రచాలన (operational) సమస్యలను సమర్పించంగా ఎదుర్కొని తాప విద్యుత్ కేంద్ర ఇంజనీరు ఈ బాయిలరు ఉర్చేను యుంత్రాలను నడిపేవారు.

ఈ బోగ్గు నుసిని బోగ్గు మిల్లుల నుంచి బాయిలర్ వరకు తీసుకెళ్లడానికి పైమరీ ఎయిర్ ఫ్యాన్స్ (Primary Air Fans పీఎఫ్ ఫ్యాన్స్) ను వాడేవారు. ఒక్కొక్క బాయిలర్ కి రెండేసి ఫ్యాన్స్ ఉండేవి. ఈ ఫ్యాన్స్ గాలిని ఆ మిల్లులలోకి సరఫరా చేసి, ఆ ఒత్తిడి వల్ పొడి అయినటువంటి బోగ్గుని గొట్టాల ద్వారా బాయిలరులోకి తీసుకెళ్లేవి.

అక్కడ అవి మంటకి కావలసినటువంటి ఆక్రిజన్ అవి సరఫరా చేయడానికి ఎఫ్. డి. ఫ్యాస్టస్ (F. D. Fans Forced Draught) అమర్శారు. ప్రతి బాయిలరుకి ఇటువంటి ఫ్యాస్టస్ రెండేసి ఉంటాయి. ఈ ఫ్యాస్టస్ ఈ మంటకి కావలసినటువంటి వాయువు ఆక్రిజన్ మొదలైనవి సరఫరా చేసేవి. ఈ మూలలలో అందిన బోగ్గును అంటించడానికి వీలుగా ఆయిల్ గన్స్ కూడా ఏర్పాటు చేశారు. అయిల్ తో ముందు ఆ కార్పూర్ లో మంట రగిల్చి తరువాత కొంత సేపయూక ఈ బోగ్గు నుసిని పంపిస్తే అది సులభంగా అంటుకుని మండటం మొదలవుతుంది. తర్వాత ఈ బోగ్గు అంతా కూడా లోపల మండిన తర్వాత బయటికి వచ్చేటువంటి పొగ (flue gas) ఇడి ఫ్యాన్స్ ద్వారా బయటికి లాగేవారు. ఈ ఇడి ఫ్యాన్స్ చిమ్మిలకు దగ్గరగా ఉండేవి. ఆ చిమ్మి దగ్గర ఈ ఫ్యాన్స్ తిరుగుతూంటే ఈ బాయిలరులో ఒక నగిటింగ్ ప్రెషర్ ఏర్పడి అక్కడ ఏర్పడిన వాయువులన్నీ కూడా అక్కడికి ఆక్రింబడతాయి. ఆ విధంగా వాయువులను బయటకు తోసేవారు. ప్రతి బాయిలరుకి ఇటువంటి ఇడి ఫ్యాస్టస్ రెండేసి ఉంటాయి.

ఈ అవిరి ఉత్తుత్తి చేసే యంత్రము అంటే బాయిలర్ టూ పొస్ బాయిలర్ అంటారు. అంటే మంట ఒకచోట మండి ఆ వేడి గాలులు పైకి వెళ్లిపోయి అది మళ్ళీ తిరిగి హరిజంటల్ గా అంటే నేలకు సమాంతరంగా ప్రవహించి మళ్ళీ కిందకి దిగుతాయి. అలా కిందకు దిగినప్పుడు అక్కడ ఈ వాయువులన్నీ కూడా అక్కడికి ఆక్రింబడతాయి. ఆ విధంగా వాయువులను బయటకు తోసేవారు. ప్రతి బాయిలరుకి ఇటువంటి ఇడి ఫ్యాస్టస్ రెండేసి ఉంటాయి.

ఇవి మళ్ళీ ఇంకొక వైపున - అదే ఎయిర్ హిటర్ కి ఇంకో పక్క నుంచి ఈ FD ఫ్యాను PA ఫ్యాను పంపేటువంటి గాలులు కూడా ఏకమై ప్రవహించి ముందుగా బాయిలర్ లోకి వెళ్లే గాలిని వేడి చేస్తారు. దీని వల్ల మంట మండటానికి చాలా అనుపుగా ఉంటుంది.

పూర్వము బొగ్గు మండుటకు బాయిలర్లో అడుగున ఒక స్టిల్ చట్టం వంటి ప్లైటు ఉండేది దానిమీద ఈ బొగ్గు ముక్కలను పడవేసి మండించేవారు. ఈ చట్టము నెమ్ముదిగా కదులుతూ కాలిపోయిన బొగ్గు ముక్కలను ముందుకు తీసుకెళ్లి కొత్త బొగ్గును బంకర్ లో నుంచి అందులో పడేటువంటి ఏర్పాటు ఉండేది. దీనివల్ల బొగ్గులోని ఉప్పోగ్రతను సంపూర్ణంగా గ్రహించుటకు వీలుపడేది కాదు దానివల్ల ఉప్పు శక్తి సామర్థ్యము చాలా తగిపోయేది. బొగ్గును పొడిచేసి మండించటం వలన బొగ్గులోని శక్తిని బాగుగా గ్రహించగలరని భావించి నుసి ఇంధన (pulverised fuel) టెక్కాలజీని ప్రవేశపెట్టారు. అందుచేత బొగ్గు నూరి పొడి చేయుటకు తిరగలి వంటి యంతములు (కోల్ మిల్స్, coal mills) వాడేవారు. ఈ పొడి చేయబడిన బొగ్గును ఇంతకు ముందు చెప్పినట్లు పిల ఫొను గాలి ద్వారా బాయిలర్ లోనికి పంపేవారు. ఈ పద్ధతి వలన బొగ్గులోని ఉప్పు శక్తిని చాలా భాగము సంగ్రహించి ఇంధన సామర్థ్యము (fuel efficiency) పెంచేవారు.

కానీ ఈ ఆధునిక టెక్కాలజీ వచ్చాక అంటే పల్వరైస్ మిల్లు టెక్కాలజీ పెట్టినప్పుడు దాని యొక్క సామర్థ్యం (ఎఫిషియన్స్) బాగా పెరిగి బాయిలర్లో ఆవిరి ఉత్పత్తి అయ్యేది. ఈ విజయవాడలో ఉండే బాయిలర్లో ఆవిరి చ.సం.మీ కు 176 కి. గ్రా. ఒత్తుడితో 540°C ఉప్పోగ్రతతో ఉత్పత్తి అయ్యటను లోకి పంపించేవారు. దీన్ని అతి వేడి ఆవిరి (సూపర్ హిట్టడ్ స్టిమ్) అంటారు. అంటే మామూలుగా 100 డిగ్రీల సెంటీగ్రేడ్ కు మరిగే నీటిని 540°C దాకా మరిగించడం అన్నమాట.

సాధారణంగా నీరు 100°C వద్ద ఆవిరి అవుతుంది. కానీ ఈ నీటిని విపరీతంగా వేడికి గురి చేసినందువల్ల ఒత్తిడి పెరిగి బాయిలింగ్ పొయింట బాగా పెరిగిపోతుంది. ఈ విధంగా 540 డిగ్రీలకు ఆవిరిని ఉప్పోగ్రత పెంచి టర్బోనులో ప్రవేశపెట్టి స్ట్రోప్రెసర్ టర్బోనులో కొంత పని చేసిన తరువాత ఉప్పోగ్రత తగిన ఆవిరిని తిరిగి బాయిలర్ లోకి పోనిచ్చి మరల టేండ్ 540 డిగ్రీల వరకు వేడి చేసి దానిని మరుల ఇంటిల్చిడ్యుమట్ స్టేబిల్ ప్రవేశ పెడతారు. దీనినే రిపీట్ టెక్కాలజీ అంటారు

ఈ ఉప్పోగ్రతని పెంచడానికి అక్కడ బాయిలరులోనే సూపర్ హిటర్ కాయల్స్ అని గొట్టాలు ఉండేవి. అందుచేత ఈ బాయిలర్ లో హరిజాంటల్ పౌస్ లో వెట్టేటువంటి దోవలో ఈ గొట్టాలు పెట్టేవారు. అప్పుడు ఈ ఘ్యా గ్యాస్ లో ఉండేటువంటి ఉప్పోగ్రత అంతా ఆ గొట్టాల మీద ప్రవహించి ఆ గొట్టాల్లో ఉండే ఆవిరిని ఇంకా ఇంకా వేడి చేసి 540 డిగ్రీల ఉప్పోగ్రతకి పెంచేవి. అక్కడ టర్బోయునులు 170 కేజీలు ఆవిరి ఒత్తిడి 540°C డిగ్రీలు ఆవిరి ఉప్పోగ్రత అనే పారామీటర్లు (లక్షణాలు) మీద నడుస్తూ ఉండేవి.

విజయవాడ పవర్ స్టేషన్ లో ఉండే టర్బోను 210 మెగా వాటు విద్యుత్ శక్తి ఉత్పత్తి చేసే సామర్థ్యం కలిగి ఉన్నవి. వాటిని రష్యన్ టెక్కాలజీలో డిజ్యూన్ చేశారు. రష్యానుంచి ఎల్ ఎం జడ్ LMZ అనే టైప్ మిషనులు దిగుమతి చేసుకొని అక్కడ ఏర్పాటు చేశారు. ఈ యంత్రాలలో నడిచే ఆవిరి యొక్క లక్షణాలు ఇందాక నేను చెప్పినట్లు 170 సెంటీమీటర్స్ ఆవిరి ఒత్తిడి 540 డిగ్రీల సెంటీగ్రేడ్ ఉప్పోగ్రతలు ఉండేవి.

ఈ స్టిమ్ సైకిల్ సామర్థ్యం ఎక్కువ చేయడానికి రి హిటర్స్ కూడా వాడేవారు. టర్బోన్ లో ప్రయాణించే ఆవిరి మధ్య మధ్య కొన్ని దశలలో బయటికి తీసి అది మళ్ళీ బాయిలర్ లోకి పంపించేవారు. ఈ రి హిటర్ కాయల్స్ లోకి వెల్లి అక్కడ ఈ ఘ్యా గ్యాస్ యొక్క ఉప్పోగ్రతని సంగ్రహించుకుని 540°సి దాకా వేడిక్కి మళ్ళీ బాయిలర్ లోకి వచ్చేవి. బాయిలర్ లో మళ్ళీ అవి ఇంకాంచెం వేడిక్కి సూపర్ హిటర్ కాయల్స్ లోకి వెల్లి మరింత ఉప్పోగ్రతని సంతరించుకొని వెళ్లేవి.

ఈ రిపీట్ టెక్కాలజీ వల్ల స్టిమ్ సైకిల్ ఎఫిషియన్స్ బాగా పెరిగే నడుస్తా ఆ కొత్త టెక్కాలజీ ముందుగా వి.వి.కే లోనే మొట్టమొదటిగా మన ఆంధ్రప్రదేశ్‌లో మొదలుపెట్టారు.

ఇక టర్బోను విషయానికి వస్తే ఇందులో పలు దశలు ఉండేవి. ఈ పలుదశలలో నుంచి ఆవిరి ప్రవేశించి ప్రయాణం చేస్తూ ఆవిరిలోని ఉండే శక్తినంతా దానికి ఇచ్చేసి అది చలబడిపోయి కండెన్సరులోకి ప్రవేశిస్తూ ఉంటుంది. ఈ కండెన్సర్ అనేది స్టిమ్ టర్బో అఖరి స్టేబిల్ కి కింద ఉంటుంది. ఆవిరి టర్బోనులో తన శక్తిని అంతా వినియోగించిన తర్వాత దాని ఒత్తిడి ఉప్పోగ్రత బాగా తగిపోయే

దాదాపు సీటి ఆవిరి (water vapor) దశకు వచ్చేస్తుంది. ఆ నీటి ఆవిరి చల్లబడడానికి ఈ కండెన్సురులో చల్లటి నీటిని సర్కులేట్ చేసేవారు. ఈ ఆవిరి దాని ద్వారా ప్రయాణించి అక్కడ నీరుగా అయిపోయి ఆ కింద ఒక పెద్ద బేసిన్లో పడుతూ ఉంటుంది. ఈ నీటిని తిరిగి బాయిలర్ లోకి పంపించేసి మళ్ళీ నీటిఅవిరి ఉత్పత్తికి వాడేవారు. ఈ విధంగా మళ్ళీ వినియోగించబడేది (రీసైకిల్) అన్నమాట. ఇందులో వచ్చేది కొంత భాగం కారిపోయినా (లీక్) చాలా భాగం మళ్ళీ ఆవిరిని ఉత్పత్తి చేయడానికి ఉపయోగించేవారు.

తర్వాత ఎలక్ట్రిసిటీ ప్రాడ్యూస్ చేసేటువంటి మెషిను అంటే జనరేటరు డిజైను కూడా ఇక్కడ మొట్టమొదటిసారిగా వాటర్ కూల్ జనరేటరుని ప్రవేశపెట్టారు. అంటే జనరేటర్లు చల్లబరచడం. ఇంతకుముందు ఈ టెక్నాలజీ మనకి లేదు.

జనరేటర్ లో ముఖ్యంగా రెండు భాగాలుంటాయి. ఒకటి తిరిగేది (రోటరు) మరొకటి తిరగనిది (స్టోర్). జనరేటర్ విద్యుత్ శక్తిని ఉత్పత్తి చేసేటప్పుడు స్టోరులోని కాయిలు వేడెక్టిపోతాయి. వాటిని చల్లబరచడం చాలా అవసరం. ఇక్కడ ఒక విషయం. ఇంతవరకు 200 మెగావాట్ల సామర్థ్యం గల జనరేటర్ లను హైడ్రోజన్ ద్వారా చల్లబరించేవారు. కానీ ఈ రష్యను డిజైను జనరేటర్లో జనరేటరు కాయిలుని చల్లబరచడానికి నీటిని ఉపయోగించేవారు. దీని కొరకు స్టోర్ కాయిల్ గులగా తయారు చేసేవారు అంటే దాని లోపల నీరు ప్రవహించడానికి బిలుగా గొట్టం లాగా ఉండేవన్నమాట. దానికి ప్రత్యేకంగా ఖానిజ రహిత నీటిని (demineralized DM) పంపి చల్లబరించేవారు. ఆ నీటిని తిరిగి బయటికి తీసుకొచ్చక దాన్ని మళ్ళీ ఇంకా DM water coolers లో చల్లబరిచి మళ్ళీ ఆ జనరేటర్ కాయిల్ లోకి ప్రవహింప చేసేవారు. దీని అన్నిటికి ఎంతో క్లిష్ట్ మైనటువంటి డిజైన్ ఉండేది. ఈ రష్యను టెక్నాలజీలో అది వాడారు.

నీటితో పాటు హైడ్రోజను కూడా వాడేవారు. ఈ హైడ్రోజను ఎక్కువగా రోటరును చల్లబరించేది. రోటర్ అంటే అంటే జనరేటర్ లో తిరిగేటువంటి అయస్కాంత క్లైట్రాన్స్ (Magnetic Flux) ఉత్పత్తి చేసేటువంటి భాగం. ఆ రోటర్ ని చల్లబరచడానికి ఈ హైడ్రోజన్ వాడేవారు. ఈ వేడెక్టిన హైడ్రోజనుని చల్లబరచడానికి మళ్ళీ వేరే హైడ్రోజను కూలర్లు అని ఒక్కొక్క జనరేటరుకి నాలుగు కూలర్లు చోప్పున ఆ పైన చుట్టూ అమర్చేవారు. చల్లబరించేదుకు నీటిని వాడేవారు. అది నేను చెప్పినట్టు హైడ్రోజను వాయువును చల్లబరచడానికి పనికొస్తుంది. ఈ విధంగా జనరేటరు చల్లారే యంత్రాంగం (కాలింగ్ వృషష్ఠ) అంతా తయారు చేయబడింది. ఇది భాగా సాంకేతికమైనటువంటి పరిధిలో ఉంది కాబట్టి సామాన్యాలకు సాధారణంగా అర్థం కాదని వీలైనంత మటుకు మామూలు భాషలో నేను వివరించడానికి ప్రయత్నం చేశాను.

ఇటువంటి జనరేటర్ మొదటి దశలో రెండు యుసిట్ల నిర్మాణం జరిగింది. అంటే ఒక్కొక్కటి రెండు వందల పది అనగా 420 మెగావాట్ల శక్తిగల విద్యుత్ శక్తి ప్లాంట్ ని ఆవిర్మం చేయడం జరిగింది ఇది 1979 అకోబర్ నెలాఫరుకు ప్రతిష్టించడం అయింది. అంటే అప్పటిక మొదటి జనరేటర్ ఉత్పత్తి చేయడం మొదలుపెట్టింది. అలాగే 1980 అకోబర్ కి రెండవ జనరేటర్ కూడా ఉత్పత్తి చేయడం మొదలుపెట్టింది. అప్పటినుంచి అంధ్రప్రదేశ్లో విద్యుత్ కొరత తగ్గి సరఫరా చాలా మేరకు మెరుగుపడింది. 420 మెగవాట్లు అధిక సామర్థ్యం తోడయ్యంది కాబట్టి ఈ కొరతని అధిగమించారు.

దీని తర్వాత రెండవ దశలో మళ్ళీ రెండు వందల పది మెగావాట్ల సామర్థ్యం కల రెండు జెనరేటర్లను ప్రతిష్టించారు. ఈ యంత్రాల డిజైను మొదటి స్టోజి కన్వు భిన్నంగా ఉండేవి ఈ బాయిలర్ల మొదటి దశ బాయిలర్ల లాగా రెండు మార్గాల రకం (Two-pass) కాకుండా ఒకటే మార్గం రకం (Single-pass) బాయిలర్లగా డిజైను చేశారు. ఇది ప్రోంచ్ నిర్మాణ సంస్ ప్లైన్ (Stein) బాయిలర్ వారి ద్వారా కొనుగోలు చేశారు.

అంటే ఇందులో ఒకటే మారంలో ఈ మంటలు మండిన తర్వాత ఆ ఫ్లూ వాయువులు అన్ని తిన్నగా పైకెళ్ళిపోయి బయటకెళ్ళిపోతాయి, మళ్ళీ తిరిగి వెనక్కి రావడం ఉండదు. కాబట్టి ఆ పైన ఈ సూపర్ పీటర్ కాయిల్ రిపీటర్ కాయిల్ మొదలగునవి అన్ని అక్కడే ఏర్పాటు చేసి ఈ కావలసినటువంటి ఉపోగ్రతని జనరేట్ చేసేవారు. దీనిల కొంత ఏఫిషియల్ పెరిగి ఈ ఫ్లౌన్ లో మరీ ఎక్కువ ఒత్తిడికి గురు కాకుండా FD ఫ్లౌన్ డిజైను కొంచెం సులభ తరం చేశారన్నమాట.

రెండవ దశలో మొదటి దశలోని రేమండ్ బోర్ మిల్ లా కాకుండా ఎక్కువ శక్తి సామర్థ్యాలు కలిగినటువంటి ఉం మిల్ ని వాడారు. అంటే పెద్ద పెద్ద డ్రామ్స్ ఆరిబాంటల్లా తిరుగుతూ ఉండేవి. వాటిలో రెండు అంగుళాల వ్యాసము గల స్టీల్ బాల్ ని వేసేవారు. ఆ బంతులు తిరుగుతున్నప్పుడు బోగుని నూరి ఆ పొడిని బయటకు పిప్ప ఫ్లౌన్ గాలి ద్వారా బాయిలర్ లోకి పంపేవారు.

దీనిలో మళ్ళీ మునుపటి లాగే పి ఏ ఫాన్స్ ద్వారా గాలి పంపించి దాన్ని బాయిలర్ నాలుగు మూలలకి పంపించేవారు. దీని వల్ల ఇంకొంచెం మెరుగైన సామర్థ్యం వచ్చి ఓవరార్ థర్మల్ ఎఫిషియన్సీ బాగా పెరిగిందన్నమాట ఈ రెండవ దశలోని రెండు జెనరేటర్లు 1988 లో స్థాపించబడ్డాయి. ఇవి Siemens KFU డిజైను యంత్రాలు. దీనిలో నీటితో చల్లబరిచే వ్యవస్థ లేదు. ప్రైట్రోజను వాయువు ద్వారా చల్లబరుస్తారు.

దీని తర్వాత మూడవ దశలో మరియుక రెండు 210 మెగావాట్ల జెనరేటర్లు ప్రతిష్టించి ఆ విద్యుత్ కేంద్రాన్ని విస్తరించారు. ఈ విధంగా మూడు దశలలో రెండేసి జెనరేటర్లు చోప్పున మొత్తం ఆరు జెనరేటర్లు కలిపి 1260 మెగావాట్ల విద్యుత్ శక్తిని ఉత్పత్తి నిరంతరాయంగా ఉత్పత్తి చేస్తూ ఉంటాయి. మీరు గనక విజయవాడలోని ఆ టర్బైన్ హోలును సందర్శిస్తే అరు యూనిట్లు (జెనరేటర్లు) కనిపిస్తాయి.

దీని తర్వాత టెక్నాలజీ బాగా అభివృద్ధి చెంది 500 మెగావాట్ల యూనిట్లు (జెనరేటర్లు) కూడా వచ్చాయి. కాబట్టి నాలుగు దశలో ఈ 500 మెగావాట్ల జెనరేటరు ఒకటి స్థాపించబడి 2009 లో ఉత్పత్తి ప్రారంభించింది.

ఇంకా టెక్నాలజీ అభివృద్ధి అయ్యు డిజైను బాగా మార్పులు చెంది సూపర్ ట్రిటికల్ బాయిలర్ వచ్చాక, ఐదవ దశలో ఎనిమిది వందల మెగావాట్ల జెనరేటర్ ఒకటి స్థాపించబడి 2023 లో ఉత్పత్తి ప్రారంభించింది.

వి.వి.కే.నిర్మాణ దశల కాల క్రమము:

**మొదటి దశలో** రెండు 210 మెగావాట్ల యూనిట్లు.

1979 నవంబరు 1న 210 మె.వా. మొదటి యూనిట్ కమిషన్ అయ్యు ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

1980 అక్టోబరు 10న 210 మె.వా. రెండవ యూనిట్ కమిషన్ అయ్యు ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

ఈ రెండు యూనిట్లు LMZ టైపు రష్యన్ యూనిట్లు.

**రెండవ దశలో** రెండు 210 మెగావాట్ల యూనిట్లు.

1989 అక్టోబరు 5న 210 మె.వా. మూడవ యూనిట్ కమిషన్ అయ్యు ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

1990 అగస్టు 23న 210 మె.వా. నాలుగు యూనిట్ కమిషన్ అయ్యు ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

ఈ రెండు యూనిట్లు KFU టైపు Siemens జర్క్ నీ తయారీ.

**మూడవ దశలో** ఒక 500 మెగావాట్ల యూనిట్.

1994 మార్చి 31న 210 మె.వా. ఐదవ యూనిట్ కమిషన్ అయ్యు ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

1995 ఫిబ్రవరి 24న 210 మె.వా. ఆరవ యూనిట్ కమిషన్ అయ్యు ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

**నాలుగు దశలో** ఒక 500 మెగావాట్ల యూనిట్.

2009 ఏప్రిల్ 6న 500 మె.వా. ఏడవ యూనిట్ కమిషన్ అయ్యు ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

**ఐదవ దశలో** ఒక 800 మెగావాట్ల యూనిట్.

2023 డిసెంబర్ 20న 210 మె.వా. ఎనిమిదవ యూనిట్ కమిషన్ అయ్యు ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

ఈ డిజైన్ మార్పులు చేరుగులు ఈ నిర్మాణ ప్రక్రియ వేగంగా కొనసాగడానికి దాక్టర్ నార్ తాతారావు గారు ఆంధ్రప్రదేశ్ ఎలక్టోనిటీ బోర్డ్ చైర్మన్ వ్యక్తిగతంగా దగ్గరుండి పర్యవేక్షించేవారు. ఆయన ఇది తన సాంత బిడ్డ లాగా భావించి ఎంతో జాగ్రత్తగా దాన్ని డిజైన్ చేసి ఉత్పత్తిలోకి తీసుకొచ్చారు. ఈ బాయిలర్ దగ్గరనుంచి బొగ్గు మెల్లులను దూరంగా జరపడం వల్ల బొగ్గు దుమ్ము ధూళి అంతా టర్బైను హోస్టలోకి రాకుండా చేసినందువల్ల టర్బైను హోలు చాల నీటుగాను క్లీనగాను ఉండేది. ఎవరైనా కూడా చూస్తే ఇది థర్మల్ పవర్ స్టేషన్ లేకపోతే ఏదైనా స్టోర్ ఫోటోలూ అనిపించేటుపంటి పరిశుభతను వి.వి.కే. మొట్టమొదటిసారిగా నెలకొల్పి చూపించింది. ఈ కేంద్రం యొక్క విశేషమైన పనితీరును మూడడానికి దేశం నలుమూలల నుంచి ఎంతోమంది విద్యుత్ శక్తి ఇంజనీర్లు వచ్చారు. చూసి వాళ్ళ పవర్ స్టేషనులో కూడా ఈ పద్ధతులను అవలంబించి వాళ్ళ స్టేషన్లను మెరుగుపరుచుకోవడానికి ప్రయత్నించారు.

ఈ విధంగా విజయవాడ థర్లైన్ స్టేషన్ అంద్రపదేశ్లో విద్యుత్ శక్తి కౌరతను అధిగమించడానికి ఎంతో దోహదపడింది. ఇదీ కుషంగా విజయవాడ థర్లైన్ పవర్ స్టేషన్ అంటే వి.వి.కె. ఆవిర్మాన కథ.

నేను ఈ పవర్ స్టేషన్ లో మొదటి స్టేజ్ కమిషనింగు నుండి అనగా డివిషనల్ ఇంజనీర్ కమీషనింగ్ గా 1979 లో అక్కడ చేరాను. అప్పటినుంచి అక్కడే ఉండి 79 లో నవంబర్ | నాటికి మొదటి యూనిట్ కమిషన్ చేశాము. రెండవ యూనిట్ ని అక్కోబరు 1980లో కమీషన్ చేశాము. నేను అక్కడే సూపరిన్సెండింగ్ ఇంజనీరు గాను, తర్వాత చీఫ్ ఇంజనీరు గాను ప్రమోషన్ పొంది ఆపరేషన్ లో పనిచేసిన తర్వాత 91లో చీఫ్ ఇంజనీరు గా రిటైర్ అయిపోయినాను. తర్వాత రెండవ మూడవ నాలవ ఐదవ స్టేజీల్లో పైన చెప్పిన విధంగా వివికే లో యూనిట్లు విస్తరింప చేయడం జరిగింది.

\* \* \*

[ ఇది అంగర వారు ముద్రించి పంపిన ప్రసంగానికి అక్క రరూపం. - సంపాదకుడు ]

=====  
 శ్రీ అంగర గోపాల కృష్ణరావు గారు అంద్ర రాష్ట్ర అంద్రపదేశ్ రాష్ట్రములలో తొలి తరం విద్యుత్ ఇంజనీరు. 1954 లో కాకినాడ ఇంజనీరింగు కాలేజీ నుండి ఎల్క్యూకెల్ ఇంజనీరింగులో పట్టా పొంది, అంద్రపదేశ్ విద్యుత్ బోర్డులో పలు చోట్ల విద్యుత్ ఉత్పాదన శాఖలోనూ, విద్యుత్ పంపిణీ రవాణా శాఖలోనూ పనిచేసి విరమించారు. ప్రస్తుత నివాసం పైదరాబాద్ లో.  
 =====



# పరిమిత దశా యంత్రం: కృతిమ మేధ

## పరికరాల అవగాహనకి మొదటి మెట్టు

శ్రీ కొచ్చర్లకోటు బాపారావు

### “అద్భుత యంత్రాలు”, సంకీష్టత

ఇవాళారేపు మనం ఎటుచూసినా అద్భుత యంత్రాలమయమే. టెలివిజన్లు, జెట్ విమానాలు, కంప్యూటర్లు, ఇస్రో (ISRO) వాళ్ళు ఎగరేసే ఉపగ్రహాలు, మోబైల్ ఫోన్లు ఇలా ఎన్నో. ఈ యంత్రాలు మనకి చేసిపెట్టే పనులు – అంటే మొబైల్ ఫోన్లు దేశాంతరాలనుంచి సందేశాలు రెప్పించుటలో అందజేయడం, జెట్ విమానాలు అతివేగంగా మనుషుల్ని సుదూర గమ్యాలకి మోసుకుపోడం లాంటివి – అద్భుతాలు. ఏటిని రోజుగా చూడ్డం మామూలైపోవడంతో, ఇప్పుడ్నే అద్భుతాలుగా అనిపించడం మానేస్తాయి. కానీ ఒక్క క్లాషటాం నిదానించి, “ఫలాని యంత్రం (జెట్ విమానం అనుకుండా) ఎలా పని చేస్తుంది? దాన్ని ఎలా తయారు చేస్తారు?” అని గనక ప్రశ్నించుకుంటే, వెంటనే బుర్రకి అందనంత సంకీష్టత ఎదురౌతుంది. అంతటి సంకీష్టతగల యంత్రాలు తయారయ్యామన అందుబాటులోకి రావడం ఈనాటి అద్భుతం.

నేడు ప్రపంచాన్ని ఉర్కుతలూగిస్తున్న అటువంటి ఒక అద్భుతం కృతిమమేధ (క్ర్యమీ/AI Artificial Intelligence) యంత్రాలు. ఇవి గత కొద్ది సంవత్సరాలుగా బాగా ప్రాచుర్యంలోకి వచ్చాయి. గూగుల్ వారి జెమినీ, ఆంధ్రాపిక్ వారి క్లాడ్, ఓపెన్ ఎప వారి చాట్ జీపిటీ, మైక్రోసాఫ్ట్ వారి కోప్లెల్ట్ వంటివి. ఇవి భాషాబ్యహతింత్రాల (large language models) మీద ఆధారపడ్డ ఉత్సాధక కృతిమమేధ (ఉక్యమీ Generative AI) వ్యవస్థలు. అవి మనకు మనుషులతో మాట్లాడుతున్న అనుభూతిని కలిగిస్తున్నాయి. వాటి తెలివి, అనుభవజ్ఞత నిపుణులను సైతం మించుతున్నట్లున్నాయి. ఏటి శక్తులను చూస్తే అద్భుత యంత్రాలు కొత్త శిల్పిరాలకు ఎదిగినట్టనిపిస్తుంది. రోగినిదానం చెయ్యమన్నప్పుడు ఒక వైద్యునిలాగా, వ్యాపారపు సలహాలివ్యమన్నప్పుడు ఒక వ్యాపారిలాగా, ఒక కథ గాని వ్యాసం గాని రాయమన్నప్పుడు రచయిత లాగా, కవిత్వం రాయమన్నప్పుడు కవిలాగా, కంప్యూటరు ప్రోగ్రాం రాయమన్నప్పుడు ఇంజినీరులాగా, ఇలా ఏమడిగినా, బహుముఖ ప్రజ్ఞతో మాంచి అనుభవజ్ఞులైన నిపుణుల తరహాలో సమాధానం చెబుతున్నాయి ఈ యంత్రాలు. స్నిహితుడిలా కబుర్లు కూడా చెబుతున్నాయి. (మీరే చూడండి అనుబంధంలో, జెమినీతో అడిగి రాయించుకున్న ఓ చిన్న పిల్లల కథను)

ఇలా మనిషిని పోలిన మేధస్సుని యాంత్రికరూపంలో కల్పించగలగడం, ఇంతటి సంకీష్టతను యంత్రంలో ఇమిడింగలగడం అద్భుత యంత్రాలకి ఒక మాదిరి పరాకాష్టగా చెప్పవచ్చు.

## సరళ పరికల్పనల నుంచి సంకీష్ట వ్యవస్థలు ఎలా వస్తాయి ?

ఉత్సాహక క్షమే వ్యవస్థల్లాంటి సంకీష్ట యంత్రాలు ఉన్నపూర్వంగా ఎవరో ఊహించి ఏకబిగిన సృష్టి ఏర్పడినవి కాదు. ఏటిని కంప్యూటరు ప్రోగ్రాములతో నిర్మిస్తారు. సంకీష్ట ప్రోగ్రాములనేవి ఒకదానితోటి మరోటి కలిసి పనిచేసే ఉపప్రోగ్రాములుగా అమరి ఉంటాయి. ఈ ఉపప్రోగ్రాములని అంగాలు లేక అవయవాలు (components)గా వ్యవహరించవచ్చు. ఇలాంటి అంగవిభజన లేకపోయినట్టయితే అంత సంకీష్టతని ఒక్కటిగా నిర్మించడం అనేది ఊహించిన అందులుగా అందరు; ఎలాగోలాగా నిర్మించినా దాన్ని తప్పులూ, దోషాలూ లేకుండా నడిపించగలగడం అసలే కుదరదు. సంకీష్ట యంత్రపు అంతర్గత భావన (underlying concept) తెలుసుకోవాలంటే ముందుగా మనకు కొరుకుడు పడే సరళమైన భావనలతో (simple concepts) మొదలుపెట్టి, అంచెలంచెలుగా, ఒక్కొక్కమెట్టే ఎక్కుతూ, సంకీష్టతని పెంచుకుంటూ పోవాలి. ఈ యంత్రాలని నిర్మించాలన్నా, సజావుగా నడిపించాలన్నా, వాటినిగురించిన అవగాహన ఉండాలి; అటువంటి అవగాహనని మానవమాత్రుల ఊహించి అందుబాటులోకి తీసుకొచ్చేవే ఈ మెట్లు.

మనుషులు కృతిమంగా తయారుచేసుకునే సంకీష్ట వ్యవస్థలు ప్రకృతిలో సంభవించే వ్యవస్థలని పోలి ఉంటాయి. ప్రకృతి వ్యవస్థలూ, మనుషుల అవగాహనలోకి వచ్చేటప్పటికి అంచెలంచెల భావనలుగా అమరి ఉంటాయి. ఉదాహరణకి చీమలని తీసుకుందాం. పుట్టలు నిర్మించుకుని సామూహికంగా జీవించే చీమల సమాజాలు చాలా సంకీష్టతని కనబరుస్తాయి: రాణి చీమ ఏలుబడిలో బారులు తీరి కలిసికట్టగా ఆహారం తెచ్చుకుంటాయి, పుట్టలో పనులకని విభాగాలుగా ఏర్పడతాయి. ఇతర చీమల సమాజాలతో యుద్ధాలూ చేస్తాయి. ఇంకా ఎన్నో అబ్బారపరిచే పనులు చేస్తాయి. కానీ ఒక చీమని విడిగా తీసుకుంటే, దానిలో అంత సంకీష్టత కనబడు, అది చీమల సమాజంతో పోలిస్తే చాలా సరళమైన జీవయంత్రం అని చెప్పచ్చు.

మనిషి మేధస్సుని తీసుకుంటే, మెదడులో మనకి కనబడేది సంకీష్టంగా అల్లుబడిన నాడీకణాల సమూహం. ఒక్క నాడీకణాన్ని విడిగా తీసుకుంటే దాని వ్యవహారపు తీరుతేన్నులు బాగా సరళంగానే ఉంటాయి. కానీ కోట్లాది సరళమైన నాడీకణాలు అల్లికలగానూ, ఉపప్యవస్థలుగానూ వాటి అంగాంగవిభజనగానూ ఏర్పడి మనిషి మేధని ఆలోచనల నిలయంగా, సంకీష్టమైన సమాజాన్ని, దాన్ని నడిపి సంకీష్ట యంత్రాలను, యంత్రాలగాలను సృష్టించగలదానిగా తీర్చి దిద్దుతాయి.

చీమల సంకీష్టసమాజం ఎలా పనిచేస్తుందో తెలుసుకోవాలంటే, సరళమైన విడి చీమతో మొదలు పెట్టాలి. అలాగే, మనిషి మెదడు పనితీరు తెలుసుకోడానికి నాడీకణం (neuron) గురించిన పరిజ్ఞానం పునాది. అలా అని, పెద్దమెత్తంలో చీమలని ఏదోలా పోగు చేసినంతమాత్రాన చీమల సమాజం ఏర్పడుతుండనుకోవడం పొరపాటు. రాణి చీమకి, సమాజంలో వివిధమైన విధులు విభాగాలుగా ఏర్పడి నిర్విర్తించడానికి వీలుగా ప్రత్యేకరకాల చీమలు పుడతాయి. రాణి చీమ అనేది కూడా అలాంటి ప్రత్యేకరకపు చీమలో ఒకటి. ఆ సమాజం కూడా అంగాంగవిభజన కలిగి ఉంటుంది, ఈ అంగాలన్నీ వాటి వాటి పనులు చేసుకుంటూ, తత్తిమ్మా అంగాలతో లావాదేవీలు పెట్టుకుని, మొత్తం సమాజం అంతా సజావుగా నడిచేలా ఏర్పడతాయి.

నాడీకణానికి మెదడుకీ ఉన్న సంబంధం విడిచిమకి, చీమలసమాజానికి ఉన్న సంబంధం లాంటిదే. శరీరంలో నాడీకణాల సమూహాలు శ్యాస్ట, ఆహారం జీర్ణం చేసుకోడం లాంటి అసంకల్పిత చర్యలని నడిపించడానికి, అన్నం తినడం, సైకిలు నడపడం, బంతి ఆడటం లాంటి అలవార్పిన పనులని చేయంచడానికి, అదివరకు తెలియని సరికొత్త మేధమెటిక్సు సమస్యని వితర్పించి పరిష్కరించడం లాంటి ఆధిపత్యానిధులని (executive functions) నెరవేర్పుడానికి, శిల్మాలూ, యంత్రాలూ సృష్టించడానికి కావాల్చిన సృజనాత్మకతని వెలయించడానికి, ఇలా రకరకాల కార్బూలకి పనికొచ్చే సైషలిష్టులుగా ఏర్పడతాయి. ఆ షైషలిష్టులు ఒక్కొటీ పరస్పరం పలకరించుకుని, సంభాషించుకుని సహకరిస్తాయి.

చీమల సమాజం పనిచేసే తంతు, అంతకన్నా మనిషి మేధ పనిచేసే తంతు, అర్థం చేసుకోవాలంటే చాలా కృషి చెయ్యాల్సి ఉంటుందని తెలుస్తూనే ఉంది. అలాగే అదంతా ఒకేసారి బోపోసన పట్టడం ఎవరి తరమూ కాదు. విడి చీమతోనూ, విడి నాడికణంతోను మొదలెట్టాలి.

ప్రకృతికి చెందిన చీమల సమాజాలు, మానవ మేధ వంటి జీవ వ్యవస్థలు పరిణామ మార్గంలో వేలాది, లక్ష లాది సంవత్సరాల వ్యవధిలో పరిమితమైన మార్గాల్లో నడిచే కోట్లాది చిరుమార్గులతో నిగుదేరి, సహజరీతి ఎన్నిక (natural selection) జరిగి రూపొందుతాయి. మనిషి స్ఫూర్షించే వ్యవస్థల మాటక్కాస్తి, ఊహిశక్తితో ప్రేరేపించబడి, పైన చెప్పుకున్న మేధించబడ్డమైన సృజనాత్మకతనుంచి ఈ వ్యవస్థలు ఉద్భవిస్తాయి గనక అవి తయారయ్యే మార్గాలకి ప్రకృతిపోకడలతో పోలిస్తే పరిమితులు అంతగా ఉండవని అనుకోడం సమంజసం. విద్య, అనుభవం వల్ల సమకూర్చుకున్న అనేకమైన మౌలికభావకల్పనలని (elementary concepts) తలపెట్టిన ప్రయోజనానికి అనుగుణంగా సృజనాత్మకంగా అనుసంధించడం ద్వారా కృతిమ సంక్లిష్ట వ్యవస్థలు (artificial complex systems) రూపొందిస్తారు.

డాహరణకి 1903లో రైట్ సోదరులు (Wright Brothers) తొలిసారిగా విమానం ఎగరేసిన విజయాన్ని తీసుకుందాం. ఈ సోదరులు వ్యతీరీత్యా సైకిలు కార్బికులు. వాళ్ళకు రెండుచక్రాల సైకిలు బండి పడిపోకుండా సమతూకంతో (balance) ఎలా నడుస్తుంది అనే అవగాహన ఉంది. విమానం తయారుచేయడానికి అది సరిపోక పోవచ్చ, కానీ ఆ మొదటి ఊహా, సమతూకం గురించి ఆ సరళమైన భావన అత్యవసరమైన మొదటి మెట్లు. దాని తర్వాత వాశ్వద్రవ గతి శాస్త్ర సూత్రాల (principles of fluid dynamics)ను తెలుసుకొన్నారు. చిన్న పరిమాణంలో నమూనా విమానాలని తయారు చేయడం నేర్చుకున్నారు. వాజటి రెక్కల ప్రయోజకత్రాన్ని ప్రయోగాత్మకంగా కొలచడానికి వాయు సారంగాలని (wind tunnels) నిర్మించుకున్నారు. ఇలా అంచెలంచెలుగా విమానంలోని ఒక్కొక్క అంగాన్ని, అందులోని ఉపాంగాలని ప్రయోగాలు చేసి, పడుతూ లేస్తూ, పనిచేసిన వాటిని కూడగట్టుకుంటూ, గెలుపు ఓటములను మెట్లుగా చేసుకుని ఓపికతో నిరంతరం శ్రమించారు. ఓటవంటివస్తే ఈ సోదరుల విజయానికి ఉపయోగపడ్డ మౌలికభావకల్పనలు అని చెప్పవచ్చు.

ఇలాంటి మౌలికభావకల్పనలు సాధారణ సాయివారు అర్థం చేసుకోగలిగేలనే ఉంటాయి. ఇవి తెలిస్తే రైట్ సోదరుల మొదటి విమానం Wright Flyer పనితీరు ఒక మొస్తరుగా తెలిసినట్టనిపిస్తుంది. అలాగని సంక్లిష్టమైన ఆధునిక జెట్ విమానం ఎయిర్ బస్ A 380 లాంటిది ఎలా పనిచేస్తుందో, ప్రయాణికులని సవ్యంగా గమ్యానికి ఎలా చేరుస్తుందో తెలుసుకోడానికి రైట్ సోదరుల 1903 నాటి మౌలిక భావకల్పనా పరిజ్ఞానం సరిపోదు. జెట్ వాయునొకలో (jet airliner) జెట్ ఇంజను, రెక్కలు, విమాన చట్టం (airframe), చుక్కాని, వాయుపేడనా నియతకం, కమ్యూనికేషన్, ఇలా ఎన్నో ఉపవ్యవస్థలు ఉంటాయి; ఇవి ఒక్కొక్కటీ స్ప్రెయంగా మళ్ళీ సంక్లిష్టవ్యవస్థలుగా ఉంటాయి ఒక్కొక్కదాన్ని క్రమపద్ధతిన ప్రయోగాలతో వడపోసి / నిగ్గదేర్చి రూపొందించుతారు. జెట్ వాయునొకల్లో ప్రయాణికులని రవాణా చేసే వ్యాపారం ఎడతెగకుండా కొనసాగాలంటే అందుకు తగ ఆర్థిక వ్యవస్థ లేనిదే కుదరదు.

ఈ ప్రకారం, రైట్ సోదరుల సరళ భావకల్పనలకీ, ఆధునిక జెట్ విమాన నొక అనే సంక్లిష్ట వ్యవస్థకీ చాలా అంతరం ఉంది; అయినప్పటికీ ఒక సంక్లిష్ట యంత్ర నిర్మాణం తొలిదశలలో సరళమైన భావనలతోనే మొదలవుతుందని మనకు తెలుస్తుంది. సంక్లిష్టమైన త్యాగరాజ పంచరత్న కృతులకు సరళమైన సప్త స్వరాలే మూలము. విశ్వవిజేత సైర విహారం చేసే సంక్లిష్టమైన చందరంగం ఆటలో కూడా ఆదేవారందరికి తెలిసిన పాపులను కదిపే సరళమైన నిమయాలే మూలం.

## పరిమిత దశ (పద) యంత్రం: ఉత్సాదక కృతిమమేధకి సరళ మోలికం

పైన చెప్పుకున్నట్టుగా, **ఉత్సాదక కృతిమమేధ** (Generative AI) వ్యవస్థలని ఒక విధంగా సంక్లిష్ట యంత్రాలకి పరాకాష్టగా అనుకోవచ్చు. ఇతర సంక్లిష్ట వ్యవస్థల మాదిరిగానే ఈ వ్యవస్థలనీ అరం చేసుకోవాలంటే సరళ భావకల్పనలతో ఆరంభించవచ్చు.

అటువంటి సరళభావకల్పనలలో ప్రధానమైనది **జ్ఞాపకశక్తి** (memory). మరోటి **తార్కికశక్తి** (logical ability). ఇంకోటి **అభ్యాస శక్తి** (learning ability). జ్ఞాపకశక్తి అనే దాంట్లో సమాచారాన్ని నిలవేసుకునే శక్తి, ఆ నిలవున్న సమాచారాన్ని సందర్శనుసరంగానూ, త్వరితంగానూ స్ఫూర్తికి తెచ్చుకునే శక్తి (retrieval ability) అవిభక్తంగా మిథితమై ఉంటాయి. ప్రస్తుత పరిస్థితిని బట్టి, ఆ పైన ఏం చెయ్యాలో నిర్లఱించి, ఆ నిర్లఱం ప్రకారం యంత్రాన్ని నడిపించే తార్కిక శక్తి. ఆ పైన అభ్యాస శక్తి, మనిషి మేధస్సు మాదిరిగానే అందుబాటులోకి వచ్చిన కొత్త సమాచారాన్ని, పరిజ్ఞానాన్ని, తప్పుల సపరణలనీ ఎప్పటికప్పుడు జ్ఞాపకభాండారంలో కలుపుకుని యంత్రాన్ని మొరుగు సాయికి తీసుకు పోతూ ఉంటుంది. **ఉత్సాదక కృతిమమేధలో జ్ఞాపకశక్తి విస్తృతంగానూ బలంగానూ ఉంటుంది.** **ఉపయోగకర్త** (user) అంతరకూ సలిపిన సంభాషణలతో (interactions) పాటు, అంతర్జాల (internet) విశ్వంలో గల సంబంధిత విషయం తాలూకు అభ్యసిత పరిజ్ఞానాన్ని (learned knowledge) కూడా స్వరణలోకి తెచ్చుకుంటుంది. ఈ సంభాషణలనీ, పరిజ్ఞానాన్ని ఆధారంగా తీసుకుని, తనకున్న తార్కిక శక్తిని ఉపయోగించి, ఉపయోగకర్తనుంచి వచ్చిన ప్రస్తుత ప్రశ్నకి సమాధానాన్ని ఉత్పత్తి చేస్తుంది.

**ఉదాహరణకి**, సంభాషణ సందర్భంగా, చిన్న పిల్లల కథ ఒకటి చెప్పుమని జెమినీని అడిగామనుకోండి. సదరు పిల్లలు ఏ వయసు వాళ్ళు, వాళ్ళ విద్యా తదితర నేపథ్యాలు ఎలాంటివి, అనే విషయాలు ఉపయోగకర్త తానై తేల్చి చెప్పి ఉండకపోయినట్టయితే, ఉపయోగకర్త గత సంభాషణని ఆధారంగా తీసుకుని, జెమినీ ఆ వివరాలని అభ్యసిత పరిజ్ఞానంతో ఉపహాస్తుంది. ఆ పైన తనకి అందుబాటులో ఉన్న తెలుగు బాలల కథాశిల్యాలూ, కథా వస్తువులూ మొదలైనవి అభ్యసిత పరిజ్ఞానంతోనే సమకూర్చుకుని, వాటి కలయిక ఏ విధంగా ఉంటే ఉపయోగకర్తకి నమ్మతుందో ఊహించుకుని, ఆ ప్రకారం కథని ఉత్పత్తి చేస్తుంది. ఈ మొత్తం ప్రక్రియలో అభ్యాసమూ, జ్ఞాపకశక్తి, తార్కిక శక్తి పరస్పరం సహకరించుకుంటాయి. (అనుబంధంలో కథ చూడండి.)

జ్ఞాపకశక్తి అయినా, తార్కిక శక్తి అయినా, అభ్యాసం అయినా, కంప్యూటరు ప్రోగ్రాం రూపీణా బీజ గణితస్థాయిలో నిర్దిష్టంగా సారూప్యత కలగజేస్తారు. అలా చెయ్యడానికి గణితశాస్త్రబ్ధంగా ఈ శక్తులని నిర్వచించాలి ఉంటుంది. ఇటువంటి నిర్వచనాలు కొరుకుడు పడాలంటే పైన చెప్పుకున్న విధంగా సరళమైన మోలిక భావకల్పనలతో ఆరంభించాలి ఉంటుంది. అటువంటి మోలిక భావకల్పనల్లో ముఖ్యమైనది పరిమిత దశా యంత్రం (finite state automaton, షైఫ్ట్ సెట్ అటోమెటిస్), పాడక్ష రాల్లో పద యంత్రం (FSA)<sup>8</sup>. ఇది అభ్యాసాన్ని మినహాయించి, జ్ఞాపకశక్తిని, తార్కిక శక్తిని మేళవించే సరళ యంత్రం.

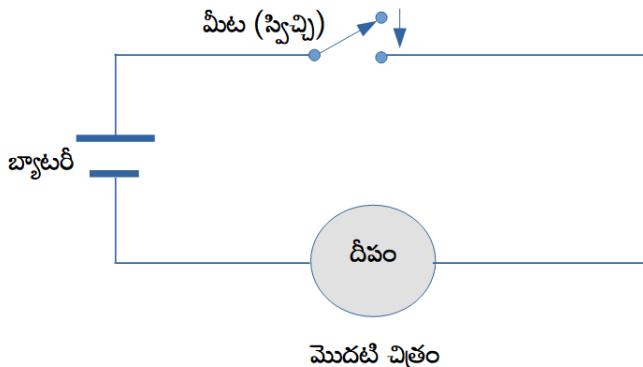
## పరిమిత దశా యంత్రం

పద యంత్రం ఎప్పుడు చూసినా ఏదో ఒక దశలో ఉంటుంది. (దశలంటే ఏమిటో క్రింది వివరణలో ఉదాహరణపరంగా చెప్పబడింది) ఆ దశలో ఉండగా ఎదురయ్యి ఇన్స్పుట్ ని బట్టి, మరే దశకి మారాలో తేలిపే నియమాలు ఉంటాయి. ఆ నియమాల ప్రకారం, ఎదురైన ఇన్స్పుట్ మాసుకుని మరో దశకి మారడమే పరయంత్రం పని.

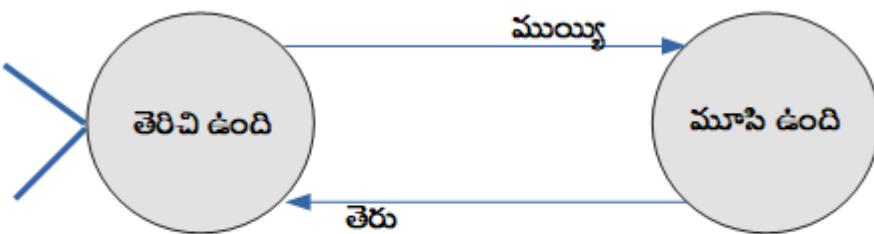
అందరికి తెలిసున్న దీపం మీటు (light switch)ని ఒక పదయంత్రంగా మనం భావించవచ్చు. మొదటి చిత్రంలో ఒక బ్యాటరీ, ఒక దిపం, వాటిని కలుపుతూ నడుమ స్విచ్ లిగిన విధ్యుత్ వలయం కనబడతాయి. చిత్రంలో బాణం గుర్తు ప్రకారం ఆ స్విచ్ ని కిందికి

<sup>8</sup> పరిమిత దశా యంత్రం అనే దానికి పాడక్ష రాలతో పదయంత్రం అనే పేరు కుదిరినా, భాషలో వాడే ‘పదం’ అనేదానికి ఈ ‘పద’ అనే పేరుకి ప్రత్యక్ష సంబంధం ఏది లేదు. అయితే, ఈ రకం యంత్రాలని సాధారణంగా యాంత్రిక భాషాగ్రహణ (machine-based language understanding)లో పద విశేషణలో ఉపయోగిస్తారు; ఇదో సరదా పుట్టించే యాదృచ్ఛికం మాత్రమే.

నొక్కితే (మూలై) వలయం పూర్తయి, విద్యుత్తు ప్రవహించి దీపం వెలుగుతుంది. స్థిరించి నోక్కితే (మూలై) వలయం భంగం అయి, విద్యుత్తు ప్రవాహం నిలిచిపోయి, దీపం ఆరిపోతుంది.



రెండవ చిత్రం స్థిరి పనితీరుని పదయంతం రూపంలో చూపిస్తుంది. స్థిరి అనే పదయంతానికి రెండు దశలు: “తెరిచి ఉంది,” “మూలిక ఉంది” అనేవి. “తెరిచి ఉంది” అనే దశలో ఉన్నప్పుడు “ముయ్య” అనే ఇన్స్పుట్ వస్తే స్థిరి పదయంతం “మూలిక ఉంది” అనే దశలోకి మారుతుంది. ఇప్పుడు “మూలిక ఉంది” అనే దశలో “తెరు” అనే ఇన్స్పుట్ వస్తే, “తెరిచి ఉంది” అనే దశలోకి తిరిగి వెళ్లిపోతుంది.



### రెండవ చిత్రం: సాధారణ స్థిరి పదయంత స్వరూపం

ఈ పదయంతానికి, భౌతిక స్థిరికి గల సాపత్యం వేరే చెప్పక క్రూర్కుండానే తెలిసిపోతోంది. అందుక్కారణం ఒకటి మనం బోధనాసాలభ్యం కోసం అతి సరళమైన సాధారణ స్థిరిని ఎన్నుకోడమైతే, మరో కారణం మనం ఈ పదయంతపు దశలకి తేలికగా తెలిసేలాగా “తెరిచి ఉంది,” “మూలిక ఉంది” అనీ, ఇన్స్పుట్లకి “ముయ్య,” “తెరు” అని పేర్లు పెట్టుకోడం. నిజానికి ఇలాంటి యంత్రాలు బీజగణితపు అమూర్ఖ శిల్యాలు (abstract algebraic structures); వీటిని నేరుగా కంప్యూటరు కోడ్లోకి అనువదించి రాస్తారు. అంచేత ఈ దశలకి, ఇన్స్పుట్లకి A, B లాంటి అక్షరాలుగానీ, 0, 1, 2 లాంటి అంకెలుగానీ పెట్టుకున్నా గణితపరంగానూ, కంప్యూటరు పరంగానూ ఎలాంటి ఇబ్బంది ఉండదు.

### అదనపు వసతి: చౌట్ పుట్

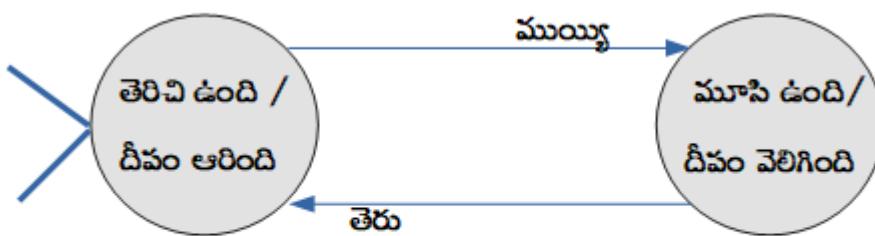
అయితే దీపం మాటేమిటి? పదయంతానికి ఒక చిన్న అదనపు వసతిని కలపవచ్చు – ఇన్స్పుట్ చూసుకుని దశ మారినప్పుడు కావాలంటే ఒక చౌట్ పుట్ ని వెలువరించవచ్చు అన్నది. ఇప్పుడు “తెరిచి ఉంది” అనే దశనుంచి “మూలిక ఉంది” అనే దశకి మారినప్పుడు “దీపం వెలిగింది” అనే చౌట్ పుట్, మళ్ళీ స్థిరి తెరవబడి, “తెరిచి ఉంది” అనే దశకి చేరినప్పుడు “దీపం ఆరింది” అనే చౌట్ పుట్ ఏర్పాటు చేసుకోవచ్చు. చిత్రం 3 లో దశ పేరు తరవాత ఏటవాలు గీత గీసి ఆ దశ చేరినప్పుడొచ్చే చౌట్ పుట్ చూపించబడింది.

దీపం సానంలో గంటని పెట్టుకుంటే, దీపానికి సంబంధించిన బోట్సుట్లల బదులు “గంట మోగింది,” “గంట ఆగింది” అనే బోట్సుట్లని ఏర్పాటు చేసుకోవచ్చు. స్వచ్ఛ పనితీరు మారదు, దాంతోబాటే స్వచ్ఛిని నిర్వచించే పదయంతపు తీరును.

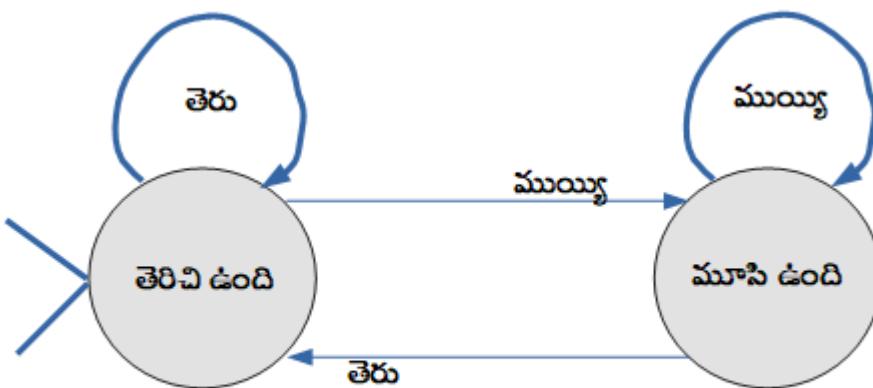
### అదనపు వసతి: మార్పు కలిగించని ఇన్సుట్

మరి “తెరిచి ఉంది” అనే దశలో “తెరు” అనే ఇన్సుట్ గానీ, అలాగే “మూసి ఉంది” అనే దశలో “ముయ్య” అనే ఇన్సుట్ గానీ వస్తే? తెరిచి ఉన్న స్వచ్ఛిని పైకి తోస్తే అది అలాగే తెరిచే ఉండిపోతుందనీ, అలాగే, మూసి ఉన్న స్వచ్ఛిని ఇంకా కిందికి నొక్కితే అది అలా మూసుకునే ఉండిపోతుందనీ మనకి తెలుసు.

రెండవ మూడవ చిత్రాలలో “తెరిచి ఉంది” అనే దశలో “తెరు” అనే ఇన్సుట్ గానీ, “మూసి ఉంది” అనే దశలో “ముయ్య” అనే ఇన్సుట్ గానీ మాపబడలేదు. అంటే ఆయా దశలల్లో ఆయా ఇన్సుట్లలవల్ల దశ మారదు అని అర్థం. కావాలంటే నాలుగవ చిత్రంలో మాదిరి దశమార్పిడి కలిగించని ఇన్సుట్లని సైతం చూపించవచ్చు.



**మూడవ చిత్రం: బోట్ పుట్ లతో సాధారణ స్వచ్ఛి పదయంతం**



**నాలుగవ చిత్రం: సాధారణ స్వచ్ఛి పద యంత స్వరూపం, దశ మార్పిడి లేని ఇన్సుట్ లతో**

## అదనపు స్వరూప సాకర్యం: మాత్రికా స్వరూపం

అన్ని దశలలోనూ అన్ని ఇన్స్పుట్ల ప్రభావాన్ని—దశ మార్పిడి జరిగినా జరగకపోయినా—సమగ్రంగా పదయంత్రాన్ని మాపించడానికి మాత్రికా స్వరూపం (matrix or tabular form) ఒక అనువైన సాధనం. దశలని గుండ్రాలుగానూ, ఇన్స్పుట్లని బాణంములికిగల గీతలుగానూ గల బొమ్మగా మాపిస్తూ వచ్చిని | నుండి 4వ చిత్రాల పథ్థతికీ, 5వ చిత్రంలోని మాత్రికా స్వరూపానికి సూత్రప్రాయంగా వ్యత్యాసమేఖి లేదు. దశల సంఖ్య పెరిగే కొద్దీ బొమ్మ రద్దీ పెరిగి గజిబిజిగా అనిపించవచ్చు. మాత్రికా స్వరూపమైతే క్రమ పథ్థతిలో పెంచుకుపోవడానికి ఆస్కారం ఉంటుంది.

అయిదవ చిత్రంలో దశలు అడ్డ వరసలు (rows)గానూ, ఇన్స్పుట్లు నిలువు స్తంభాలుగానూ (కాలములు, columns) మాపించబడినాయి. అంటే ఒక్కొవరసా ఒక్కొ దశ, ఒక్కొ స్తంభం ఒక్కొ ఇన్స్పుట్ అన్న మాట. దశల వరసలని పేరిగి, ఎడమచివర్ష ఉన్న స్తంభంలో ఒక్కొ దశ పేరు సూచిస్తాము. అలాగే ఇన్స్పుట్లని నిలువుగా అన్ని, అన్నిటికంటా పైనున్న వరసలో (header, తలవరస) ఆ ఇన్స్పుట్ పేరు సూచిస్తాము.

ఇప్పుడు ఉదాహరణకు ఒక్క గడి తీసుకుందాం. మన యంత్రం ఇప్పుడు. “మూసి ఉంది” అనే దశ లో ఉందనుకుందాం. అప్పుడు మనం అది ఉన్న వరసని ఎడమ చివరి స్తంభంలో వెతుక్కొవాలి. తర్వాత మనకిప్పబడిన ఇన్స్పుట్ “తెరు” అనుకుందాం. దాని స్తంభాన్ని ఆ వరసలో, “తెరు” అనే తలవరస కింద చట్టుకొవాలి. అందులో “తెరిచి ఉంది” అనే అరోపం (entry) ఉంది కదా అంటే “తెరిచి ఉంది” అనే దశకి మార్పాలన్న నిర్దేశం ఉంది. అలాగే ఇతర దశ మార్పు నిర్దేశాలూను.

ఇన్స్పుట్లు → ↓	తెరు	ముయ్య
> తెరిచి ఉంది	తెరిచి ఉంది	మూసి ఉంది
మూసి ఉంది	తెరిచి ఉంది	మూసి ఉంది

చిత్రం 5: మాత్రిక (table) స్వరూపంలో సాధారణ స్విచ్చి పదయంత్రం

## జ్ఞాపకశక్తి, తార్యిక శక్తి

సాధారణ స్థిచ్చిని చిత్రీకరించే ఈ పదయంత్రం అతి సరళమైనది. అయినా, ఇందులో తాను ఫలానా నిర్దిష్ట దశలో ఉన్నానన్న ఆత్మజ్ఞానం ఇమిడి ఉంది. అదే జ్ఞాపకశక్తికి అఱుప్రాయమైన మూలాంకం (an atomic-level element of memory). ఆ ఫలానా దశలో ఉండగా ఫలానా ఇన్పుట్ తారసపడితే ఒక నిర్దిష్టమైన దశకి (ఆ దశ తాను అప్పటికే ఉన్న దశకే కావచ్చు) చేరుకోవాలన్న ఆదేశమే తార్యిక శక్తికి ఓ అఱుప్రాయ మూలాంకం (an atomic-level element of logical processing).

**అదనపు వసతి:** ఆది దశ, దశలవారీ ఇన్పుట్ల మాలికల తరహాలు, శూన్యమాలిక

పదయంత్రం ఒక నిర్దిష్ట దశకి చేరిందంటే దానథం అది ఆ దశలో తనని దింపే ప్రత్యేకమైన తరహా ఇన్పుట్ల మాలికి (input string) మాసిందన్నమాట. ఈ మాలికకి ఒక మొదలు కలిగించాలంటే ఉన్న దశలో ఒకదాన్ని ఆది దశ (start state)గా నియమించుకోవాలి. అంటే యంత్రం అమర్చబడినప్పుడు అది ఆ ఆది దశలో జీవితం ఆరంభిస్తుందన్నమాట. స్థిచ్చి అమర్చినప్పుడు అది తెరిచి ఉన్నట్టు. చిత్రాలు 2-4 లో దశ తాలూకు గుండ్రానికి ఎడం పక్క > తో సూచించాము. చిత్రం 5 లో ఆది దశని దశ పేరు మొదట్లో “>” గుర్తుతో సూచించాము.

చౌట్పుట్ల వసతి కల్పించాక ఇది మరో అదనపు వసతి. దీని సహాయంతో ఇప్పుడు మనం స్థిచ్చి పదయంత్రపు రెండు దశలకీ వాటివాటి ప్రత్యేక తరహాల ఇన్పుట్ల మాలికలని జోడించవచ్చు. ఆది దశ అయిన “తెరిచి ఉంది” దశ మాటక్కాణ్ణి, “శూన్య” ఇన్పుట్ మాలిక కూడా ఆ దశతో జోడి అయి ఉంటుంది. “శూన్య” ఇన్పుట్ మాలిక అంటే, ఏ ఇన్పుట్ లేకపోయిన పక్కంలో ఆది దశలో ఉన్న పదయంత్రం అక్కడే ఉండిపోతుంది అని అర్థం. ఇలాంటి శూన్య ఇన్పుట్ ని గ్రీకు అక్షరం E (ఎప్పిలాన్) తో సూచిస్తారు. అంకెల్లో సున్నా ఎలాంటిదో, ఇన్పుట్ మాలికల్లో ఎప్పిలాన్ అలాంటిది. ఈ ఎప్పిలాన్ కలుపుకుంటే, మన రెండు దశలతో జోడి అయిన ఇన్పుట్ మాలికలు ఇలా ఉంటాయి:

“తెరిచి ఉంది” దశ: E, తెరు-తెరు-తెరు-...., ముయ్య-తెరు-తెరు-...., తెరు-ముయ్య-తెరు-తెరు-....

“మూసి ఉంది” దశ: ముయ్య-తెరు-ముయ్య-ముయ్య-...., ముయ్య-ముయ్య-ముయ్య-....,

ఈ మాలికల నమూనాలని గమనిస్తే, “తెరిచి ఉంది” దశకి చేర్చే మాలిక తప్పనిసరిగా ఎప్పిలాన్ (E) అయినా అయి ఉండాలి, “తెరు” ఇన్పుట్తో ఆఖరయ్యేదయునా ఉండాలి. అలాగే, “మూసి ఉంది” దశకి చేర్చే మాలిక ఎప్పటికే ఎప్పిలాన్ (E) అవ్వదు, ఎందుకంటే ఆ దశ ఆది దశ కాదుగనక. ఆ దశ తాలూకు మాలిక తప్పనిసరిగా “ముయ్య” తో ఆఖరవ్వాలి.

ఇక్కడ మనం మాటవరసకి ఇన్పుట్ మాలిక “తెరు” తోనో, “ముయ్య” తోనో “ఆఖరవ్వాలి” అంటున్నాంగానీ, నిజానికి ఇప్పటిదాకా తయారు చేసుకున్న పదయంత్రం యొక్క ఇన్పుట్ మాలికలకి అంతం అంటూ ఉండదు. ఒకసారి అమర్చుకున్న భౌతిక స్థిచ్చిని ఎన్నిసారెనా ముయ్యడం, తెరవడం, ఏ క్రమంలోనేనా చెయ్యచ్చు. మనం వాడిన “ఆఖరు ఇన్పుట్” అనే ప్రయోగానికి అసలు అర్థం “ఫలానా దశలోగనక పదయంత్రం ఉందంటే, అప్పటిదాకా కనబడ్డ ఇన్పుట్ మాలికలో చివరి ఇన్పుట్ ఫలానాది” అని. “తెరిచి ఉంది” అనే దశలో ఉన్నామంటే, “ముయ్య” చివర్యగల మాలికని చూసామన్నమాట. అలాగే “మూసి ఉంది” అనే దశలో ఉన్నామంటే, “ముయ్య” చివర్యగల మాలికని చూసినట్టు. ఇలా అంతమంటూ లేకుండా సాగిపోగలిగే ఇన్పుట్ మాలికలకు బీజగణితంలో అపరిమిత (unbounded) మాలికలని పేరు.

**అదనపు వసతి:** అంత్యదశ, మిత నిడివి ఇన్పుట్ మాలికలు

దీన్ని బట్టి ఒక ఆలోచన తడుతుంది: స్థిచ్చిల్లాంటివాటి పదయంత్రాలయితే సరే, అంతం లేకుండా అలా ఆడుతూ పోవడమే వాటికి తగిన సహాజ భౌతిక లక్షణాం. మరి వేరే రకం పదయంత్రాల ఇన్స్పుట్ మాలికలని ఒక నిడిని తుంచెయ్యగలిగితే—అంటే పైన చెప్పుకున్నట్టు అపరిమితాలు కాకుండా పరిమితాలు (finite లేక bounded)<sup>9</sup> గా వాటిని చెయ్యగలిగితే—అలాంటి పదయంత్రాలతో సాధించగలిగే ఉపయోగకరమైన ప్రయోజనాలేవైనా ఉంటాయా?

ఇన్స్పుట్ మాలికని తుంచెయ్యడానికిగాను పదయంత్రపు ప్రణాళికలో ఇప్పుడున్న ఆదిదశకి సమంగా అంత్యదశని ప్రవేశపెడితే సరిపోతుంది. పదయంత్రం అంత్యదశకి చేరుకోగానే అక్కడితో ఆగిపోతుంది. అంటే ఆ పైన ఇన్స్పుట్లని పట్టించుకోదు. అంతటితో ఇన్స్పుట్ మాలిక దానంతటదే తెగిపోతుంది. దాని నిడిని ఈ ప్రకారం పరిమితమవుతుంది. ఆ ఇన్స్పుట్ మాలికని అంత్యదశకి చేరిన పదయంత్రం ఆమోదింపబడినది (accepted) అవుతుంది.

## మరో మెట్టు: ఆమోదక పదయంత్రం (finite state acceptor)

అంత్యదశకలిగి ఉండి, ఒక నమూనా (pattern) కి (క్రింది ఉండాపారణల్లో నమూనాలు అంటే ఎలా ఉంటాయా సూచించబడింది) లోబడే మిత ఇన్స్పుట్ మాలికని ఆమోదించి ఆగిపోయే పదయంత్రాలతో సరిపోయే ఔపయోగిక యంత్రాలు మనకి నిజజీవితంలో తారసపడుతూనే ఉంటాయి. ఉండాపారణకి:

- పెద్ద అక్షరంలో మొదలై, అక్షర రాలూ, అంకెలూ, కనీసం ఒక ప్రత్యేక కారెక్టరూ కలిగి ఉండి, 7 నుంచి 20 కారెక్టర్ల నిడిని కలిగున్న పాస్వర్టుని ఆమోదించే యంత్రం (పాస్వర్టు తప్పో ఒప్పో తేల్చే ముందు ఈ ఆమోద పరీక్ష అవసరం అవుతుంది). ఇక్కడ “ఆదిలో పెద్ద అక్షరం, ఎన్నో కొన్ని అక్షర రాలూ, అంకెలూ, ‘#’ లాంటి ప్రత్యేక కారెక్టర్లూ ఉండాలి” అనేది ఒక నమూనా. ఇలాగే మరేదైనా నమూనా ఉండవచ్చు.
- కస్టమర్లతో సంభాషించి సంశయాలు తీర్చే బాతాళానీ యంత్రాలు (చాటబాటులు) కస్టమర్ ప్రశ్నలనీ, వాటిలో పదాలనీ అర్థవంతాలుగా గుర్తించి ఆమోదించి, సంభాషణ ముగిసాక తామూ అంత్యదశకి చేరుకుని, ఆ పైన ఆగిపోతాయి. ఇక్కడ నమూనా, “పరిచయ వాక్యం, ఎన్నో కొన్ని సంభాషణ వాక్యాలు, వీడుకోలు వాక్యం” అనుకోవచ్చు.
- ఒక కథగానీ, కవితగానీ, కొన్ని నిరీత నియమాలని, శిల్పాన్ని పాటిస్తున్నదా లేదా అని ఎలా చెప్పగలం? ఇచ్చేవల మార్కెట్లో లభ్యం అవుతున్న కొన్ని ఉత్సాధక కృతిమమేధ పరికరాలు ఒక కథను లేక కవితను తీసుకొని అందులోని పదాలను ఇన్స్పుట్ మాలికగా గ్రహించి అది నియమబద్ధమైనది అని ఆమోదమో లేక కాదని తిరస్కరమో తెలుగుగలుగుతున్నాయి. ఇక్కడ ‘అనగా అనగా’ లాంటి నాందిపదం, ఆ పైన కథగా పనికొచ్చే ఎన్నో కొన్ని తెలుగు పదాల వరస, చివర్ను ‘కథ కంచికి’ అనే భరతవాక్యం—ఈ మాలికని నమూనాగా అనుకోవచ్చు.

పై ఉండాపారణలు కాస్ట ఎక్స్‌వ తక్సవగా సంకీష్టమైన యంత్రాలవి. వాటిని అరం చేసుకోవడంలో మొదటి మెట్టి సరళభావకల్పనగా ఆమోదక పదయంత్రం పనికొస్తుంది.

## ఉండాపారణ: ఉత్సాహితి కథ

కథ ఉండాపారణ తీసుకుంటే, ‘అనగా అనగా’ అనే నాంది పదానికి, ‘కథ కంచికి’ అనే భరతవాక్యాన్నికి మధ్యగా అనుబంధంలో ఇచ్చిన ‘చింటూ కోతి కథ’ లాంటిది ఉంటుందని ఊహించుకోవచ్చు. అలాంటి కథ మధ్యభాగాన్ని (body) ఆమోదించగలిగే యంత్రం బాగా సంకీష్టంగా, చాలా నియమాలు కలిగి ఉంటుంది. మన బోధనా సౌలభ్యంకోసం నాంది పదాన్ని, భరతవాక్యాన్ని ఉంచుకుని,

<sup>9</sup> ఇక్కడ ‘మితం’ అంటే, ‘అమితం తానిది’ అని అరం చేసుకోవాలి. అంతేకానీ, ఇన్స్పుట్ మాలిక ముందస్తుగా నిరారించబడ్డ ఏదో ఒక నిడిని (మాటవరసకి 18 ఇన్స్పుట్ల మాలిక అనుకుండా) కలిగి ఉంటుందని తాదు. యంత్రం ఇన్స్పుట్లని వరసగా స్పీకరిస్తూ ఎప్పుడో ఒకప్పడు ఆగిపోతుంది, అప్పటిదాకా స్పీకరించిన ఇన్స్పుట్ల మాలిక అంతు, లేక సీమ కలిగి ఉంటుంది (మితమైనది).

మధ్యభాగపు నియమాలన్నీ తీసేసి, ‘ఏవో తెలుగుక్క రాలుంటే చాలు’ అన్న ‘నియమం కాని నియమాన్ని’ పెట్టుకుండాం. ఇలా కృతిమంగా సరళీకరించన కథ నమూనాని ‘ఉత్తుత్తి కథ’ అందాము.

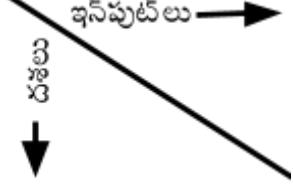
ఉత్తుత్తి కథ నియమాలు ఈ క్రింది ప్రకారంగా ఉంటాయి::

- “అనగా అనగా” ఇన్స్పుట్ తో మొదలవ్యాలి.
- “కథ కంచికి” ఇన్స్పుట్ తో ముగియాలి.
- “అనగా అనగా”కీ, “కథ కంచికి”కీ మధ్యగా ఒకటికి తగ్గకుండా సంబ్యోలో తెలుగుక్క రాలు ఉండాలి. ఏ అక్క రాలైనా పరవాలేదు. (ఉత్తుత్తి కథ గనక కథకి అర్థం ఉండాలన్న నియమం లేదు.)

ఆరవ చిత్రం ఉత్తుత్తి కథని గుర్తించి ఆమోదక పదయంత్రాన్ని, మాత్రిక స్వరూపంలో చూపిస్తాంది. ఇందులో దశలు నాంది, మధ్య, భరతవాక్యం, తప్పుడు. అవి చెయ్యాల్సిన పనులేవటో పేర్లే చెపుతున్నాయి. నాంది అనేది అది దశ కావటాన్ని ఆ పేరు ముందు ‘>’ గుర్తు ఉంది. భరతవాక్యం అనేది అంత్యదశ, అందువల్ల దాని పేరు చివర ‘>’ ఉంది. దానికి మల్లేనే తప్పుడు అనేది కూడా అంత్యదశే, పేరు చివర్ ‘>’ కలిగుంది. ఏదైనా దశ బోట్ పుట్ పంపే పక్కంలో అది సంబంధిత గడిలో ఏటవాలు గీతకి కుడిపక్కన చూపించబడింది. ‘అవును’, ‘కాదు’ అనే రెండే బోట్ పుట్లు సాధ్యం.

అది దశ ఒకటే ఉంటుంది, అంత్యదశలు మాత్రం ఎన్నెనా ఉండవచ్చు, ఈ ఉండాహారణలో మాదిరి రెండు ఉండవచ్చు): ఒకటి ఆమోదానికి (అవును అనే బోట్ పుట్ పంపే భరతవాక్యం దశ), రెండోది తిరస్కారానికి (కాదు అనే బోట్ పుట్ పంపే తప్పుడు దశ) పనికొస్తాంది.

ఆమోదకం నాంది దశలో ‘అనగా అనగా’ కాకుండా మరే ఇన్స్పుట్ వచ్చినా తప్పుడు దశలోకి వెళ్లిపోయి, ‘కాదు’ అనే బోట్ పుట్ పంపుతుంది. ఆ పైన ఆగిపోతుంది. ‘అనగా అనగా’ వస్తే మధ్య దశలోకి వెళ్లి, ఆ పైన తెలుగుక్క రాలు ఎన్నోచ్చినా అన్నిటినీ భక్తిస్తూ అదే దశలో ఉండిపోయి, ‘కథ కంచికి’ ఇన్స్పుట్ కోసం ఎదురు చూస్తాంటుంది. ఈ దశలో ‘అనగా అనగా’ గనక వచ్చినట్టుయితే, తప్పుడు దశలోకి వెళ్లిపోయి, ‘కాదు’ అనే బోట్ పుట్ పంపి అంతటితో ఆగిపోతుంది. రావాల్సిన ‘కథ కంచికి’ వస్తే భరతవాక్యం దశకి వెళ్లి, ‘అవును’ అనే బోట్ పుట్ పంపుతుంది.

	అనగా అనగా	తెలుగు రం ఏదైనా	కథ కంచికి
>నాంది	మధ్య	తప్పుడు / కాదు	భరతవాక్యం > / కాదు
మధ్య	తప్పుడు / కాదు	మధ్య	భరతవాక్యం > / అవును
భరతవాక్యం >	భరతవాక్యం >	భరతవాక్యం >	భరతవాక్యం >
తప్పుడు >	తప్పుడు >	తప్పుడు >	తప్పుడు >

**చిత్రం 6:** ఉత్సత్తు కథ ఆమోదక పదయంత్రం, మాత్రిక స్వరూపం

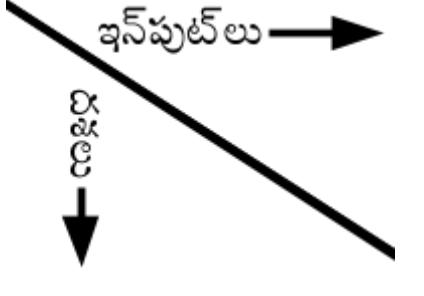
**మరో మెట్టు:** ఉత్సాహక పదయంత్రం (finite state generator)

ఇన్పుట్ గా వచ్చిన కథనం చదివి, అది కథగా ఆమోదమోగ్యమో కాదో తేల్చి చెప్పి ఆమోదక పదయంత్రాన్ని తిరగేసి వాడి, దానిచేత కథని ఉత్సత్తు చేయించడమూ సాధ్యమే. ‘అవును’, ‘కాదు’ అనే బౌట్ పుట్ లు పంపే బదులు ఆమోదకంలో ఇన్పుట్ లుగా పనిచేసే కథనా శకలాలనే బౌట్ పుట్ లుగా పంపే విధంగా ఆమోదకాన్ని ఉత్సాహకంగా మార్చుకోవచ్చు.

**ఉదాహరణ:** బౌట్ పుట్ గా ఉత్సత్తు కథ

ఏడవ చిత్రం ఉత్సత్తు కథని బౌట్ పుట్ గా పంపే విధంగా మన ఆమోదకాన్ని ఉత్సాహకంగా మార్చి చూపిస్తూంది. ఈ ఉత్సాహకాన్ని నడిపించడానికిగాను ‘ఇంకా కథ ఉంది’, ‘కథ అయిపోయింది’ అనే రెండు ఇన్పుట్లని పెట్టుకుందాము. (వీటిని కథలని అర్థం చేసుకోగలిగే ఏదో సంక్లిష్టయంత్రం పంపుతుందని అనుకోవాలి, అది బోధనా సౌలభ్యంకోసమే.)

నాందితో మొదలెట్టి, ‘ఇంకా కథ ఉంది’ ఇన్పుట్ వస్తే, ‘అనగా అనగా’ బౌట్ పుట్ పంపి, మధ్య దశలో, ‘ఇంకా కథ ఉంది’ అనే ఇన్పుట్ అందుతున్నంత సేపు కథనాన్ని బౌట్ పుట్ గా పంపుతూ అదే మధ్య దశలో ఉంటుంది. ‘కథ అయిపోయింది’ ఇన్పుట్ అందగానే ‘కథ కంచికి’ బౌట్ పుట్ పంపి, భరతవాక్యం అంత్యదశలోకి వెళ్లి ఆగిపోతుంది. ఆ దశలో మరి ఎటువంటి ఇన్పుట్ వచ్చినా అది ‘తప్పు’ అని బౌట్ పుట్ పంపి, అదే దశలో ఉండిపోతుంది. (ఆ దశలోకి చేరాక యంత్రం పూర్తిగా ఆగిపోయింది అని కూడా అనుకోవచ్చు)

	ఇంకా కథ ఉంది	కథ అయిపోయింది
>నాంది	మధ్య / అనగా అనగా	భరతవాక్యం>
మధ్య	మధ్య / తెలుగ్గారం ఏదైనా	భరతవాక్యం> / కథ కంచికి
భరతవాక్యం>	భరతవాక్యం> / తప్పు	భరతవాక్యం> / తప్పు

**చిత్రం 7: ఉత్సుక్తి కథ బోటపుట్టగా పంపే ఉత్సాదక పదయంత్రం, మాత్రిక స్వరూపం**

## పదయంత్రానికి ఉత్సాదక కృతిమ మేధకీ మధ్య అంతరం

చాలా సంకీర్ణమైన ఉత్సాదక కృతిమమేధ యంత్రాలని తెలుసుకునే యత్నం చాలా సరళమైన పదయంత్రాన్ని తోలి మెట్టుగా తీసుకుని మొదలు పెట్టాము. సూత్రప్రాయంగా ఇలాంటి పదయంత్రాలని పెద్దవత్తున మోహరించి ఉత్సాదక కృతిమమేధయంత్రం లాంటిదేదో తయారు చెయ్యచ్చేమో అని అడిపించవచ్చు. కానీ అది అవరణీయం కాదు. అంత ఎత్తున కోట్ల సంఖ్యలో పదయంత్రాలని తయారు చేసి, నడిపించి నియంత్రించడం స్క్యులింగ్ (scaling) కోవ సమస్యలని ముందుకు తెచ్చి ఈ పనిని దాదాపు అసాధ్యం (కాకపోయినా ఆర్థికంగా ఎవరూ మోయలేని భారం అవుతుంది) అయేటట్లు చేస్తుంది.

**స్క్యులింగ్ అంటే?** నలుగురికి వంట చెయ్యడం సులభం. కానీ ఏ నలభై మందికో, నాలుగు వేల మందికో చెయ్యమంటే వచ్చే సమస్యలకు స్క్యులు పెంచటం (scaling) సమస్యలని పేరు.

ఇదే కాకుండా పదయంత్రాలు జ్ఞాపకశక్తినీ, తార్కికశక్తినీ చిన్న ఎత్తున సాధించగలవుగానీ, అభ్యాస శక్తికి ఇవి పనికి రావు. పదయంత్రాలలో ఉత్సాదక కృతిమ మేధని సాధించాలంటే, అభ్యాసశక్తిని అందించే వేరే సంకీర్ణ యంత్రాలను తప్పనిసరిగా వాడవలసి ఉంటుంది.

ఇరవయ్యా శతాబ్దం తుదిభాగంలో అభివృద్ధి చెయ్యబడి, ప్రస్తుతయుగంలో బాగా వాడుకలోకి వచ్చిన కృతిమ నాడీ కణజాలాలు (artificial neural networks) అభ్యాసశక్తినీ, జ్ఞాపకశక్తినీ, తార్కికశక్తినీ, పనికొచ్చే తీరుగా మేళవించగలుగుతున్నాయి. స్క్యులింగ్ కోవ సమస్యలు కూడా నిఖాయించుకోగలిగి స్క్యులునే ఉంటున్నాయి.

కృతిమ నాడీ కణజాలాలూ పదయంత్రాల మాదిరిగానే అమూర్ఖ బీజగణిత శిల్ప స్వరూపాలు; కానీ వీటి సంకీర్ణత పదయంత్రాలలో పోలిస్టే చాలా ఎక్కువ. వీటితో తలపడటానికి పదయంత్రాలే మొదటి మెట్టు.

నూటపాతికేళ్లనాడు రైట్ సోదరులు అందుబాటులో ఉన్న సరశబావకల్పనలతో ఆరంభించి, శ్రద్ధ పెట్టి, శ్రమకోర్చి, ఓటములను పాఠాలుగా తీసుకుని ఒక్కొక్క మెట్టే ఎక్కి విమానయానానికి నాంది పలికారు. అదే మార్గాన్ని అవలంబించిన అనేక తరాల ఇంజనీర్లు కృషిచేసి, అధునిక జెట్ విమానాలకి సంకీష్టతని జయించి, అద్భుతయంత్రాలని అతిసాధారణాలు అనిపించేలా వెలయించారు.

వాటికన్యా ఎన్నో రెట్లు సంకీష్టాలనదగిన ఉత్సాహక కృతిమమేధ పరికరాలయినా అంతే, వాటినీ ఎవరికి నపిసరీతిలో వాళ్లు అరం చేసుకోవడానికి అధిగమించలేని అడ్డంకులేమీ లేవని – సూత్రప్రాయంగానైతేనేమి – చెప్పువచ్చు ప్రస్తుత వ్యాసంలో ఆ యంత్రాల గురించిన అవగాహన సాధించడానికి కావలసిన మొదటి మెట్లు చూసాము. చాలా సరశష్మేన స్థిచ్చితో మొదలెట్టి, పద యంత్రానికి చిన్న ఎత్తున అదనపు వసతులని ఒకటొకటిగా కూర్చి, యంత్ర సంకీష్టతనీ, దాని ప్రయోజనాల పరిధినీ – చాలా చిన్న ఎత్తులోనైతేనేమి – విస్తరించగలగడం చూసాము. ఆకాశపూర్వానిర్మాణం లాంటి యత్నానికి ఇదొక చిన్న పునాదిరాయి.

## అనుబంధం: జెమినీ చెప్పిన కథ

**ఉపయోగకర్త: ఓ చిన్న పిల్లల కథ చెప్పు.**

### జెమినీ:

అనగాఅనగా ఒక డ్యూరిలో ఒక బుజీ కోతి ఉండేది. దాని పేరు చింటూ. చింటూ చాలా అల్లరిది, ఎప్పుడూ ఒకవోట ఉండకపోయేది. ఒకరోజు అది అడవిలో తిరుగుతూ ఉన్నప్పుడు, దాని కాలికి ఒక ముల్లు గుచ్చుకుంది.

ఆ నొప్పి భరించలేక చింటూ "అయ్యా! నా కాలికి ముల్లు గుచ్చుకుంది, ఎవరైనా సాయం చేయండి!" అని అరుస్తూ ఒక మంగళి దగ్గరికి వచ్చింది. మంగళి కోతిని చూసి జాలిపడి, దాని కాలిలో ఉన్న ముల్లును మెల్లగా తీసేశాడు. ముల్లు తీసిన తరువాత, చింటూ మంగళికి కృతజ్ఞతలు చెప్పి, అక్కిసుండి వెళ్లిపోతూ మంగళి కత్తిని తీసుకుని పారిపోయింది.

కొంత దూరం వెళ్లాడు, అది ఒక వడంగిని చూసింది. ఆ వడంగి తన పని చేసుకుంటూ ఉన్నాడు. చింటూ ఆ వడంగితో, "నా దగ్గర మంగళి కత్తి ఉంది, నీ కత్తితో దీనిని మార్చుకుంటావా?" అని అడిగింది. వడంగి సంతోషంగా ఒప్పుకుని తన పనిముట్లు ఇస్తుంటే, చింటూ తన కత్తిని అక్కడే వదిలేసి, వడంగి పనిముట్లు తీసుకుని పారిపోయింది.

మళ్ళీ కొంతదూరం వెళ్లాడు, ఒక అమ్మాయి బొమ్మల పెళ్లి చేస్తున్నది. చింటూ ఆ అమ్మాయిని చూసి, "నా దగ్గర మంగళి పనిముట్లు ఉన్నాయి, నీ బొమ్మలతో ఏటిని మార్చుకుంటావా?" అని అడిగింది. ఆ అమ్మాయికి బొమ్మల పెళ్లికి పనిముట్లు కావాలి కాబట్టి, సంతోషంగా మార్చుకుంది. చింటూ బొమ్మలను తీసుకుని పారిపోయింది.

ఇలాగే చింటూ ఒక దాని తర్వాత ఒకటి తీసుకుని మార్చుకుంటూ పోయింది. చివరగా అది ఒక పక్కి దగ్గరికి వచ్చింది. ఆ పక్కి ఒక చిన్నపాట పాడుతూ ఉన్నది. చింటూ ఆ పక్కితో "నీ పాటతో నా బొమ్మలను మార్చుకుంటావా?" అని అడిగింది.

పక్కి పాడటం మానేసి, "నా పాట డబ్బుల కోసం కాదు, కేవలం సంతోషం కోసమే" అని చెప్పింది. అప్పుడు చింటూ తన తప్పు తెలుసుకుంది. తను చేసిన అల్లరి వల్ల ఎవరికి సంతోషం కలగలేదని అర్థం చేసుకుంది. వెంటనే చింటూ, తాను తీసుకున్న వస్తువులన్నీ వాటి యజమానులకు తిరిగి ఇచ్చేసింది. అప్పటి నుండి చింటూ అల్లరి చేయడం మానేసి, అందరితో స్నేహంగా మెలిగింది.

**నీతి: అల్లరి పనుల వల్ల వచ్చే లాభం ఏమీ ఉండదు. మంచిగా ఉంటేనే అందరూ ప్రేమిస్తారు.**

**కథ కంచికి.**

\*\*\*

శ్రీ కొచ్చెర్లకోటు బాపారావు గారు ఈ ఈ టి మదాస్ నుండి ఎలక్ట్రానిక్స్ ఇంజనీరింగులో పట్టభద్రులు. అమెరికాలో దక్కిణ కాలిఫోర్నియా విశ్వవిద్యాలయంలో Ph.D. పాందారు. వృత్తిరీత్యా కంప్యూటర్ సాప్లైర్ ఇంజనీరు. విద్యాబోధన, చరిత్ర, సంస్కృతి, సారస్వతం వీరి అభిరుచులు. ప్రస్తుత నివాసం కాలిఫోర్నియా రాష్ట్రంలోని లాస్ ఏంజలీన్ నగరంలో.



## సాష్టవము - 2

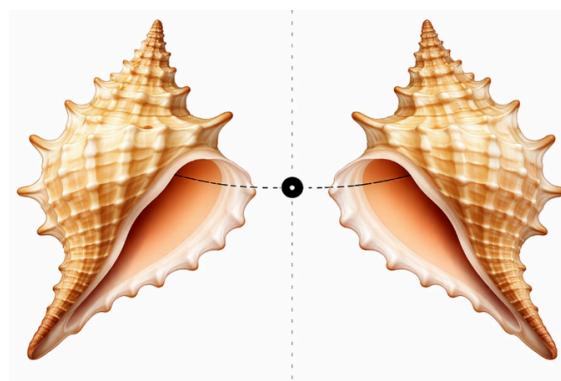
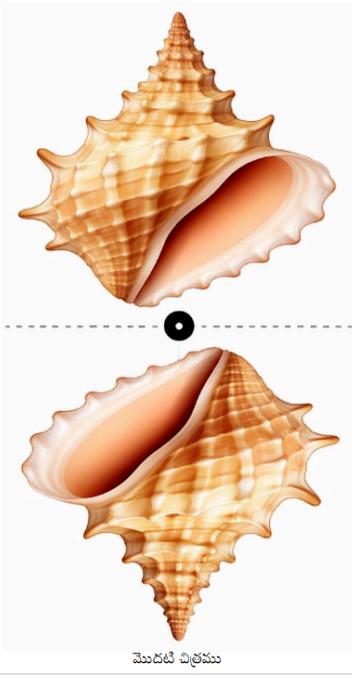
### శ్రీ జెజ్జాల కృష్ణ మోహన రావు

**పరిచయము:** ఈవ్యాపములో నేను సాష్టవపు మూలాంకములను (symmetry elements) గుణించి చర్చిస్తాను. అవి (I) స్థలాంతర లేక స్థానాంతర పరివర్తన సాష్టవము (translation symmetry), (2) విలోమ సాష్టవము (inversion symmetry), (3) భ్రమణ సాష్టవము (rotation symmetry), (4) దర్జా సాష్టవము (mirror symmetry).

**(I) స్థలాంతర లేక స్థానాంతర పరివర్తన సాష్టవము:** ఒక వస్తువు లేక రూపము పదేపదే ఒక నియమితమైన దూరములో ఉన్నప్పుడు ఇది సంభవిస్తుంది. ఇది ఒక మైలురాయి వంటిది. మైలురాళ్ల మధ్య నియమితమైన దూరము ఒక మైలు. అలాగే దేవాలయ మంటపములలో స్థానములకు మధ్య దూరము కొన్ని అడుగులు ఉంటుంది. సైన్యములో కవాతు చేసే సైన్యికులు ఒకరి వెనక మరొకరు ఒక నిర్దిత దూరములో నిలిచి ఉండుట కూడ ఇట్టి స్థలాంతర పరివర్తనమే. వాళ్ల మధ్య దూరము బహుళ మూడుడుగులు ఉండవచ్చును. వాళ్ల ఒక్కొక్కప్పుడు ఐదాఱుగురు బారులుగా నడుస్తుంటారు. ఇక్కడ రెండు దిశలలో స్థలాంతరము గలదు: ఒకరి వెనక ఒకరికి, ఒకరి పక్కన ఒకరికి. దేవాలయములోని స్థంభాలు, మైలు రాళ్లు అనంతము కావు. వాటిని మనం లెక్క పెటువచ్చును. అవి చిన్న సంబ్యాయై. కాని స్ఫూలికములలో ఇది  $10^{10}$ ! ఉదాహరణముగా మనము సామాన్యముగా వాడే ఉప్పు (Sodium Chloride) స్ఫూలిక రూపములో ఉన్నప్పుడు ఒక సంటీమీటర్ పరిమాణపు ఉప్పులో సుమారు ఇరవై

మిల్లియనుల స్థలాంతర పరిమితులు ఉంటాయి. ఉప్పులో ఇది మూడు దిశలలో అనగా x, y, z దిశలలో ఉంటాయి.

**(2) విలోమ సాష్టవము:** విలోమము అంటే తలక్రిందులవడము. అనగా ఒక వస్తువు లేక ఒక ఆకృతి పూర్తిగా తలక్రిందులవుతుంది. అనగా అందులోని ప్రతి బిందువు యొక్క నిర్దేశాంకములు (coordinates) x, y, z ఈ విలోమము ద్వారా -x, -y, -z అవుతాయి. ఈమూడు బుఱణ చిప్సైల్ (minus signs) గుణకార లబ్ధము (product) -1 . -1 . -1 = -1 అవుతుంది. x, y, z లకు ఇట్టి గుణకార లబ్ధము 1 . 1 . 1 = 1. ఈ విలోమ సాష్టవ ప్రయోగము వలన మనము మొదట తీసికొన్న ఆకారపు హస్తతత్వము (handedness) మాటుతుంది. అనగా కుడి యెడమలు మారిపోతాయి. మొదటి చిత్రములో ఒక శంఖము, విలోమ సాష్టవ ప్రయోగము ద్వారా కలిగిన దాని ప్రతిరూపము చూపబడినది. విలోమకేంద్ర బిందువును కూడ చూడండి. బిందువు పరిమాణము శూన్యము (zero).



రెండవ చిత్రము

**(3) భ్రమణ సౌష్టవము:** భ్రమణము అనగా తిరగడము, త్రిపుడము. అనగా ఒక వస్తువు లేక ఆక్షతి ఒక నిరీషింపును కోణము (particular angle) ద్వారా ఒక అక్షము (axis) చుట్టూ తీరుగుతుంది. ఈ అక్షము ఒక రేఖ లేక గీత. దీనికి పరిమాణము ఒకటి. ఒక బిందువు యొక్క నిరీశాంకములు x, y, z అనుకొందాము. దానిని z-అక్షము చుట్టూ 180 డిగ్రీలు తిప్పితే దాని నిరీశాంకములు -x, -y, z అవుతుంది. దీనికి గుణకార లబము  $-1 \cdot -1 \cdot 1 = 1$ . అనగా భ్రమణ సౌష్టవము ద్వారా హస్తతత్వము మారదు. మొదట తీసికొన్న ఆకారపు హస్తతత్వము లేక కుడి ఎడమలు ఈ భ్రమణ సౌష్టవము. ప్రయోగము ద్వారా మారదు. ఇది చాల ముఖ్యమైన అంశము. హస్తతత్వము ఉండే హిమోగోబిను, ఇన్సులిను వంటి ప్రోటోసినుల స్ఫెటిక రూపములకు, డివెన్పి వంటి జన్యుకణముల స్ఫెటిక రూపములకు ఎల్లప్పుడూ భ్రమణ సౌష్టవము మాత్రమే ఉండును. విలోమ సౌష్టవము గానీ, దర్జా సౌష్టవము గానీ ఉండదు.

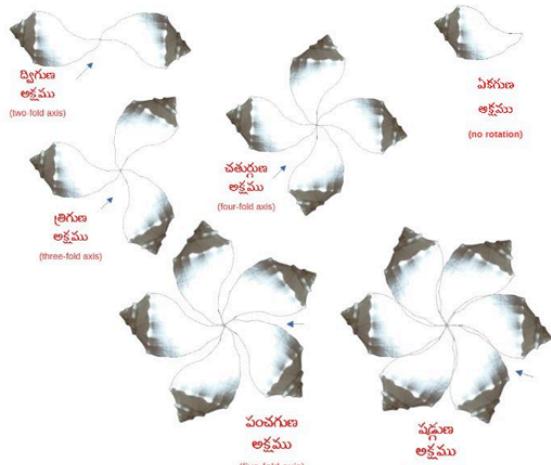
రెండవ చిత్రములో 180 డిగ్రీలతో చుట్టిన శంఖమును చూడ వీలగును. ఇందులో నిలువు గీత y అక్షము, దానికి లంబముగా కాగితములో x అక్షము, కాగితమునకు లంబముగా మన వైపు వస్తున్నట్లుగా z అక్షము. ఇప్పుడు y అక్షము చుట్టూ 180 డిగ్రీల భ్రమణము చేస్తే, ఆ భ్రమణము వలన y నిరీశ అంకము (y coordinate) మారదు.

$$(x, z) \Rightarrow (-x, -z) \text{ అవుతుంది.}$$

భ్రమణమునకు కావలసినవి రెండు; అవి: (1) భ్రమణ అక్షము (rotation axis), (2) భ్రమణ కోణపు విలువ (angle of rotation). ఒక రూపమును తీసుకొని, ఒక అక్షము చుట్టూ భ్రమణ కోణమంత తిప్పినప్పుడు (భ్రమణము), ఒక ఆకారం వస్తుంది. ఆ రూపానికి ఉన్న ఆకారముల సంఖ్య ఆ అక్షపు మడతను (fold) తెలుపుతుంది. 60 డిగ్రీల భ్రమణ కోణానికి అక్షపు మడత విలువ  $360/60 = 6$  అవుతుంది. ఒకపేళ భ్రమణ కోణం 180 డిగ్రీలయితే, అప్పుడు అక్షపు మడత విలువ  $360/180 = 2$  అవుతుంది. అదే విధంగా, అక్షపు మడత విలువ 4 కావాలనుకుంటే, 360 సంఖ్యను అక్షపు మడత విలువతో భాగహారము చేసినప్పుడు మనకు భ్రమణ కోణపు విలువ లభిస్తుంది. ఆకోణముతో 360 డిగ్రీలు చేరేవటకు ఆ ఆకారమును తిప్పుతూ ఉండాలి. రెండు మడతల అక్షానికి ద్విగుణ అక్షమును పేరు. అలాగే, మూడు మడతలకు త్రిగుణ. అలాగే, చతుర్భుణ, పంచగుణ, షడ్భుణ, సప్తగుణ, అష్టగుణ అక్షములు.

ఉదాహరణముగా ఒక రూపమును లేదా వస్తువును షడ్భుణ అక్షము ( $360/6 = 60$ ) ద్వారా తిప్పవలెనని అనుకొంటే మనము ముందు 60 డిగ్రీలు తిప్పాలి, తర్వాత 60, ఇలా తిప్పుకుంటూ 360 వచ్చేదాకా 6 సార్లు తిప్పాలి. ఇలా చేసినప్పుడు ఇందులో 120, 180 వగైరా డిగ్రీల భ్రమణములు అనగా ద్విగుణ-అక్షములు, త్రిగుణ-అక్షములు కూడ ఉన్నాయని గమనించాలి.

**మూడవ చిత్రములో** ఒక శంఖమును తీసికొని దానిని | నుండి 6 వటకు గల భ్రమణాక్షములకు జనించిన ఆకుతులను చూపినాను. ప్రకృతిలో నాలుగు, ఐదు, ఆటు రేకుల పూపులను చూస్తుంటాము. ఎనిమిది చేతులు ఉండే జలచరము అష్టపది (octopus), పూజలలో ఉపయోగించే చక్రములలో కూడ ఇటువంటి సౌష్టవము ఉన్నది. పరిశీలించండి.



మూడవ చిత్రము

(4) దర్పణ సాష్టవము: దర్పణము అంటే అదము. ఒక వస్తువు లేక ఆక్రూతి, దాని ప్రతిబింబము రెండు ఒకే చోటు ఉంటే అప్పుడు వాటికి దర్పణ సాధ్యము ఉన్నరని అంటాము. మనము నిత్యము తల దుఖ్యకొనేటప్పుడు చూచే అద్దము కాదిది. అందులోని ప్రతిబింబము నిజమైనది కాదు. ఈ దర్పణ సాష్టవమునందలి బింబ ప్రతిబింబాలు రెండు నిజమైనవే. అందువలన అక్కడ అద్దములాటిది ఉండని భావిస్తాము. ఈ దర్పణము ఒక తలముపైన (plane or surface) ఉంటుంది. అది దర్పణ తలము. దీని పరిమాణము రెండు. ఒక దర్పణము  $xy$ -తలములో ఉన్నదనుకొందాము. దాని ముందు ఉన్న వస్తువునకు, దాని ప్రతిబింబమునకు ఉండే తేడా Z నిర్దేశాంకములో మాత్రమే. రెండింటికి x, y లు ఒక్కటే. అనగా బింబ ప్రతి బింబముల నిర్దేశాంకములు ఈవిధముగా మారుతాయి.  $(x, y, z) \Rightarrow (x, y, -z)$ .  $(x, y, -z)$  కు గుణకార లబ్ధము  $1 \cdot 1 \cdot -1 = -1$ . ఏలోమ ప్రయోగము వలెనే ఇక్కడ కూడ హాస్తతత్వము మారినది. అనగా కుడి యెడమ అయినది, ఎడమ కుడి ఐనది.

నాలుగవ చిత్రములో నా దగర ఉండే శంఖములతో (conch) ఈ దర్పణ సాధ్యమును చూపినాను. ఇందులో చిత్రము పైన ఎడమ భాగములో నిలువుగా వీటిని చూపినాను. కుడి భాగములో ఆ శంఖములను పడుకోబెట్టి, వెనుక నుండి చూచుచున్నట్లుగా అమర్చినాను. క్రింది చిత్రములో అపాపి శంఖ ద్వారములు క్రింద ఉండేటట్లు చూపబడినవి. మూడు చిత్రాలలో ఎడమవైపు ఉండు శంఖమును sinistral లేక దక్షిణావర్తము అంటారు. కుడివైపు ఉండు శంఖమును dextral లేక ఉత్తరావర్తము అంటారు. ప్రకృతిలో

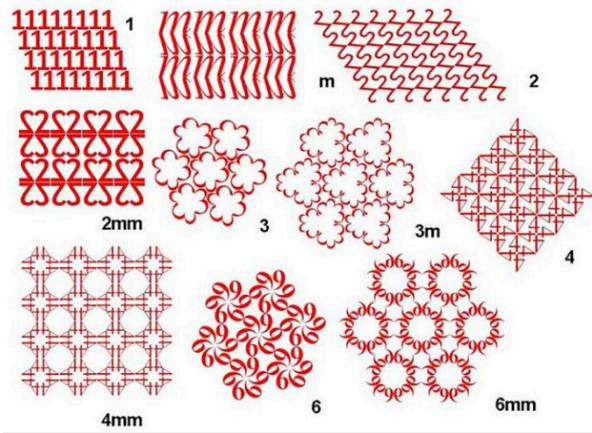
సామాన్యముగా ఉత్తరావర్త లేక dextral శంఖములే ఎక్కువ (99%). దక్షిణావర్త శంఖములు లేక వలమురి శంఖములు చాల అరుదు. అందుకే వాటిని పవిత్రమైన చోటులలో, పూజలలో, దేవాలయములలో వాడుతారు.



Sinistral (డక్షిణావర్త) and dextral (ఉత్తరావర్త) versions of a conch

నాలుగవ చిత్రము

ఐదవ చిత్రములో 1, 2, 3, 4, 6 గుణాంకముల అక్క ముల అమరికను సమతల పరిమాణమునకు సరిపోయేటట్లు చూపినాను. ఇందులోని ముఖ్యంశము ఏమనగా, అక్క పు మడతల విలువ సంఘానే దానిని వివరించుటకు ఉపయోగించినాను. చిత్రములో m అంటే mirror లేక దర్పణము అని అర్థము.



ఐదవ చిత్రము

ఈ చిత్రములోని వివరములను రాబోయే వ్యాసములో చర్చిస్తాను.

**గడచిన సంచికలో అడిగిన ప్రశ్నలకు జవాబులు:** అందులోని రెండవ చిత్రములోని కుడి భాగమునకు దర్పణ సాధ్యము గలదు. తొమ్మిదవ చిత్రములో ఎడమ భాగములో ఉండే సాష్టవము కేవలము స్థలాంతర పరివర్తనము (translation)

మాత్రమే. అందులో ఒక చిత్రము ఏమంటే ఏచోటు కూడ భాలీ లేదు. ఇట్టి చిత్రములను tessellations అంటారు. tessellation కు నా తెలుగు అనువాదము సంపూర్ణ ఆచ్ఛాదిత సమతలము. అనగా సమతలమంతయు ఒక్క చోటు విడువక దేనితోనైనను కప్పుబడినది అని అరము. ఇట్టివి నిర్మించుట ప్రయాసతో Maurice Escher. కుడివైపు పైన ఉండే చిత్రము కూడ ఒక tessellation. రంగులను ఒక నిమిషము మఱచి పోదాము. అప్పుడు ఇందులో y-అక్షము ఒక దీర్ఘగుణా-అక్షము (two-fold axis). అంతే కాక ఈ 180 డిగ్రీల భ్రమణముతోబాటు ఒక స్థల పరావర్తనము (translation) కూడ ఉన్నది. అలాగే

yz-సమతలమును ఒక దర్జాముగా భావిస్తే, దర్జా సార్ధశ్యము, దానితోబాటు ఒక స్థల పరావర్తనము అని కూడ తలంచ వీలగును. తోమ్మిదవ చిత్రములో కుడివైపు క్రింది భాగము చతుర్భుజా-అక్షమునకు ఒక ఉదాహరణము. ఇందులో Love- Hope-Peace-Joy అనే పదాలు ఉన్నాయి ఆంగ్లములో. పదవ చిత్రములో తెలుగు పదమునందలి తె-అక్ష రమునకు 90 డిగ్రీల భ్రమణమును పదేపదే ఇచ్చి తె-అక్ష రమును స్వస్తిక ఆకారములో నిర్మించినాను.

**ముగింపు:** ఈవ్యాసములో మౌలిక సాపువాంశములను గుణించి చర్చించినాము. వీటితో ఇంకేమేమి చేయ వచ్చునో అన్న విషయము తఱువాతి వ్యాసములో.

[ మొదటి రెండు చిత్రాలు chatGPT సౌజన్యం, మూడవ నాలుగవ బొమ్మలు రచయిత సృజన. – సం. ]

\* \* \*

=====  
శ్రీ జెబాల కృష్ణ మోహనరావు గారు బెంగుళూరు భారతీయ విజ్ఞాన సంస్థ నుంచి భోతికశాస్త్రం లో Ph.D. పొందారు. ఇండియాలో భోతిక శాస్త్ర బోధకులుగా, తరువాత అమెరికాలో జూతీయ కాన్సర్ సంస్థలో పరిశోధకులుగా పనిచేసి విరమించారు. ఘందశాస్త్రములో వీరు జగమెరిగిన నిష్ఠాతులు. ప్రస్తుత నివాసం అమెరికా మేరీల్యాండ్ రాష్ట్రంలోని ప్రైపర్ పట్టణంలో.



# చీకటిలో నుంచి వెలుగుకి: విద్యాత్మ పాత్ర

శ్రీ గాడేపల్లి సుబ్రహ్మణ్యం

ప్రకృతి పై ఆధిపత్యాన్ని సాధించడం కోసమే, మానవుడు నిరంతర ప్రయత్నం చేస్తున్నాడు. చీకటిని పారదోలడం, మొదటి కొన్ని ప్రయత్నాలలో ఒకటి అయి ఉంటుంది. వెలుగు సృష్టించడానికి అగ్ని అవశ్యకం, అని గుర్తించే ఉంటాడు.

ఆదిమానవుడికి కొరకరాని కొయ్యగా చాలా శతాబ్దాలు నిలిచిన అగ్ని, కొంత నాగరికత పెరిగిన తరువాత కూడా, తయారు చేయడానికి, అధినంతించి తేవడానికి, నిలవ చేసుకోడానికి ఎంతో ప్రయాసపడాల్సి వచ్చింది. ఆహారం తయారుకు అగ్ని వాడడం మొదలయినపుటినుంచి, వేదకాలంలో కూడా, అగ్నికి ప్రముఖ స్థానం ఇప్పణానికి కారణం అదే. రెండు కర్తల బరిపిడి వల్ల నిప్పు పుట్టించగలం అని తెలిసినా, బుషులు ఆ ప్రక్రియను సామాన్య మానవుల అందుబాటు నించి దూరంగా ఉంచడానికి రానికి కూడా మంత్రాల్స్థానం జోడించి ఒక ప్రత్యేక స్థానం కల్పించారు. అలా చెయ్యడానికి కారణం, అగ్ని మంచి సేవకుడే కాని, అదుపు తప్పితే దుర్భాగ్యాన్ని అపుత్తాడని తెలుసుకున్న సత్యమేమో! చెకుముకి రాయా అదే పని చేస్తుందని తెలుసుకున్న తరవాత మంత్ర ప్రభావం లేదని తెలిసిపోయింది. అయినా, అగ్నిపెట్టిలు విరివిగా తయారు చేయడం జరిగిన తరవాతే, అగ్ని, మానవుడి జీవితంలో అప్పి వరకూ తనకున్న ఉచ్చ స్థానాన్ని కోల్పోయింది.

కాగడా మానవుడు వెలుగు పుట్టించడానికి చేసిన ప్రయత్నం అయి ఉండచ్చు. అడవుల్లో పుట్టే కార్బిచ్యూల్ మండే ఒక కొమ్మ, రాత్రి పూట కూడా కాంతిని ఇస్తుందన్న సత్యాన్ని గ్రహించి ఉంటాడు. అయితే నిలకడగా నిలిచి వెలుగునిచ్చే ప్రథమ ప్రయత్నం మాత్రం, నిస్యందేహంగా, నూనె దీపం. అందరు మానవులు, మొదట మాంసాహారులే కదా! జంతువులు చర్యాల కింది భాగంలో ఉండే కొప్పు, దీపాలకు ప్రథమ ఇంధనంగా వాడి ఉండచ్చు. అది చలికి గడ్డ కడుతూ ఉంచే వృక్షాలినించి వచ్చే నూనె, దాని కంటే ఉపయోగించేదిగా తోచి, ఉండచ్చు. అది వెలిగించడానికి కావలసినది వత్తి. వత్తి తయారీకి పత్తి కావాలి. పత్తి ఒక మొక్కకు కాస్తుంది. ఆ మొక్కలు పెంచాలి. ఆ పత్తిని కాయునించి వేరు చేసి, దానితోపాటు ఉండే గింజను తీసి, ఒక పత్తిగా తయారు చేయాలి. త్వరగా కాపిపోకుండా కొద్దిగా బూడిద వాడాలి. నూనె కావాలి. నూనె ప్రకృతి సిద్ధంగా ఆ రూపంలో ఉండదు. నూనె గింజలను పండించాలి. వాటిని మొక్కనించి విడదిసి, పాట్లు తీసి, అరబెట్టి గానుగ ఆడాలి.

గానుగ అంటే ఏమిటో తెలిసిన ఈ కాలపు పిల్లలు బహుళ: ఉండడారేమో! అది అనాదిగా వాడబడే పూర్తిగా కర్తతో చేయబడిన ఒక యంత్రం. ఒక లావయిన గట్టి కర్త రాటని ఏటవాలుగా నేలలో కదలకుండా పాతిపెట్టిన ఇంకొక డౌల్లగా చేసిన లావుగా ఉండే కట్ట, కన్నంలో పెడతారు. ఒక తాడుతో ఆ కర్తని ఒక ఎద్దు భుజానికి తగిలిస్తారు. ఆ ఎద్దు గానుగ చుట్టూ నడుస్తూ ఉంటుంది. అప్పుడు కర్త తిరుగుతూ, కదలకుండా ఉండే డౌల్లలో రాసుకుంటూ ఉంటుంది. వాటి మధ్య ఉన్న భాళీలో నూనె గింజలు వేస్తూ ఉంటారు. అవి నొక్కుకుని, వాటిలో ఉండే నూనె, బయటకు వస్తుంది. దాన్ని దిగువన ఒక పాత్రలో పడతారు. ఈ గానుగకు శక్తినిచ్చేది ఎద్దు. ఆ ఎద్దు గుండంగా చుట్టూ తిరగడంవలన కశ్చ తిరిగి ఉక్కిరిబిక్కిరి కాకుండా ఉండడానికి, కళ్ళకి గంత కడతారు. గానుగెద్దు అనే సామేత

అందులననే వచ్చింది. ఒకే పనిని, నిరంతరంగా చేస్తా, ఇంకెవరినీ పట్టించుకోకుండా ఉండేవారిని అలా అంటారు. ఆ గానుగ యంత్రం తయారీకి ఎంతమంది, ఎన్ని అగచాటులు పడ్డారో!

నూనె దీపం వెలిగి కొంతసేపు ఉంచడానికి, ఆ మాత్రం నూనె నిలవ చేయడానికి కొంచం లోతుగా ఉండే ఒక పాత్ర, ఒక వస్తీ కావాలి. ఆ పాత్ర, ఆ వస్తీ కాలినష్టుడు వెలువడే వేడిని తట్టుకునే పదారంతో చెయ్యాలి. మొదట లోహాల తయారీ చేయక ముందు, చిన్న పెద్ద పాత్రలు తయారు చేయడానికి మట్టిని వాడేవారుగా. బంకమట్టితో లోతుగా ఉండే మూకుడు చేసి ఉంటారు. తరవాత, చిన్న ప్రమిదలుగా చేసి, పచ్చిని కాకుండా, కాలీస్తే, నూనె పీల్పుకుండా ఉంటాయని తెలుసుకున్నారు. లోహాలయిన ఇనుమూ, రాగీ, ఇత్తడి, కంచూ దీపాలు చేసి ఉంటారు.

నూనె దీపాలతో వెలుగు సృష్టించి ఆ వెలుగులో కొన్నయినా పనులు చేసుకునే వెసులుబాటు వచ్చాక, చాలా యేళ్ళు అవే వాడేవారు . పెట్రోలియం ఉత్పత్తులు అందుబాటులోకి వచ్చేంతవరకూ, వాటితోటే జీవనం గడిచింది.

బౌగు నించి వాయువును (కోల్ గాన్) తీసి, దానితో దీపాలు వెలిగించే పద్ధతి మొదటగా స్వాటీష్ ఇంజనీర్ విలియం ముర్డుక్ 1792 లో కనుగొన్నారు. అప్పటినుండి, ఇత్తడిల్లో, విధుల్లో కూడా దీపాలు ఆ వాయువుతో వెలిగించి, రాత్రిని చాలావరకూ పగలు చేయగలిగారు, శాస్త్రజ్ఞులు. నూనె దీపాల తరవాత వెలుగునివ్యడానికి పెద్ద ఎత్తున వాడిన ఇంధనం ఇదే.

కిరసనాయిలు తయారీ మొదలు పెట్టాక, మొదట, బుడ్డిదీపం, తరవాత లాంతరు, ఎక్కువ కాంతినిచ్చే పెత్తోమాక్కు దీపాలు వచ్చాయి. గాజు చిమ్మిలు తయారు చేసి, వీటి వలన, వెలుగుకు అడ్డం లేకుండా గాలికి తట్టుకుని ఆరకుండా ఇటువంటి దీపాలు నిలిచేందుకు సావకాశం ఏర్పడింది.

## విద్యుత్తు పాత్ర

విద్యుత్తు పూర్తి ఉపయోగాలు తెలియక ముందే దాని తయారీ పద్ధతి కనుక్కొనడం జరిగింది.

విద్యుత్తు వలన వేడి తయారపుతుంది. ఆ వేడి స్థాయి ఎక్కువపుతే వెలుగుగా మారుతుంది. ఎడిసన్ విద్యుత్తు నించి ఇలా వెలుగు తయారు చేయడానికి బల్య తయారు చేయగలిగాడు. కాని దానిలో వెలిగే ఫిలమెంటు పదార్థం కోసం ఎన్ని రకాలయిన లోహాలనూ, అలోహాలనూ ప్రయత్నం చేశాడో, అదొక పెద్ద చరిత్ర. చివరికి టంగ్ స్టన్ లోహం ఎక్కువ కాంతిని ఇచ్చి, ఎక్కువ కాలం మన్మతుందని కనిపెట్టారు. ఈ రకమయిన విద్యుద్దిపాలే చాలా రోజులు రాజ్యమేలాయి.

కానీ, వేడితో సంబంధం లేకుండానే వెలుగుని పుట్టించడానికి, శాస్త్రజ్ఞులు పద్దతులు కనుగొన్నారు. మిషనుగురు పురుగులు తయారుచేసే వెలుగుకు అగ్నికి సంబంధం లేదని తెలిసినష్టటి నుండి, అటువంటి వెలుగుని సృష్టించడానికి ప్రయత్నాలు జరిగాయి. ఫ్లోరసింటు ట్యూబ్ లైట్లు, మెర్క్యూరీ వేపర్ దీపాలూ, ఆ విధంగానే ఆవిష్కరింపబడ్డాయి. తరవాత, ఎల్.యా.డి బల్యాలను కనుగొన్నారు. వాటిలో వేడి వలన వెలుగు తయారపకోయినా, అవి వెలుగుతున్నప్పుడు, వేడి కూడా తయారపుతుంది. విద్యుత్తు వలన వెలుగు వస్తుంది.

కానీ విద్యుత్తు తయారీకి మామూలు పద్ధతులలో అగ్ని కావాలిగా! నేరుగా వెలుగు నించి విద్యుత్తు తయారు చేయడానికి ఫోటో వోల్టాయిక్ సెల్స్ కనిపెట్టాక, అగ్ని అవసరం లేకుండానే విద్యుత్తు తయారు చేయగలుగుతున్నారు. సూర్య గోళంలో ముందు అగ్ని తయారయి, దాని తరవాతే వెలుగు తయారపుతుంది, ఆ వెలుగును ఈ పద్ధతిలో విద్యుత్తుగా మార్చి, వేడి లేకుండానే విద్యుత్తు భూమి పైన సౌర ఘలకాల ద్వారా తయారు చేయగలుగుతున్నాము. ఈ ప్రక్రియ నిజంగా ఒక గొప్ప ఆవిష్కరణ. అంతకు ముందు, రసాయనాలు వాడి విద్యుత్తును పుట్టించవచ్చని తెలుసుకున్నారు, దానికోసం సుమారు దెండు శతాబ్దాల త్రితమే విద్యుత్త ఘనాల తయారీ చేపట్టారు. క్రమంగా బౌగులో నీటిని వేడిచేసి వచ్చే వేడి ఆవిరితో టర్మిను తిప్పారు. ఆ టర్మినుకు అనుసంధానం చేసిన విద్యుతుత్వాదక యంత్రం నడిపి తద్వారా విద్యుత్తు ఉత్పత్తి తక్కువ ఖర్చు అవడం వలన ఆ మార్కంలోనే విద్యుత్తు తయారీ చాలాకాలం జరిగింది. తరవాత కనిపెట్టిన, భూమిలో నిక్షేపమయిన పెత్తోలియమూ, ఎక్కువ సేపు నిలకడగా కాలుతుంది కాబట్టి ఆ పేరుతో పిలవబడే 'రాక్షసి బౌగు' వలననే ప్రపంచంలో ఎక్కువ విద్యుత్తు తయారీ అవుతోంది.

ఈ భూగర్భంలో మాత్రమే దొరికే, శిలాజ ఇంధనాలు, తరిగిపోయి, ఇంకో వంద సంవత్సరాలలో నిండుకుంటాయని ఎప్పటికప్పుడు శాస్త్రజ్ఞుల అంచనా. ఎత్తు నించి కిందకు దూకే నీరూ, అఱు ఇంధనాలూ, భూగర్భ ఉప్పుమూ, సముద్రపు ఆటుపోటూ, గాలీ, ఇటువంటి వాటి ద్వారా కూడా గణనీయంగా విద్యుత్తు తయారీ జరుగుతోంది. ఇన్ని మార్గాలు ఉన్నా, విద్యుత్స్వర్థి, పెరుగుతున్న అవసరాలకు సరిపోవడం లేదు.

అయితే శిలాజ ఇంధనాలయిన, పెట్రోలియం, రాక్షసి బోగూ, లభ్యత కొన్ని దేశాలకే పరిమితం. అదీ కాక వాటి వలన వెలువడే బోగ్గుపులుసు వాయువు కారణంగా వాతావరణ కాలుష్యమూ ఎక్కువే. భూ ఉప్పోగ్రతలు కూడా పెరుగుతున్నాయని పర్యావరణ శాస్త్రవేత్తలు గగ్గోలు పెడుతున్నారు.

బోగ్గు పులుసు వాయువు తయారు కాకపోయినా, అఱు విద్యుత్తు తయారీ కూడా వేడి నీటి ఆవిరి మార్గంలోనే అపుతుంది. అయితే, దీని బలహీనత, అఱుధార్మిక ఆపద పొంచి ఉండడం. ఒక్క జలవిద్యుత్తు మాత్రం నీటి ఆవిరితో. బోగ్గు పులుసు వాయువు వెలువడకుండానే తయారపుతుంది. కానీ ఈ పద్ధతికి వర్షాలూ కావాలి. నీటిని నిలవ చేయడానికి నదుల ఒడ్డులో, సారవంతమయిన భూమిని ముంచేస్తూ, చాలా ఖర్చుతో కూడిన జలాశయాలు కల్పించాలి.

చిన్న అవసరాలయిన, బేటరీ టైటల్సు, గోడ గడియారాలూ, మొబైలు ఫోన్‌లు, రిమోట్లో వాడే బేటరీలలో రసాయన విద్యుత్తు ఎప్పటికప్పుడు తయారు చేస్తున్నాము. విద్యుత్తును నిలవ చేసేందుకు మాత్రం రసాయన బేటరీ తప్ప గత్యంతరం లేదు. కెపాసిటీల్లు విద్యుత్తునీ, విద్యుత్తుగానే నిలవ చేయగలవు కానీ, లిథియం బ్యాటులీలు అధిక సాంధ్రతతో సూపర్ కెపాసిటీల్లు కన్నా 10 నుండి 50 రేట్లు ఎక్కువ విద్యుత్తును నిలవ చేయగలవు గనక కెపాసిటీల్లు ప్రాచుర్యం లోకి రాలేదు. పైగా వాటంత అవే రోజుకు 10-15% చార్జును కోల్పోతూ (డిశార్ట) ఉంటాయి, అది మరొక కారణం.

సూర్యుడిలో శక్తి విపరీతంగా తయారయి, ఆ అగ్ని గోళం వెలుగులు విరజిముగైతుంది. ఆ వెలుగే మనకు జీవనాధారం. ఉప్పు శక్తి కూడా అవసరమయినప్పటికే, సౌర్య రశ్మి ఒక్కదాని వల్లనే, కిరణ జన్య సంయోగ క్రియ జరిగి, చెట్లూ చేమలూ పెరిగి, జీవులకు కావలసిన అపోరం తయారు చేయగలుగుతున్నాయి. సూర్యుడు ఉండేంతవరకూ వెలుగు కోసం వెంపర్చాడాల్సిన పని ఉండదు కాబట్టి, మానవుడు, తన కార్య కలాపాలన్నిటినీ పగలే పూర్తి చేసుకుని, సాయంసమయానికి, గూటికి, అది గుహ అయినా, గుడిసె అయినా చేరుకునేవాడు. కొన్ని అసంపూర్ణగా మిగిలిపోయిన పనులు చేసుకోడానికి, అంధకారం అడ్డు పడేది.

అయితే ఒకటి మాత్రం నమ్మాలి. అంధకారం తోలగించడానికి అయే ఖర్చు, ఏటికేడాది పెరుగుతోంది. ఎల్.ఐ.డి. ల వాడకం వల్ల విద్యుత్ వాడకం తగినప్పటికే, తయారీ ఖర్చు పెరుగుతున్నందువలన, ఆ ఆదా కనిపించకుండా పోయింది.

పునరుత్సాధక ఇంధనాలు వాడుతూ, పెరుగుతున్న ధరనూ, వాతావరణ ఉప్పోగ్రతలనూ తగించడానికి ముమ్మరంగా ప్రయత్నమయితే సాగుతోంది.

సౌర శక్తి విషయానికొన్ని, పగలు దాదాపు పన్నెండు గంటల పైగా సూర్య రశ్మితోనే మన పనులు నిర్వ్యాపించుకో గలుగుతున్నాం. అయితే సౌర ఘలకాలను వాడి విద్యుత్తు తయారు చేయడానికి అవసరమయే స్థాయిలో సూర్య కాంతి మాత్రం, ఇండియా వంటి ఉప్పు దేశాలలో కూడా, రోజుకు అయిదారు గంటలకు మించదు. ఆ వ్యవధిలో కూడా ఆ స్థాయి నిలకడగా ఉండదు. చిన్న మబ్బు అడ్డం వస్తే పడిపోతుంది. పొగమంచా, వాయు కాలుష్యమూ, కూడా ఇటువంటి పొచ్చుతగ్గులకు కారణం అవుతాయి. ఇది కాక, బుటుపవనాల కాలంలో, తుఫానులు వచ్చినప్పుడూ, ఈ సౌర ఘలకాల సామర్థ్యం తగిపోతుంది. సూర్యుడు తూర్పున ఉండయించి, భూమి భ్రమణం వలన ఆకశంలో మారుతున్నట్టు కనిపిస్తూ, పడమరలో అస్తమిస్తే అంధకారం ఆపిస్తుంది. ఉండయం పని చేయడం ప్రారంభించిన ఆ ఘలకాలు పని చేయవు. పగలు సౌర ఘలకాలు తయారు చేసిన విద్యుత్తును, నిలవ చేసుకునే బేటరీలు లేకపోతే, సౌర శక్తి వినియోగం అంతంత మాత్రమే.

ఏ విధంగా చూసినా, ఏడాదిలో వివిధ దేశాలలో 900 గంటల నుంచి దాదాపు 2300 గంటలు మాత్రమే సౌర విద్యుత్తు తయారీ జరిగే అవకాశం ఉంది. మిగతా సమయంలో సౌర ఘలకాలు పని చేయవు. భూతాపం పెరగడం వలన, సముద్రపు నీరు ఎక్కువ ఆవిరి అయి, ఆ ఆవిరి మేఘాలుగా మారి, వెలుగుని అడ్డుకోడం ముఖ్యమయిన కారణం. అనిశ్చిత, తక్కువ స్థాయి, రోజులో కొద్ది సేపే ఉండే కాల పరిమితీ, ఎక్కువగా కావలసిన నేల విస్తరణ, వీటి వాడకానికి అడ్డంకులు కల్పిస్తున్నాయి. తగిన సూర్యరశ్మి పడినప్పుడు

ఉత్సత్తు అయ్యే విద్యుత్తును, నిలవ చేసుకుని, అవసరాలకు వాడుకోవాలి. మూడు నెలలలో పండిన ధాన్యం నించి బియ్యం చేసుకుని సంవత్సరం అంతా తిన్నట్టు అనుకోవచ్చు).

కానీ, శక్తిని నిలవ చేసుకోడం, పదార్థాలను నిలవ చేసుకోడమంత సుఖువు కాదు. అటువంటి నిలవ వలన ప్రమాదాలు జరిగే అవకాశమూ ఎక్కువే. ఎకరాల కొద్ది నేల మీద సౌరఫలకాలు ఏర్పరిచి, వాటి వలన ఉత్పత్తయే విద్యుత్తును పెద్ద పెద్ద బేటరీలలో నిలవ చేసి, ఎప్పుడు పడితే అప్పుడు వాడుకోగలగడం, వినడానికి చాలా బాగుంటుంది. కానీ, ఆవరణలో చాలా ఒడుదుడుకులను ఎదుర్కొవాలిని వస్తుంది. సౌరవిద్యుత్ వ్యవస్థలలో ఎక్కువ ప్రమాదాలు, ఇంతవరకూ, నిలవ బేటరీ విభాగాలలో మాత్రమే జరిగాయి. అలాగే విద్యుత్ ఫలకాలను కలిపే తీగలు తెగినా, తేడా వచ్చినా మరమ్మతు చేసేటప్పుడు జాగ్రత్తలు అవసరమవుతాయి.

దీనికి ప్రత్యామ్నాయం లేదా? ఉంది. పూర్వం ప్రతి ఇంటిలోనూ మంచినీటి కోసం నుయ్య ఉన్నట్లు ఏ ఇంటికి ఆ ఇంటివారు విడిగా, సౌర శక్తి పరికరాలు ఏర్పరచుకోవడం. అలాంటప్పుడు శక్తి నిలవ పరిమాణం తగ్గుతుంది. దాని వలన ప్రమాదాలూ తగ్గుతాయి. ప్రాణస్థం జరిగే అవకాశాలు బహుతక్కువ. సౌర శక్తి వ్యవస్థలో లోపం ఏర్పడినప్పుడు మొత్తం ప్రజలందరూ ప్రభావితం అవరు. పరికరాల పరిమాణం కూడా చిన్నవయి వాటి నిర్మాణం, సంరక్షణ, మరమ్మతు, ఎక్కుడకక్కడ జరిగే అవకాశాలుంటాయి.

వీటన్నిటినీ మించి, ఇంకొక ముఖ్య విషయం ఉంది. ఇంగీషు వారు పరిపాలించిన దేశాల్లో, ఇప్పటికీ, విద్యుత్తు వోల్టేజీ, 220 AC వోల్టులు ఉండి, విద్యుత్తు తీగలు పొరపాటున తగిలినప్పుడు మరణాలు సంభవిస్తుంటాయి. ఏ ఇంటికి అక్కడే సౌర శక్తి వ్యవస్థ ఉన్నప్పుడు తక్కువ వోల్టేజీతో DC వ్యవస్థ పెట్టుకుంటే - అంటే 12 వోల్టుల డీసీ కానీ, 24 వోల్టుల డీసీ కానీ - అటువంటి మరణాలను పూర్తిగా నివారించవచ్చు. తయారీ, నిలవా, వాడకం, ఇవన్నీ ఇంట్లో ఒకేవోటు ఉంటే, వాటి నిర్వహణ సుఖువుతుంది. ప్రమాదాలకు అవకాశం తగ్గుతుంది. ఏ ఇంటికా ఇంటివారు విద్యుత్ పరంగా స్వీతంత్రంగా ఉంటారు గనక ఎక్కుడో విద్యుత్ సరఫరాకు అంతరాయం కలిగితే మూకుమ్మడిగా ఒకేసారి, ఒక ప్రాంతంలోని ఇళ్ళను సరఫరా అటంకం జరగదు.

ఇది అలా ఉంచి, మనకు కావలసినంత విద్యుత్తు, మనమే ఎప్పుడు కావలిస్తే అప్పుడు, ఎంత కావాలంటే అంత, శబ్ద కాలుష్యము లేకుండా, వాయు కాలుష్యము జోలికి పోకుండా, వాసనలు వెల్పడకుండా, వ్యర్థ పదార్థాలు తయారయినా, అవి ప్రకృతి సమతూకాన్ని అతలాకుతలం చేయకుండా, అందరికి అందుబాటులో ఉంటూ, మరీ ఎక్కువ ఖర్చు అవనిది ఏమయినా ఉంటే, ఎంత బాగుంటుంది! పరిశోధనలు ప్రోత్సహించి, శాస్త్రజ్ఞుల పైన నమ్మకం ఉంచితే, దుస్సాధ్యమేమీ కాదు!

చివరగా ఒక మాట. మనకు ఇప్పుడు సామాన్యంగా అనిపించే ప్రతి పరికరం స్పష్టించడానికి ఎంతమంది ఆవిష్కరణలూ, క్రీడలు, సమయం అవసరమయాయో కదా! వాటి ఫలితాలను మాత్రం మనము ఆస్వాదిస్తూ, వారిని తలవనయినా తలవం. ఒక మెట్టు ఎక్కిపోయాక, ఆ మెట్టు సంగతి మరిచిపోరాదు కదా.

\*\*\*

---

శ్రీ గాడేపల్లి సుబ్రహ్మణ్యం గారు 1958లో విశాఖపట్టం ఏవియన్ కాలేజీ నుంచి రసాయన శాస్త్రంలో బియ్యీస్ పట్టభద్రులు. కర్మాలు తుంగభద్రా ఇండ్స్ట్రీస్ లో ఖాద్యతైలాల తయారీలో ఉడ్యోగాల్పటేశం. అంచెలంచెలుగా ఎదిగి, ఇంకొక కర్కుగారంలో జనరల్ మేనేజరుగా ఉడ్యోగ విరమణ. ప్రస్తుత నివాసం ఆంధ్రప్రదేశ్ లోని విజయనగరంలో. అక్కడ తమ ఇంట్లోని ప్రయోగశాలలో మెగ్నిషియం బ్యాటరీల నుంచి శక్తి ఉత్పాదకత పై పరిశోధనలు చేస్తున్నారు. సాంకేతిక విజ్ఞానాన్ని ఉపయోగించి జీవితం చక్కదిద్దాలనే అన్వేషణాత్మక ధ్యేయం విరిది.

---



ఈ సంచిక పై మీ అభిప్రాయం తెలియజేయండి.

తర్వాతి సంచిక మూడవది మార్చి |న.  
మీ రచనలను జనవరి 3| లోగా మాకు పంపించండి.

మా ఈమెయిల్:

[teluguvbharati@gmail.com](mailto:teluguvbharati@gmail.com)

ధన్యవాదాలు.

\*\*\*